

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

Année : 2007

Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER en Hydrogéologie

THEME

*Etude de la gestion intégrée des
ressources en eaux dans la vallée de
Oued-Souf (Sud-Est algérien)*

Option : la ressource en eau, sa gestion intégrée,
son environnement et le développement durable

Par
Mr. KHECHANA Salim

DIRECTEUR DE MEMOIRE : Mr. DERRADJI. F M.C

UNIV. ANNABA

LE JURY COMPOSE DE:

PRESIDENT : Mr. KHERICI. N

Pr

UNIV. ANNABA

EXAMINATEURS : Mr. ZOUINI. D

M.C

UNIV. ANNABA

Mme. BOUSNOUBRA. H

M.C

UNIV. ANNABA

ملخص

يتربع على مساحة 11738 كلم²، يمثل إداريا 18 بلدية ويقطنه 363110 نسمة، غور وادي سوف هو وحدة للموارد المائية تقع في الجنوب الشرقي الجزائري، يمتلك خزان كبير جدا من المياه الجوفية: طبقة المياه السطحية، طبقة الـ CT وطبقة الـ CI. مياه الطبقة السطحية غير صالحة للشرب ولا للسقي وذلك حسب نتائج التحاليل الكيميائية المنجزة في أبريل 2002. الدراسة الجيولوجية سمحت لنا بالتعرف على الطبقات الجهوية التي توضع من عهد الميوليبوسان إلى العهد الرابع. مناخ المنطقة مماثل للمناخ الصحراوي إذ يتميز بدرجة حرارة مرتفعة وبقلة التساقط، كما يتميز بنسبة تبخر عالية وبأشعة شمسية مفرطة. أظهر الترتيب الإحصائي لمعدلات الأمطار السنوية تكيف جيد مع قانون غالتون. الاتجاه العام لجريان المياه الجوفية هو جنوب-غرب/شمال-شرق.

في هذه الدراسة تطرقنا إلى تشخيص مشكل صعود المياه وذلك بهدف تحديد الأسباب، النتائج وتأثيرات هذا المشكل على مختلف القطاعات التي عادة ما تكون متعلقة بعضها ببعض. جاء مفهوم التسيير المندمج للموارد المائية في غور وادي سوف بهدف حل هذه المشاكل ذات الطابع الكمي التي تعاني منها كل النشاطات، تطبيقه بدأ بوضع بعض المعايير الأولية التي مكنت إلى درجة ما من تقليص الخطر، ثم إلى تخطيط مشروع ضخم للتسيير يهدف إلى: خفض مستوى المياه الجوفية، الذي يسمح للتربة بزيادة القدرة على التصفية، إعادة استعمال المياه المصرفة في السقي وحماية موقع الصرف من الناحية البيئية والصحية.

أثناء انجاز هذه المذكرة ميزنا أن الضمير الشخصي لسكان المنطقة، إدماجهم، ومستوى تكوينهم هي العوامل الأساسية في تطبيق ونجاح هذه السياسة الجديدة في التسيير.

هذه الإستراتيجية المتخذة في غور وادي سوف ستساهم في وضع نظام من أجل صرف كميات المياه المسؤولة عن صعود المياه وذلك لتخفيف تأثيرات المياه المصرفة على البيئة وكذا نوعية المياه المسترجعة على التطور المحلي للفلاحة.

في الأخير، ولتحديد مصطلح التسيير المندمج للموارد المائية في غور وادي سوف قمنا بطرح عدة اقتراحات.

Abstract

It occupies a surface of 11738 km², represents 18 communes administratively and includes a number of populations of 363110 inhabitants; the valley of Souf is a unit of resource water located at Algerian south-east. It has a reserve very important of the hydrous resources: ground water, the Final Complex (CF) and Gault (CI). Water of the ground water is not drinkable and is unsuitable for the irrigation according to results of the chemical analyses carried out in April 2002.

The geological investigation enables us to identify the regional stratigraphy which energy of Miopliocène until the Quaternary. The climate of the area is as the Saharan climate is characterized by a high temperature and a weak rate of precipitation, of an important evaporation and an excessive solar radiation. The statistical fitting of annual precipitations presents a good adequacy at the law of Galton. The general direction of underground water run-off is South-western towards the North-East

In this study, the diagnoses of the increase of water aimed described the causes, the consequences and impact them of this problem on the various sectors which are often interdependent. The application of the concept of the integrated management of the water resources in the valley of Wadi Souf has suddenly solved these affected problems of a quantitative nature all the activities.

Starting, in first steps, by the setting of certain preliminary measurements to allow unquestionable a degree to reduce the danger. Then by the planning of a méga-project of management of which the goal is of: to fold back the tablecloth, which to allow on the ground to increase its purifying capacity, agricultural re-use of evacuated water and to maintain site of rejections from ecological and medical point of view.

At the time of the realization of the present report, one noted that the conscience of the local personnel, his integration and its training level are principal factors in the setting and the success of this new policy of management.

Such a strategy in the valley of Wadi Souf contributes to the installation of a system of drainage and cleansing to evacuate the quantities of responsible water to the increase in order to optimize the effects of the rejections on environmental quality as well as the quality of the water restored on the development of local agriculture.

In order to put a term for the integrated management of the resources water in the valley of Wadi Souf, many recommendations were proposed.

RESUME

Elle occupe une superficie de 11738 km², représente 18 communes administrativement et englobe un nombre de population de 363110 habitants, la vallée de Souf est une unité de ressource en eau située au sud-est algérien. Elle possède un réservoir très importante des ressources hydriques: la nappe phréatique, le Complexe Terminal (CT) et l'Albien (CI). Les eaux de la nappe phréatique ne sont pas potables et sont impropres pour l'irrigation selon les résultats des analyses chimiques effectuées en avril 2002.

L'étude géologique nous permet d'identifier la stratigraphie régionale qui allant de Miopliocène jusqu'au Quaternaire. Le climat de la région est comme le climat saharien se caractérise par une température élevée et un faible taux de précipitation, d'une évaporation importante et d'un rayonnement solaire excessif. L'ajustement statistique des précipitations annuelles présente une bonne adéquation à la loi de Galton. Le sens général d'écoulement des eaux souterraines est Sud-Ouest vers le Nord-Est

Dans cette étude, le diagnostic de la remontée des eaux visé a décrit les causes, les conséquences et les impacts de ce problème sur les différents secteurs qui sont souvent interdépendants. L'application du concept de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée d'Oued Souf vienne à résoudre ces problèmes d'ordre quantitatif affectés tous les activités. Commenant, en premiers pas, par la mise en œuvre de certaines mesures préliminaires permettre à un certains degré de réduire le danger. Puis par la planification d'un méga-projet de gestion dont le but est de : rabattre la nappe, ce qui permettre au sol d'augmenter son pouvoir épurateur, réutilisation agricole des eaux évacuées et maintenir du site de rejets de point de vue écologique et sanitaire.

Lors de la réalisation du présent mémoire, on a constaté que la conscience du personnel local, son intégration et son niveau de formation sont des principaux facteurs dans la mise en œuvre et le succès de cette nouvelle politique de gestion.

Une telle stratégie dans la vallée d'Oued Souf contribue à la mise en place d'un système de drainage et d'assainissement pour évacuer les quantités d'eaux responsables à la remontée afin d'optimiser les effets des rejets sur la qualité environnementale ainsi que la qualité des eaux restaurées sur le développement de l'agriculture locale.

Afin de mettre un terme pour la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée d'Oued Souf, on a proposé des nombreuses recommandations.

LISTE DES TABLEAUX

Tab.I.1	: Répartition de la superficie de la zone d'étude par commune (en km²).....	08
Tab.I.2	: Distribution de la population sur la vallée par commune	10
Tab.II.1	: Caractéristiques géographiques des stations climatiques	23
Tab.II.2	: Moyennes mensuelles des précipitations (mm) (1977-2006)	24
Tab.II.3	: Moyenne annuelle des précipitations (1976/2006)	26
Tab.II.4	: Récapitulation sur les données pluviométriques	27
Tab.II.5	: Moyennes mensuelles de la température de l'air (°C) (1976-2006)	28
Tab.II.6	: Moyenne annuelle des températures de l'air (1976/2006)	29
Tab.II.7	: Récapitulation sur les données de la température.....	30
Tab.II.8	: Valeurs des précipitations annuelles classées par ordre croissant et les probabilités correspondantes.....	36
Tab.II.9	: Précipitations correspondantes aux probabilités de dépassement	39
Tab.II.10	: Les résultats du calcul du χ^2 en loi normale	39
Tab.II.11	: Calcul du χ^2 en loi log-normale	41
Tab.II.12	: Comparaison de l'adéquation des lois testées au test du χ^2.....	41
Tab.II.13	: Répartition moyenne mensuelle de l'humidité (%) (1976-2006)	42
Tab.II.14	: Répartition moyenne mensuelle de vitesse du vent (m/s) (1976-2006)	43
Tab.II.15	: Répartition moyenne mensuelle d'insolation (heures) (1976-2006).....	43
Tab.II.16	: Résultats de l'ETP issus de l'application de la formule de Thorntwaite (1976-2006)	44
Tab.II.17	: Résultats de l'application numérique de la formule de Turc (1976-2006)	45
Tab.II.18	: Bilan hydrique de la station de Guemar d'après Thorntwaite (1976-2006)	47
Tab.II.19	: Bilan hydrique de la station de Touggourt d'après Thorntwaite (1976-2006) ...	47
Tab.III.1	: Coordonnées et débits des forages au CI de la vallée du Oued-Souf	52
Tab.III.2	: Quantité des différents minéraux contenus dans un litre d'eau de l'Albien	53
Tab.III.3	: Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued	55
Tab.III.4	: Etendue et volume des ressources en eaux souterraines	55
Tab.III.5	: Faciès chimiques et formules ioniques (mars 2002)	61
Tab.III.6	: Potabilité en fonction de la dureté de l'eau	64
Tab.III.7	: Normes de potabilité chimique (internationales et françaises) et concentrations dans la nappe	66
Tab.IV.1	: Altitude et profondeur de la nappe phréatique	76
Tab.IV.2	: Niveau statique des forages de la commune d'El-Oued (décembre 2006).....	77
Tab.IV.3	: Profondeur du toit des argiles, d'après les logs des puits améliorés	78
Tab.IV.4	: Débits spécifiques	82
Tab.IV.5	: Valeurs de transmissivités (en m²/s)	83
Tab.IV.6	: Valeurs de la perméabilité (en m/s)	85
Tab.IV.7	: Perméabilités verticales	85

Tab.IV.8:	Valeurs de la porosité efficace	86
Tab.V.1	Augmentation de la population dans la vallée de	89
Tab.V.2	Irrigation des petites et moyennes hydrauliques (en hectares)	91
Tab.V.3:	Récapitulatif des dégâts de la remontée	94
Tab.V.4:	Récapitulatif des (S.A.U) endommagées par la remontée	96
Tab.V.5:	Récapitulation sur les ressources et les besoins en eaux de différents secteurs en m³/j (1999-2006)	102
Tab.V.6:	Evaluation des ressources exploitables (en hm³)	103
Tab.V.7:	Résumé des résultats obtenus par la prévision	104
Tab.V.8:	Bilan d'eau de la zone d'étude (en 2001)	110
Tab.V.9:	Bilan d'eau de la ville d'El Oued en 2001	110
Tab.V.10:	Dotation moyenne journalière par commune (en 2000)	112
Tab.V.11:	Profondeurs des ouvrages de captages des eaux à drainées	115
Tab.V.12:	Récapitulatif des coûts du projet	125

LISTE DES FIGURES

Fig.I.1	: Situation géographique de la zone d'étude (extrait de la carte Michelin 953).....	05
Fig.I.2	: Répartition administrative des Chefs-lieux des communes de la vallée d'Oued Souf	07
Fig.I.3	: Log de forage F1 à l'Albien (coupe d'après ANRH 1993).....	13
Fig.I.4	: Carte géologique de la zone d'étude (extrait d'après la carte du Sahara septentrional G. Busson 1970).....	15
Fig.I.5	: Coupe géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989).....	16
Fig.I.6	: Coupe géologique N° 2 (A.N.R.H, 1989).....	17
Fig.I.7	: Coupe géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989).....	18
Fig.II.1	: Répartitions moyennes mensuelles interannuelles des pluies (1976-2006).	23
Fig.II.2	: Répartition annuelle de précipitation (1976-2006).....	24
Fig.II.3	: Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la température (1976/2006)	26
Fig.II.4	: Répartition moyenne annuelle des températures (1976/2006)	27
Fig.II.5	: Diagramme pluviothermique de la station de Guemar (1976-2006)	30
Fig.II.6	: Diagramme pluviothermique de la station de Touggourt (1976-2006)	30
Fig.II.7	: Position des deux stations (de Guemar et de Touggourt) (ONM) sur le climagramme d'Emberger.....	32
Fig.II.8	: Ajustement statistique des précipitations annuelles de la station de Guemar suivant la loi normale.....	36
Fig. II.9	: Ajustement statistique des précipitations annuelles de la station de Guemar suivant la loi de Galton	38
Fig.II.10	: Répartition moyenne mensuelle interannuelle de l'humidité (1976/2006)	40
Fig.II.11	: Graphique du bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite station de Guemar (1976-2006).....	46
Fig.III.1	: Carte d'inventaire de Forage de CT et de CI sur la vallée de Oued-Souf	52
Fig.III.2	: Situation des palmeraies autour d'El Oued en 1993	55
Fig.III.3	: Situation des palmeraies à El-Oued (Sidi Mestour - Février 2007). (Remplacement des palmeraies par les roseaux)	56
Fig.III.4	: Le diagramme de Piper des eaux de la nappe phréatique	58
Fig.III.5	: Le couple $SO_4 - Cl$	60
Fig.III.6	: Le couple $Na - Cl$	60
Fig.III.7	: Le couple $Ca - Na$	60
Fig.III.8	: Le couple $Ca - SO_4$	60
Fig.III.9	: Le couple $Na - SO_4$	61
Fig.III.10	: Carte de la conductivité en avril 2002	64
Fig.III.11	: Répartition du nitrate en avril 2002	65
Fig.III.12	: Le diagramme de Richards des eaux de la nappe phréatique	68
Fig.IV.1	: Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée d'Oued Souf en avril 2002...	71
Fig.IV.2	: Situation des profils de la nappe phréatique	73
Fig.IV.3	: Profil Nord-Sud de la nappe phréatique dans l'axe Foulia – El Oued – Ogla	74
Fig.IV.4	: Profil Est-Ouest de la nappe phréatique passant par Magrane	74
Fig. IV.5	: Profil Est-Ouest de la nappe phréatique par Taghzout	75
Fig.IV.6	: Profil Est-Ouest de la nappe phréatique par El Oued	75
Fig.IV.7	: Profil Est-Ouest de la nappe phréatique par El-Ogla	76
Fig.IV.8	: Les stations d'essai dans la vallée	79
Fig. IV.9	: Essai par paliers à Kouinine. Observations dans le puits de pompage aux débits de 4; 8,2 et 9,9 litres/seconde	80
Fig.IV.10	: Essai de pompage à longue durée à Kouinine	81
Fig.IV.11	: Diagramme de débit spécifique à Kouinine	82
Fig.IV.12	: Essai de pompage longue durée à Kouinine. Interprété par la méthode de Cooper-Jacob	83

Fig.IV.13:	Courbe de la remontée (à Kouinine). Interprétée par la méthode de Theis	84
Fig.IV.14:	Essai de pompage à longue durée à Kouinine Interprété par la méthode de Moench ..	86
Fig.V.1 :	Passage d'habitat ancienne à une architecture moderne	90
Fig.V.2 :	Développement de l'agriculture - Irrigation par aspersion	91
Fig.V.3 :	Coupe schématique montrant l'évacuation des eaux usées dans les fosses septiques	93
Fig.V.4 :	Représentation du nombre de palmiers affectés par commune	95
Fig.V.5 :	Représentation de la superficie agricole utile (SAU) endommagée	95
Fig.V.6 :	Un Ghout poubelle : dégradation des Ghouts par les déchets domestiques	97
Fig.V.7 :	La remontée des eaux: noyau central des obstacles devant les axes de développement durable	98
Fig.V.8 :	Confrontation ressources – besoins en eau à potable	100
Fig.V.9 :	Confrontation ressources – besoins en eau d'irrigation	101
Fig.V.10 :	Représentation des ressources mobilisables pour les trois grands consommateurs de l'eau	101
Fig.V.11 :	Confrontation ressources – besoins en eau à but industriel	102
Fig.V.12 :	Confrontation ressources – besoins	103
Fig.V.13 :	Ghout récemment remblayé	106
Fig.V.14 :	Nouveaux périmètres agricoles autour de la ville d'El-Oued	107
Fig.V.15	Organigramme du bilan d'eau de la vallée d'Oued Souf	109
Fig.V.16	Représentation schématique générale du projet	116
Fig.V.17	Couloir Robbah – El Oued – Kouinine. Représentation de la topographie.....	119
Fig.V.18	Zones de recharge	121
Fig.V.19	Résultats de la simulation pour 2030 avec réseau de drainage	122
Fig.V.20	Simulation pour 2030 sans réseau de drainage	124

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	01
-----------------------------	----

Chapitre I: Généralités et état de connaissance

I. APERÇU HISTORIQUE SUR LA REGION D'OUED-SOUF.....	03
II. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE L'AIRE D'ETUDE	04
III. CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE OUED SOUF	09
III.1. STRATIGRAPHIE REGIONALE	09
III.1.1. Formation de l'ère Secondaire	09
III.1.2. Formations de l'ère Tertiaire	11
III.1.3. Formations du Quaternaire	12
III.2. GEOMORPHOLOGIE	14
III.3. INTERPRETATION DES COUPES	16
III.4. TECTONIQUE	19
III.5. RELIEF	19
IV. CONCLUSION	20

Chapitre II: Etude climatologique

I. INTRODUCTION	21
II. ETUDE DES PARAMETRES CLIMATIQUES	22
II.1. La pluviométrie	22
II.2. La température	25
II.3. Synthèse climatique	28
II.3.1. Diagramme pluviothermique	29
II.3.2. Climagramme d'Emberger	31
II.3.3. Indice d'aridité	32
II.4. Etude statistique des précipitations de la station de Guemar (Période 1976-2006)	33
a. Paramètres statistiques de la série pluviométrique	33
b. Recherche de la loi statistique d'ajustement	33
b.1. Ajustement suivant la loi normale (loi de Gauss)	34
b.2. Ajustement suivant la loi log-normal (loi de Galton)	37
c. Discussion des résultats	39
II.5. L'humidité	39
II.6. Le vent	40
II.7. L'insolation	41
III. CALCUL DES PARAMETRES DE BILAN HYDRIQUE	41
III.1. Evapotranspiration	41
a. L'évapotranspiration potentielle (ETP)	42

<i>b. l'évapotranspiration réelle (ETR)</i>	42
a.1. Méthode de Thorntwaite	42
b.2. Formule de Turc	43
III.2. Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU)	43
III.3. Ruissellement (R)	44
IV. Etablissement du bilan	44
V. CONCLUSION	47

*Chapitre III: Etude quantitative et qualitative
des ressources en eaux*

I. INTRODUCTION	48
II. ETUDE QUANTITATIVE DES RESSOURCES HYDRIQUES DE LA REGION	48
II.1. Diagnostic des ressources hydriques	48
II.1.1. La nappe phréatique	48
II.1.2. La nappe du Complexe Terminal (le Pontien : CT)	49
II.1.3. La nappe du continental intercalaire (CI)	50
II.2. <i>Au fil du temps...l'apparition du problème de la remontée des eaux de la nappe</i>	54
III. ETUDE QUALITATIVE DES RESSOURCES EN EAUX	57
III.1. Interprétation des résultats des analyses chimiques	57
III.1.1. Identification des faciès chimiques des eaux	57
<i>a- Diagramme de Piper</i>	57
<i>b- Répartition des faciès</i>	58
III.1.2. Origine du chimisme des eaux	59
<i>a- Le couple SO₄-Cl</i>	59
<i>b- Le couple Na-Cl</i>	59
<i>c- Le couple Ca-Na</i>	60
<i>d- Le couple Ca -SO₄</i>	60
<i>e- Le couple Na-SO₄</i>	61
III.2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux	61
III.2.1. Température	61
III.2.2. Degré Hydrotimétriques (D.H)	61
III.2.3. Le pH	62
III.2.4. Conductivité	62
III.3. Répartition du taux des nitrates en avril 2002	63
III.4. Potabilité des eaux de la nappe phréatique	66
III.5. L'Aptitude des eaux de la nappe phréatique à l'irrigation	66
<i>a. En utilisant la conductivité (risque de salinité)</i>	67
<i>b. En utilisant la méthode de Richards</i>	67
IV. CONCLUSION	67

Chapitre IV: Caractéristiques hydrogéologiques

I. INTRODUCTION	70
II. INTERPRETATION DE LA CARTE PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE PHREATIQUE	70
III. CARTE DE SUBSTRATUM	78
IV. LES ESSAIS DE POMPAGE	79
1. Débits spécifiques	82
2. La transmissivité	83
3. La perméabilité	84
4. Perméabilités verticales K_v et rapports des perméabilités horizontales / verticales – K_h/K_v	85
5. Porosités efficaces n_e	86
V. CONCLUSION	87

Chapitre V: Gestion intégrée des ressources en eaux

I. INTRODUCTION	88
II. SCENARIO TENDANCIEL	89
II.1. ANALYSE DES CAUSES DIRECTES GENERANT LE PROBLEME	89
<i>a. La croissance démographique</i>	89
<i>b. L'urbanisation</i>	90
<i>c. Développement agricole</i>	90
<i>d. Exploitation des nappes profondes</i>	92
<i>e. Les systèmes d'assainissement utilisés</i>	92
<i>e.1. le réseau d'assainissement</i>	92
<i>e.2. le rejet des eaux usées</i>	92
<i>e.3. les systèmes traditionnels (fosses septiques)</i>	93
II.2. LES CONSEQUENCES	94
II.2.1. Impact sur les oasis et l'activité agricole	94
II.2.2. Impact sur l'environnement et l'activité touristique	96
II.2.3. Impact sur le secteur sanitaire	97
II.3. INTERACTIONS ENTRE CES DIFFERENTS SECTEURS	98
III. CONFRONTATION RESSOURCES – BESOINS EN EAUX	99
III.1. LES DIFFERENTS USAGES DE L'EAU	99
a. L'alimentation en eau potable (AEP)	99
b. Les usages agricoles de l'eau (AEA)	100

c. Utilisation industrielle de l'eau (AEI)	101
III.2. RESSEMBLANCE DES DONNEES RESSOURCES / BESOINS	102
III.3. PREVISIONS	104
a. Scénario 01 (Horizon 2010)	104
b. Scénario 02 (Horizon 2025)	104
c. Scénario 03 (Horizon 2040)	104
d. Discussion des résultats obtenus	105
III. LA NECESSITE DE FAIRE APPEL À UNE NOUVELLE STRATEGIE DE GESTION POUR LA LUTTE CONTRE LA REMONTEE DES EAUX	106
III.1. LES PREMIERS PAS... VERS UNE GESTION RATIONNELLE DES RESSOURCES EN EAUX	106
III.2. LA GIRE... NOUVELLE VISION VIA LE PROBLEME	108
III.2.1. DIAGNOSTIC DU PROBLEME ET ESTIMATION DE BILAN ...	108
a. <i>Le bilan d'eau</i>	108
b. <i>Quantités d'eau à drainer</i>	113
III.2.2. PLANIFICATION D'UN MEGA-PROJET A DIVERS ASPECTS..	114
a. <i>Schéma de drainage</i>	116
b. <i>Schéma d'assainissement</i>	115
III.2.3. DETERMINATION DES OBJECTIFS ATTENDUS DE LA NOUVELLE POLITIQUE DE GESTION	117
a. <i>Rabattre ou stabiliser le niveau de la nappe</i>	117
b. <i>Réutilisation agricole des eaux drainées</i>	117
c. <i>Augmentation du pouvoir épurateur du sol</i>	118
d. <i>Maintient écologique et sanitaire du site de rejets</i>	118
III.2.4. MODELISATION ET PREVISION DES SCENARIOS POSSIBLES	118
a. <i>Résultats de la simulation pour 2030 avec drainage</i>	121
b. <i>Résultats de la simulation pour 2030 sans drainage</i>	122
III.2.5. EVALUATION DES COUTS DU PROJET	125
a. <i>Coûts d'investissement</i>	125
b. <i>Coûts d'exploitation des forages</i>	125
c. <i>Amortissement des pompes et des appareillages</i>	125
VI. CONCLUSION	127
CONCLUSION GENERALE	128
Références bibliographiques	131
Annexe	

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 exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur **DERRADJI El Fadel** Maître de conférence 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 :

Monsieur **N. KHERICI** Professeur à l'université d'Annaba.

Monsieur **D. ZOUINI** Maître de conférence à l'université d'Annaba.

Madame **H. BOUSNOUBRA** Maître de conférence à l'université d'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 du bureau d'étude BG,
- **T. BAKKARI** Ingénieur au DSA d'El-Oued,
- **A. HAMIDI** et **A. HALEM** ONM de Guemar et de Touggourt.
- **Y. HODNI** Directeur Technique de Cosider El-Oued.

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

LISTES 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
CI: Continental Intercalaire
CT: Complexe Terminal
DE : Direction de L'environnement
DEM: Direction de L'Energie et des Mines.
DSA : Direction des Services Agricoles.
GIRE : Gestion Intégrée de la Ressource en Eau.
ONA: Office National d'Assainissement.
ONM : Office National Météorologique.
PMH : Petite et Moyen Hydraulique.
SAU : Surface Agricole Utile.
STEP: Station d'Epuration.

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 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.

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.

Introduction générale

La gestion intégrée des ressources en eaux (GIRE), nouveau concept très large qui fait l'objet d'un très grand nombre de documents aux objectifs variés, des sites Internet entiers lui sont consacrés. Ce mode de gestion ayant pour finalité la protection et la restauration de la ressource en eau, des écosystèmes qui lui sont associés ainsi que leurs usages pour le bien-être des citoyens. L'adoption de la GIRE a pour effet d'orienter progressivement les ressources humaines, matérielles, financières et informationnelles ainsi que des divers secteurs privés et publics vers la recherche de résultats concrets et mesurables de l'eau et aux écosystèmes que la population voulut voir protégés, restaurés ou mis en valeur.

Par conséquent, chaque pays l'applique 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.

La présente étude contient 05 chapitres, dans les premiers chapitres, on a identifié d'une façon détaillée la vallée à savoir la géologie, les caractéristiques climatiques, l'étude quantitative et qualitative des ressources hydriques de la zone d'étude et ses caractéristiques hydrodynamiques. Dans le dernier chapitre, on a essayé d'appliquer ce nouveau concept de gestion des ressources en eaux sur la vallée d'Oued-Souf après un diagnostic du problème, les causes générant le problème et leurs conséquences sur les différents secteurs et activités.

CHAPITRE I

GENERALITES ET ETAT DE CONNAISSANCE

I. APERÇU HISTORIQUE SUR LA REGION 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 (entre 4 et 15 mètres de profondeur selon l'endroit) 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. Sa population métissée comprend des descendants d'ancêtres nomades de Troud et Adouane venus du Yemen mêlés à des populations Zénètes préexistantes. Le souf est aussi le pays des roses des sables, des fennecs et des tapis de haute laine ou en poil de chameau.

El Oued: la ville aux mille coupes, capitale du Souf, l'architecture s'y distingue de celle des autres villes sahariennes. Au lieu de terrasses, ce sont des coupes 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 "Dégla", 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 à été quasiment abandonné dans les années 60, sa culture étant trop ingrate.

II. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE L'AIRE D'ETUDE :

La région de Oued Souf appelée aussi région du Bas-Sahara à cause de la faible altitude est située au Sud-Est du pays au centre d'une grande cuvette synclinale. Elle forme une wilaya depuis 1984 et couvre une superficie totale de 4 458 600 ha. Oued Souf se trouve à environ 700 Km au Sud – Est d'Alger et 350 Km à l'Ouest de Gabes (Tunisie).

Elle est limitée :

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

Cette région tire son originalité de son architecture typique, caractérisée par les coupoles et par ses palmeraies plantées dans les Ghouts.

L'aire d'étude représente la vallée du Souf, par 7° E et 33°5 N (extrait de la carte Michelin 953 Fig.I.1).

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

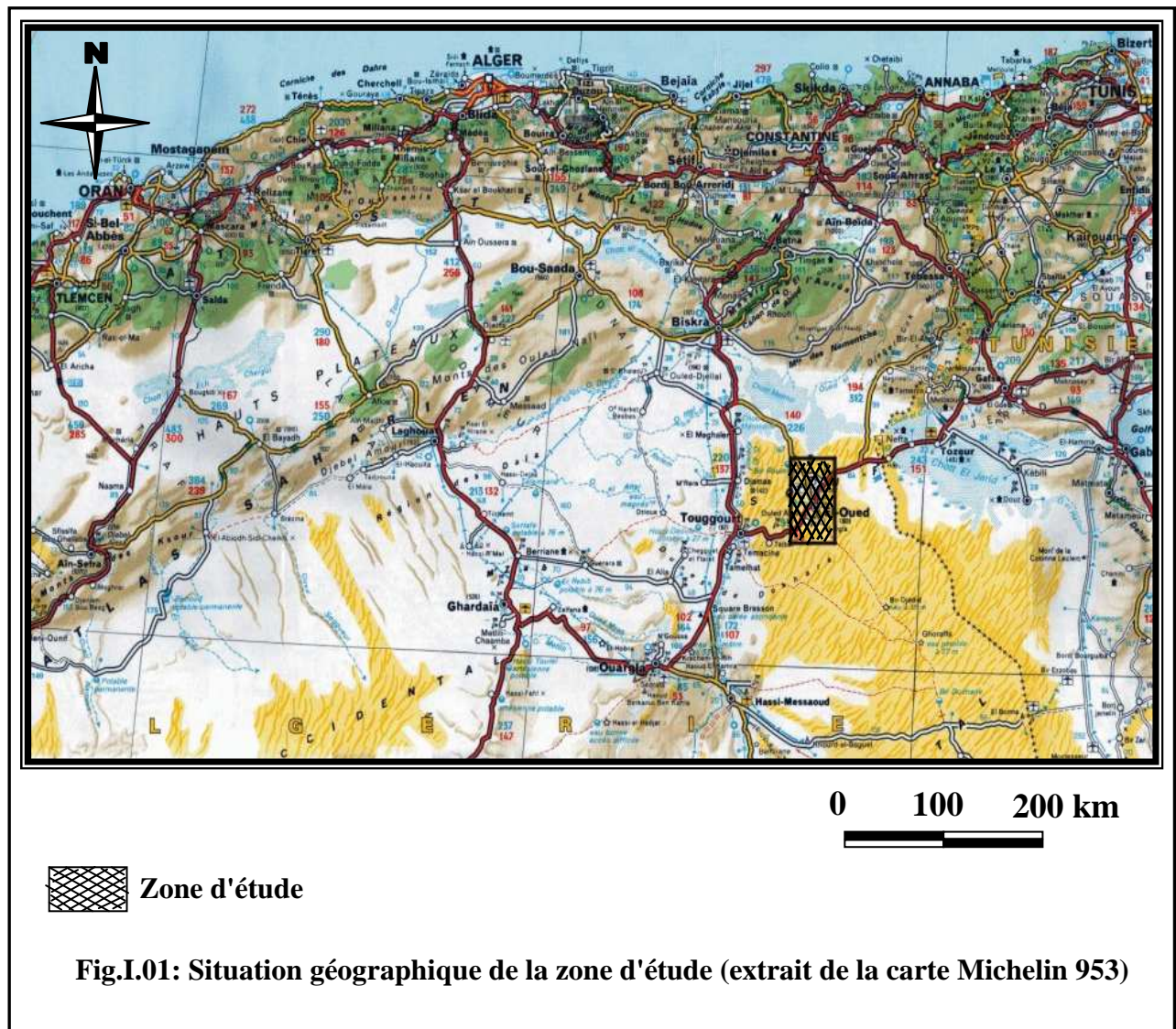
- Au Sud par la mer de dunes du grand erg oriental,
- A l'Est par une série de chotts,
- A l'Ouest par l'Oued Righ (fleuve de fossile) et par la ligne de palmeraie qui court de Biskra à Touggourt.

Elle est délimitée donc par les coordonnées Lambert suivantes :

- X = 275 200 / 322 000
- Y = 3 665 000 / 3743 000

Mais ses frontières sont plus amples si l'on considère l'aire de pâturage des nomades qui s'étend au Nord jusqu'aux monts du Nememchas (contreforts des Aurès), et au Sud jusqu'à la frontière libyenne. Cette région possède des dunes qui dépassent parfois 100 mètres de hauteur; son altitude moyenne est 80 m.

La zone d'étude occupe une superficie de 11738 km² qui représente 18 communes administrativement et englobe une population de 363110 habitants (185484 masculins et 177626 féminins), selon le recensement de 1998.



Tab.I.01 Répartition de la superficie de la zone d'étude par commune (en km²)

N°	Commune	Superficie (km ²)	N°	Commune	Superficie (km ²)
01	Hassi Khalifa	1112	10	Sidi Aoun	480
02	El-Ogla	1352	11	Trifaoui	474
03	Mih Ouansa	1111	12	Magrane	618
04	El Oued	77	13	Ourmes	443
05	Robbah	499	14	Kouinine	116
06	Oued Allenda	712	15	Reguiba	1966
07	Bayadh	139	16	Taghzout	539
08	Nakhla	700	17	Debila	78
09	Guemar	1264	18	Hassani Abdelkerim	58
Total : 11738 km²					

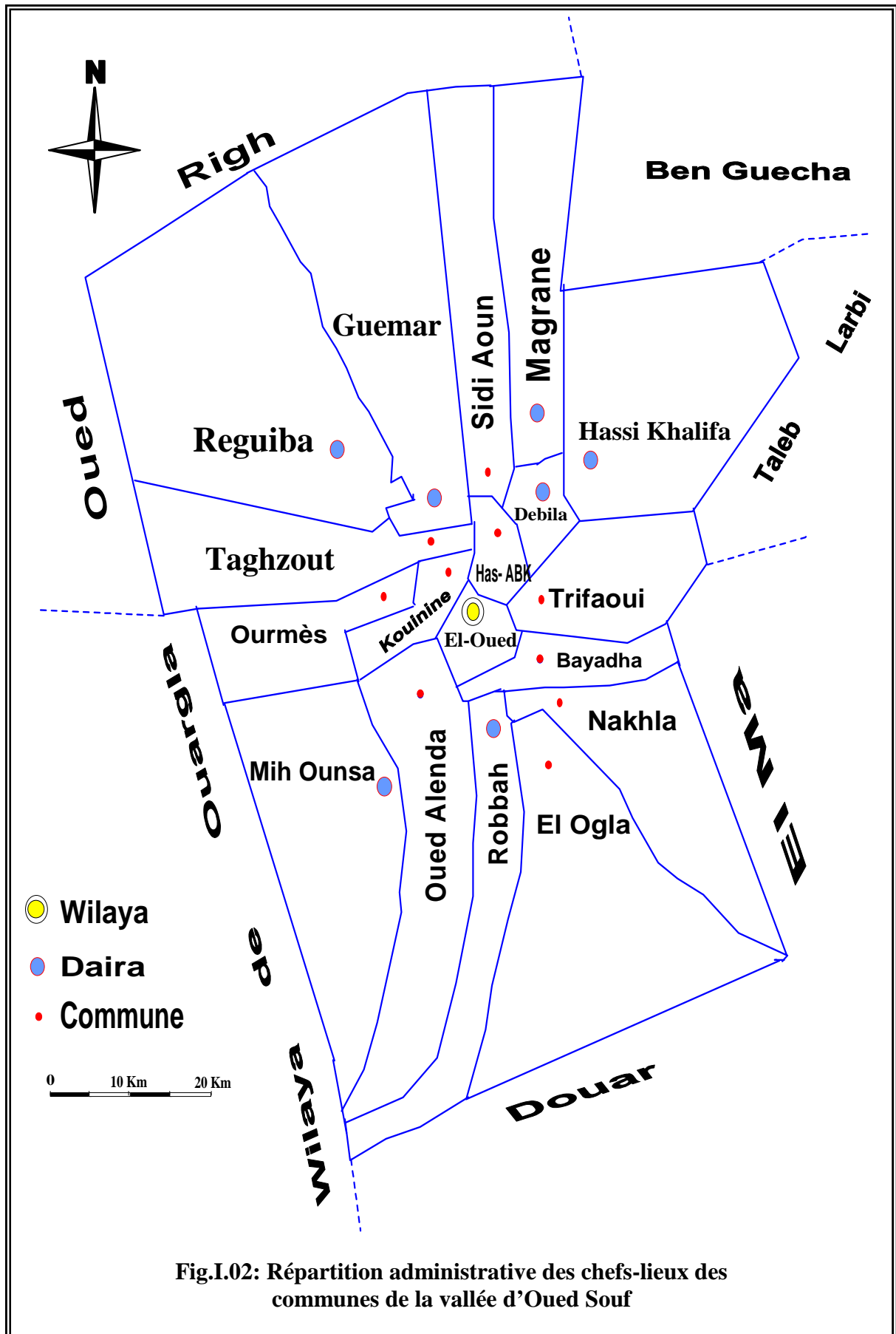


Fig.I.02: Répartition administrative des chefs-lieux des communes de la vallée d'Oued Souf

Tab.I.02: Distribution de la population sur la vallée par commune.

N°	Commune	Masculin (hab)	Féminin (hab)	Total (hab)
01	Hassi Khalifa	13014	12104	25118
02	El-Ogla	2370	2345	4715
03	Mih Ouansa	6035	5744	11779
04	El Oued	54083	51173	105256
05	Robbah	8795	8448	17243
06	Oued Allenda	2951	2888	5839
07	Bayadh	13558	12977	26535
08	Nakhla	4872	4619	9491
09	Guemar	14766	14419	29185
10	Sidi Aoun	5092	4926	10018
11	Trifaoui	3219	3142	6361
12	Magrane	10338	9764	20102
13	Ourmes	2553	2507	5059
14	Kouinine	3823	3748	7571
15	Reguiba	15529	14864	30392
16	Taghzout	5650	5497	11147
17	Debila	10133	9956	20088
18	Hassani Abdelkerim	8703	8505	17207
TOTAL		185484	177626	363110

III. CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE OUED SOUF :

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

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 miopliocènes 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.

III.1. STRATIGRAPHIE REGIONALE :

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 de Oued-Souf, nous citons les principales strates repérées dans cette région, en allant de la plus ancienne vers le plus récente (Fig.I.3: Log de forage F1 de l'Albien):

III.1.1. Formation de l'ère Secondaire :

○ Le Barrémien :

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

○ L'Aptien :

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.

○ **Le 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.

○ **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.

○ **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.

III.1.2. 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:

➤ *Niveau argileux :*

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

➤ *Niveau grès sableux :*

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

➤ *Niveau argileux :*

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

III.1.3. 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 alluvial et éolien d'où on trouve la formation des alluvions sableuses et argileuses.

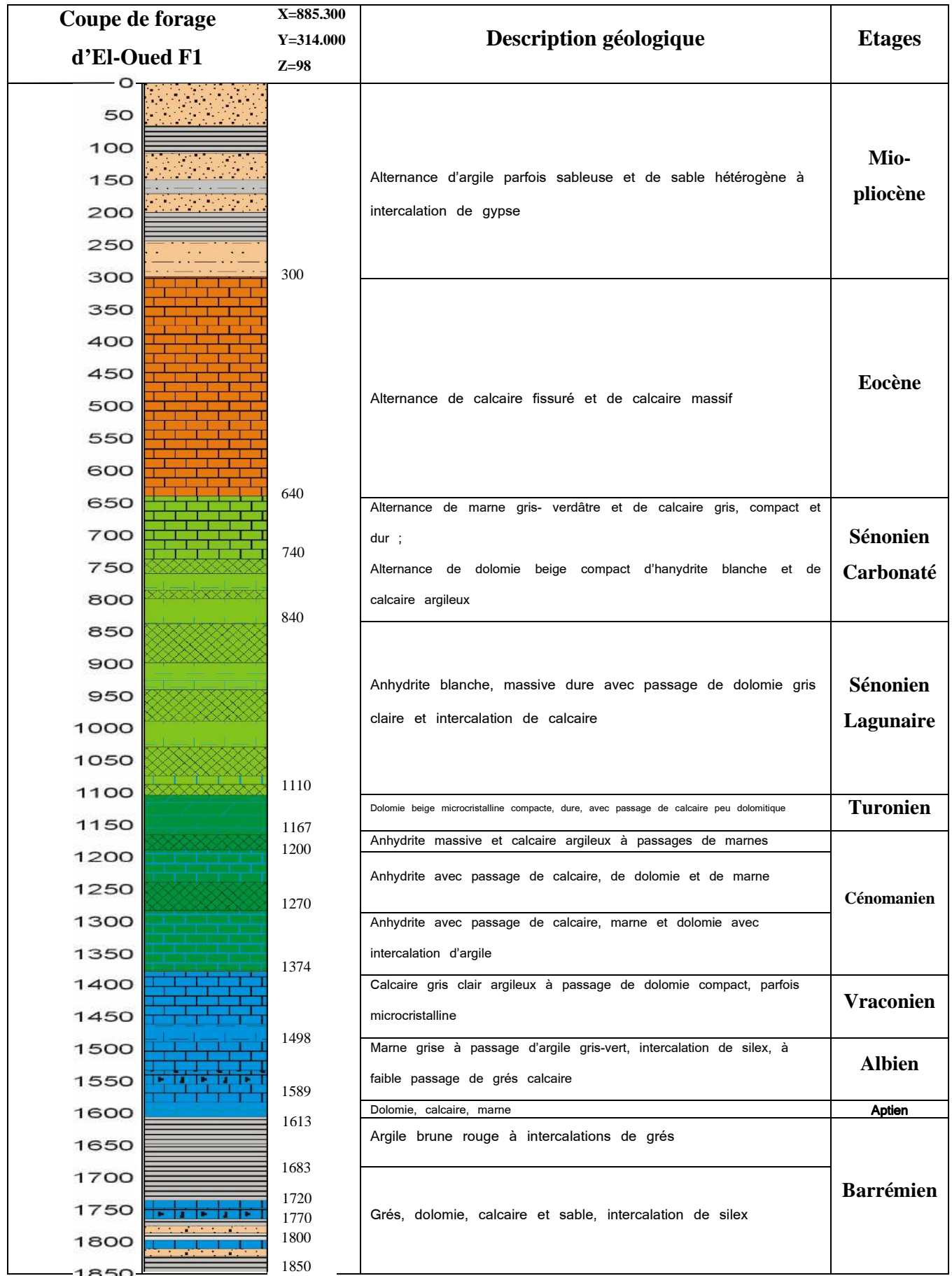


Fig.I.3 : Log de forage F1 à l'Albien (coupe d'après ANRH 1993)

III.2. GEOMORPHOLOGIE :

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 :

III.2.1. 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.

III.2.2. 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.

III.2.3. 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.

III.2.4. 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).

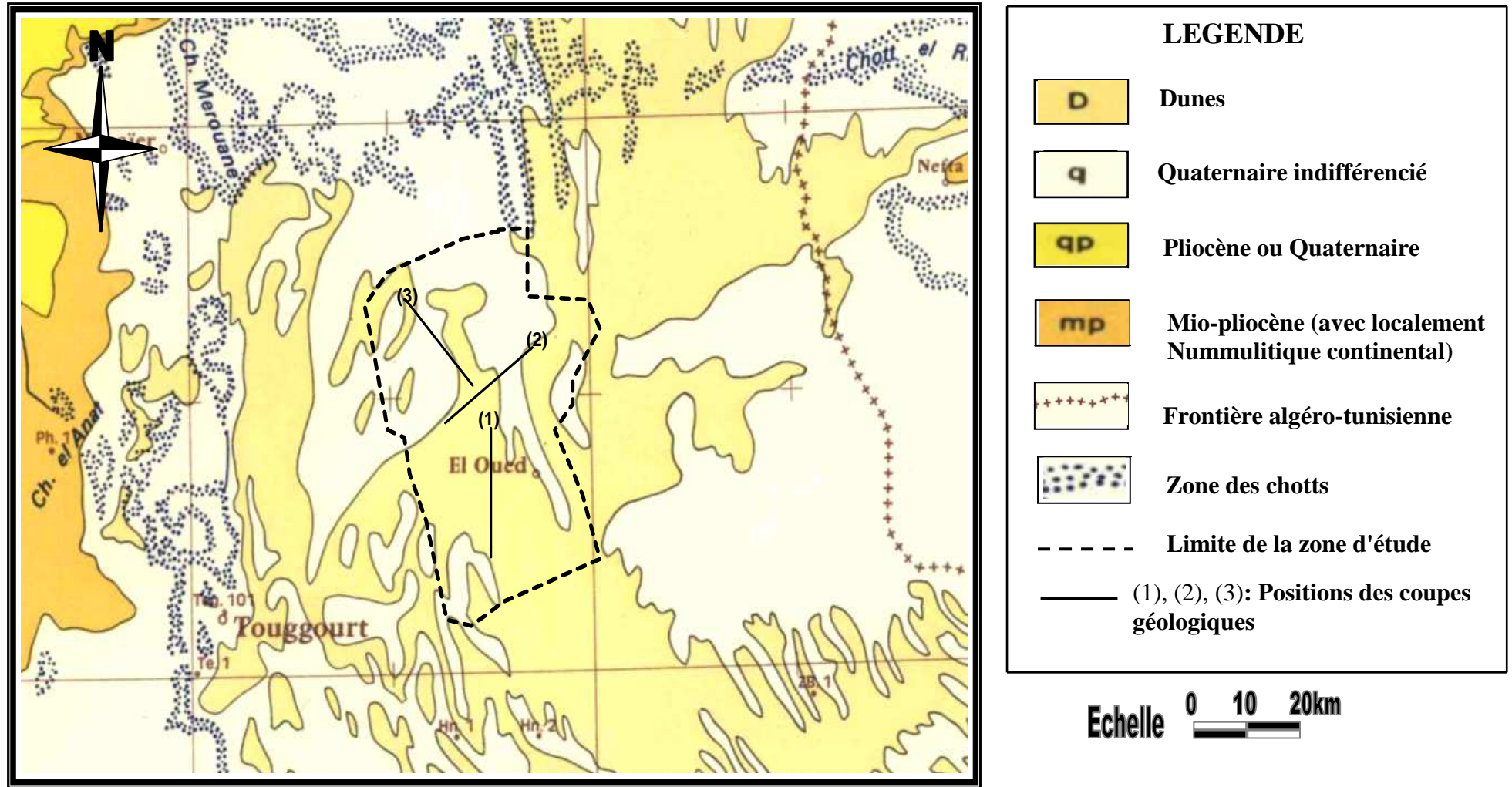


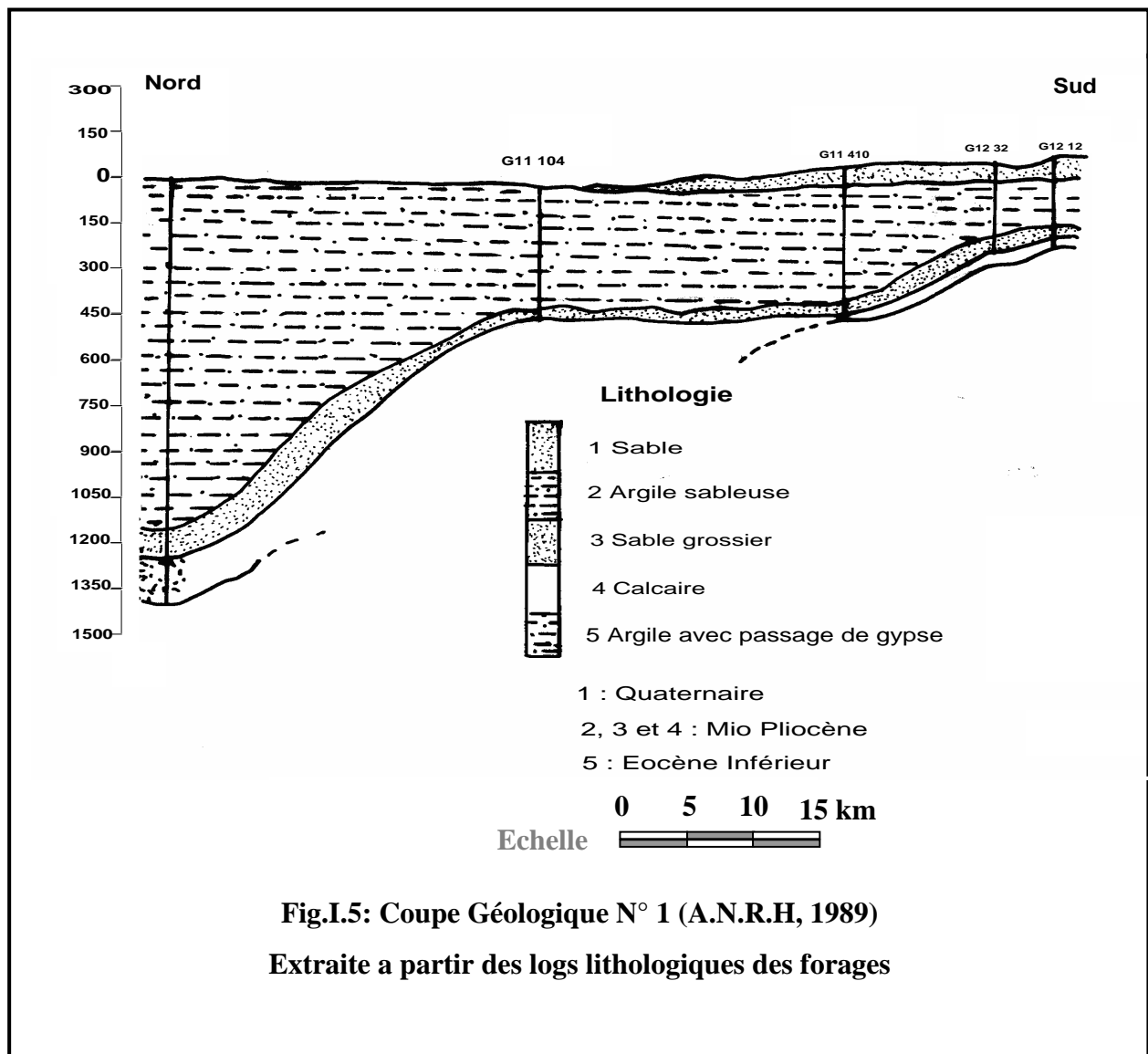
Fig.I.4: Carte géologique de la zone d'étude (extrait d'après la carte du Sahara septentrional G. Busson 1970)

III.3. INTERPRETATION 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.

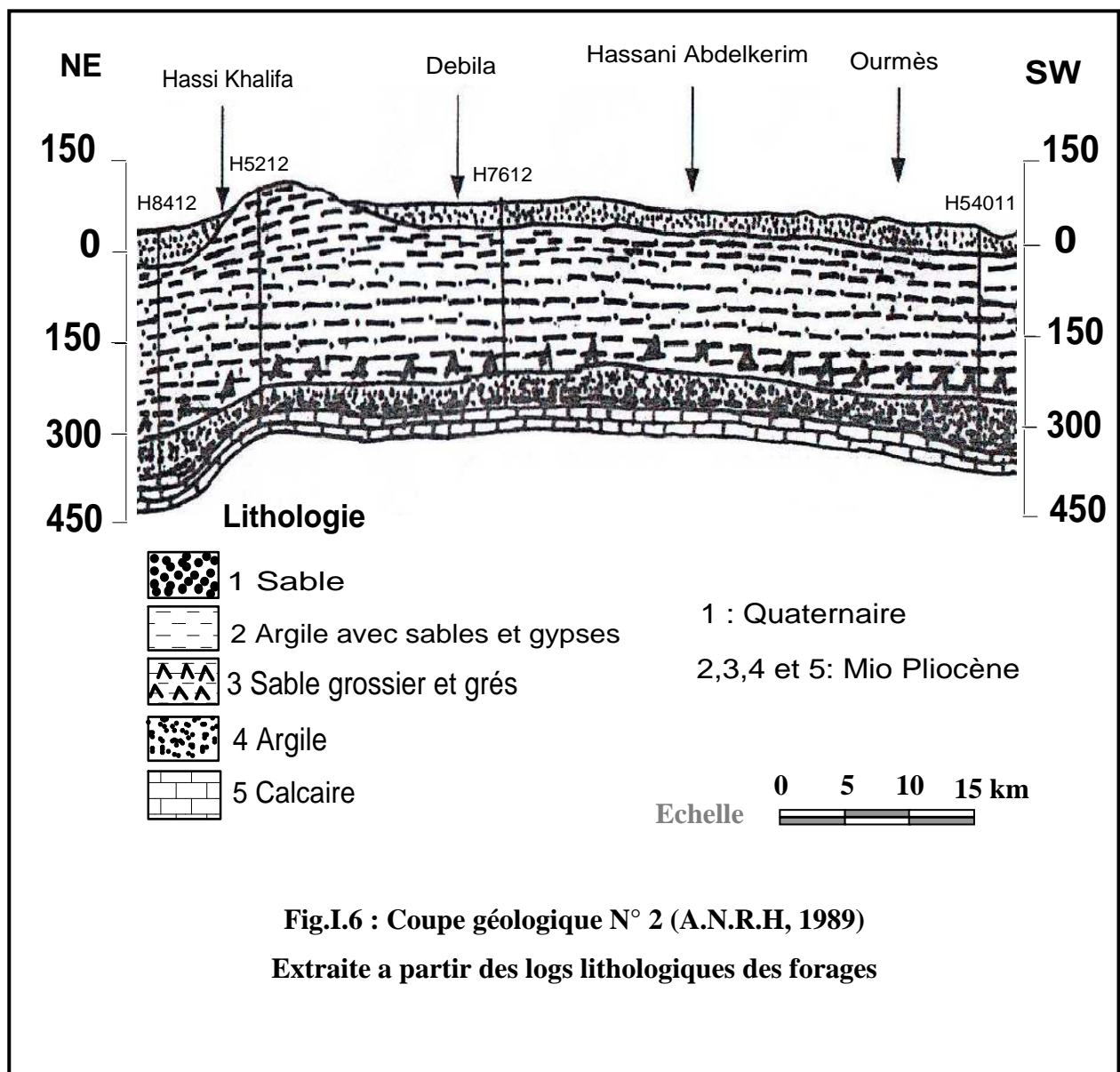
- **Coupe N° 1:**

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 H₁₁¹⁰⁴, 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. I.5)



• 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 H₁₂⁵⁴⁰ l'épaisseur présente presque la moitié de celle de H₁₂⁸⁴) (Fig. I.6).



• **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.I.7).

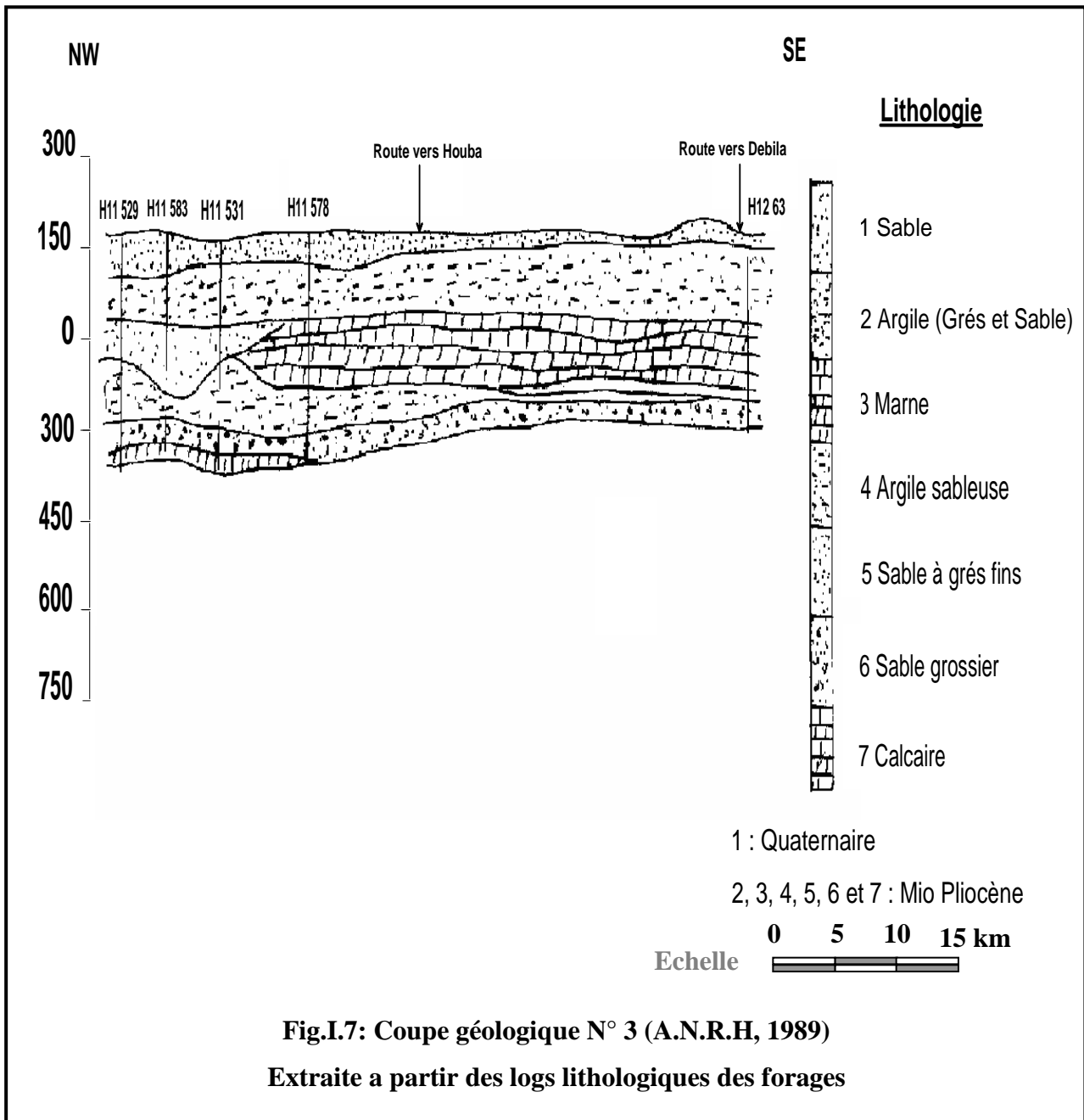


Fig.I.7: Coupe géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989)
Extraite a partir des logs lithologiques des forages

III.4. 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.

La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate-forme crétacée forme un vaste synclinal dont le fond a un très grand rayon de courbure. 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.

III.5. RELIEF :

Le relief de la ville 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.

IV. CONCLUSION :

A partir de cette étude, nous constatons que la région à 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 caractérisé par des séries sédimentaires allant de Crétacé inférieur jusqu'au 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

ETUDE CLIMATOLOGIQUE

I. INTRODUCTION

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

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.

Le climat d'El-Oued est comme le climat saharien se caractérise par un faible taux des précipitations, des températures élevées, d'une évaporation importante et d'un rayonnement solaire excessif.

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.

Réseau d'observation :

Pour analyser les paramètres climatiques, deux stations ont été sélectionnées : stations climatiques de l'ONM (Office National Météorologique) de Guemar et celle de Touggourt, la première représente la seule station existante dans la zone d'étude en plus de sa position au centre, et la seconde a été choisie parmi les autres stations en raison de son rapprochement relative ainsi que son altitude le plus analogue et dont les données sont les plus complètes et les plus représentatives de la région d'étude, ces données sont choisies durant une période de 30 ans (1976-2006) pour les deux stations.

Tab.II.1 : Caractéristiques géographiques des stations climatiques.

N°	Station	Code A.N.R.H	Altitude (m)	Longitude	Latitude
01	Guemar	13 04 09	64	06°47'E	33°30'N
02	Touggourt	13 04 14	85	06°05'E	33°04'N

II. ETUDE DES PARAMETRES CLIMATIQUES :

II.1. La pluviométrie :

L'étude pluviométrique présente un intérêt considérable dans l'hydroclimatologie qui sert à obtenir une description des régimes pluviométriques d'une part et d'autre part son rôle sur l'écoulement, ainsi l'évaluation globale de la lame d'eau tombée qui a une influence sur la variation du niveau d'eau souterraine à travers le territoire d'étude.

a- Répartitions moyennes mensuelles interannuelles des pluies :

Les répartitions moyennes mensuelles interannuelles des précipitations d'une durée d'observation de 30 ans (1976-2006) pour les (02) deux stations de Guemar et de Touggourt résumées dans le tableau suivant :

Tab.II.2 : Moyennes mensuelles des précipitations (mm) (1977-2006)

Mois Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Guemar	5.26	7.32	9.63	6.25	14.65	7.43	8.07	6.43	4.88	1.48	0.55	2.02	73.97
Touggourt	5,04	6,42	6,97	5,31	11,7	6,2	8,17	7,86	3,66	1,64	0,3	3,16	66.42

Ce tableau nous permet d'établir l'histogramme ci-dessous (Fig.II.1) qui montre une variation de la pluviométrie avec une amplitude non constante :

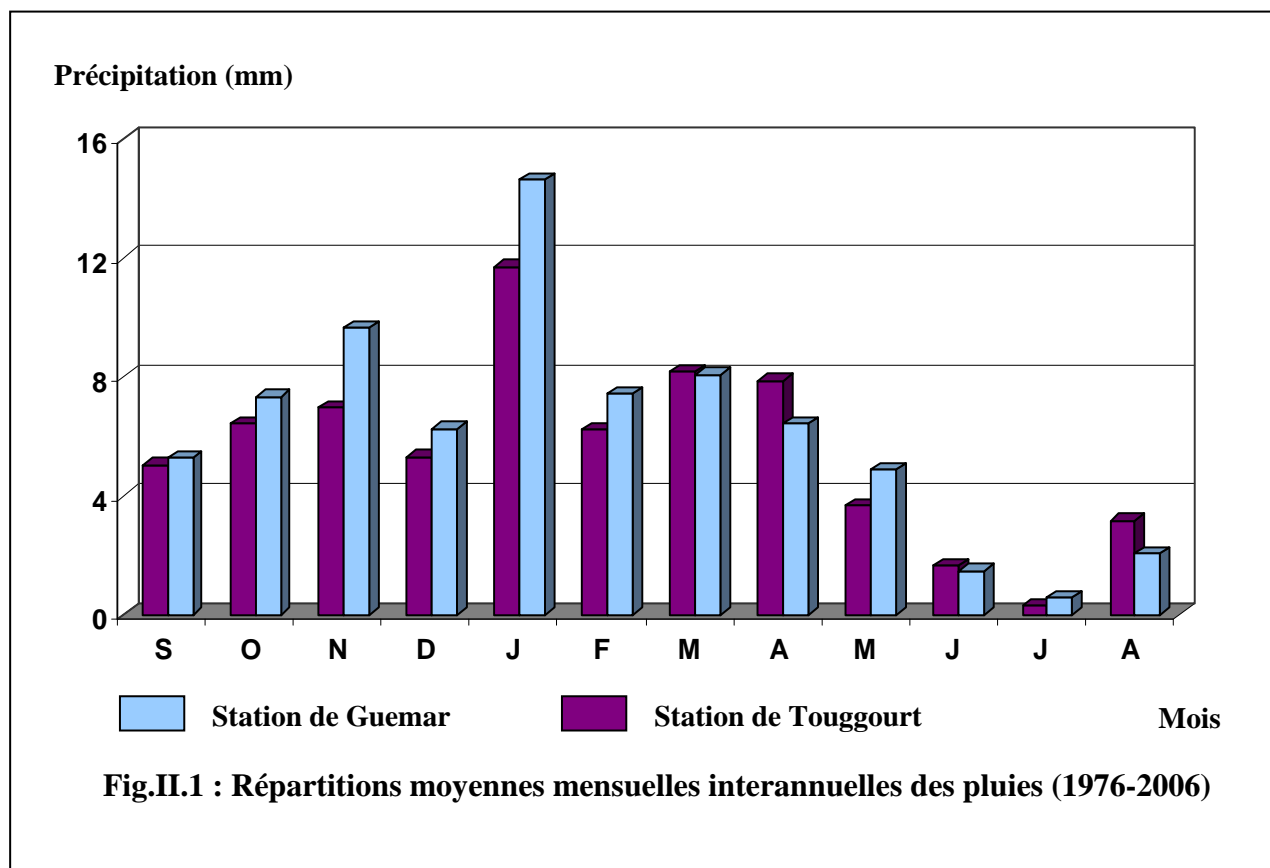
- Station de Guemar :

La pluviométrie maximale est de l'ordre de 14,65 mm enregistré pendant le mois de janvier, et le minimum est de l'ordre de 0,55 mm enregistré pendant le mois de juillet, la moyenne annuelle est 73.97 mm;

- Station de Touggourt :

Du mois de septembre au mois d'avril nous signalons une période relativement pluvieuse avec un maximum durant le mois de janvier avec 11.7 mm, le reste de l'année correspond à la période sèche ou on enregistre un minimum de 0.3 mm pendant le mois de juillet.

Nous constatons qu'au long de ces 30 ans l'existence d'une grande irrégularité des précipitations moyennes mensuelles.



b- Répartitions moyennes annuelles 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.3. La répartition annuelle des pluies est schématisée en figure II.2 marquée par une irrégularité annuelle :

- Station de Guemar :

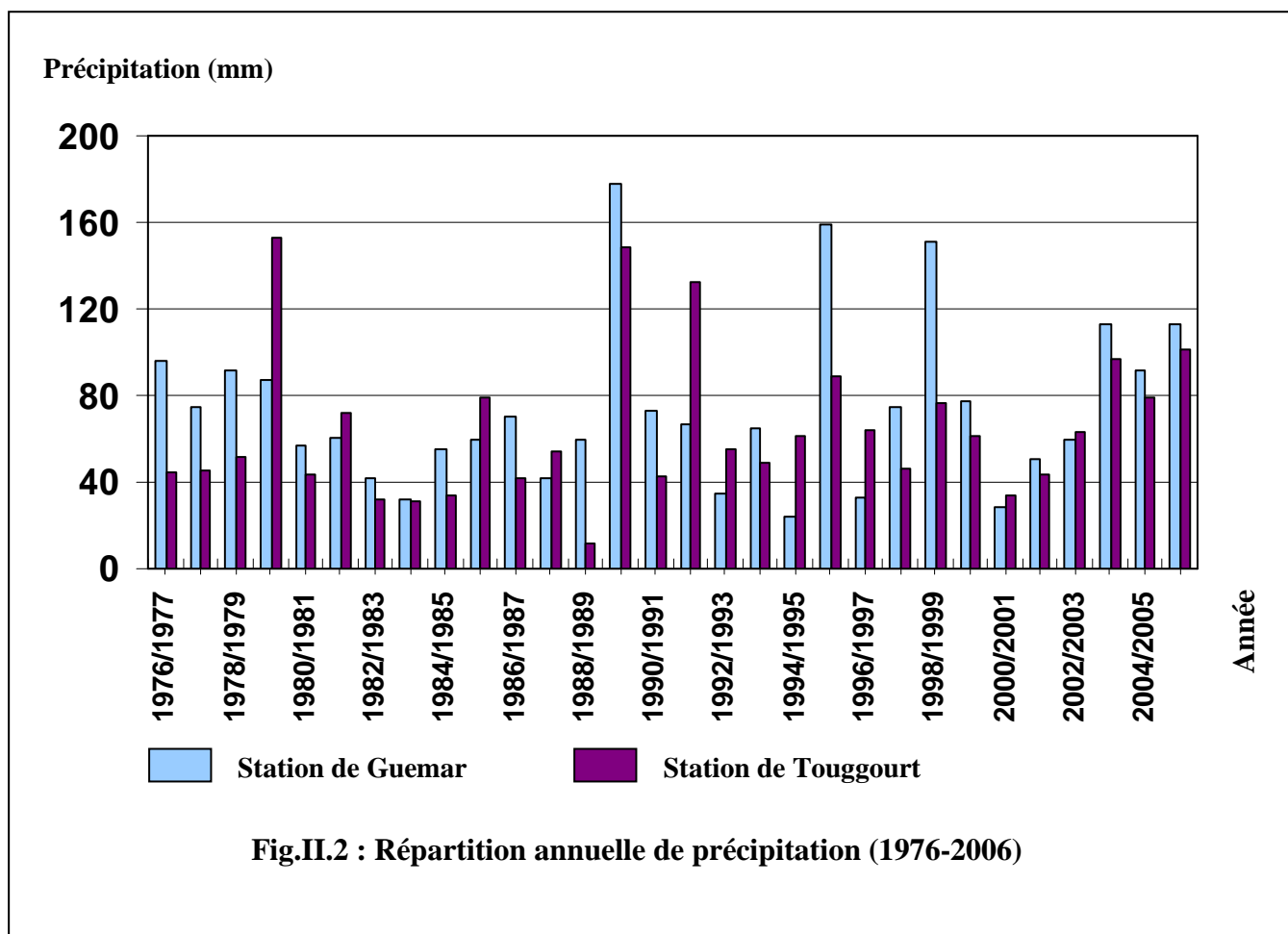
L'année la plus arrosée est 1989/1990 avec une valeur de 177,9 mm et l'année la plus sèche est 1994/1995 avec une valeur de 24.3 mm.

- Station de Touggourt :

L'année la plus arrosée est 1979/1980 avec une valeur de 153 mm et l'année la plus sèche est 1988/1989 avec une valeur de 11.5 mm.

Tab.II.3: Moyenne annuelle des précipitations (1976/2006)

Année	P (mm)		Année	P (mm)		Année	P (mm)	
	Station Guemar	Station Touggourt		Station Guemar	Station Touggourt		Station Guemar	Station Touggourt
1976/1977	95.6	44.7	1986/1987	70.4	41.7	1996/1997	33	64.2
1977/1978	74.9	44.9	1987/1988	41.4	54.5	1997/1998	74.8	46.4
1978/1979	91.2	51.9	1988/1989	59.5	11.5	1998/1999	150.7	76.6
1979/1980	87.5	153	1989/1990	177.9	148.4	1999/2000	77.6	61.4
1980/1981	57.3	43.4	1990/1991	72.9	42.8	2000/2001	28.1	34.2
1981/1982	60.4	72.4	1991/1992	67	132.2	2001/2002	50.5	43.8
1982/1983	41.4	31.6	1992/1993	35	55.2	2002/2003	59.5	63.2
1983/1984	32.4	30.9	1993/1994	64.8	48.7	2003/2004	113.1	97.3
1984/1985	54.7	33.7	1994/1995	24.3	61.4	2004/2005	91.7	79.4
1985/1986	59.4	79.4	1995/1996	159.3	88.5	2005/2006	112.6	101.3



Ce qu'on peut conclure, selon les données pluviométriques requises à partir des (02) deux stations de l'Office National de Météorologie de l'aéroport de Guemar et de Touggourt sur la période allant de 1976 jusqu'au 2006 :

- Pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 73.97 mm pour la première et 66.42 mm pour la deuxième et elle est très variable à l'échelle annuelle (l'écart type est de 38.08 à 35.64 mm);
- Nombre annuel moyen de jours de pluies : 20 à 28 jours;
- Pluie maximale enregistrée en 24 heures : 45,8 mm (à noter que 3 épisodes supérieurs à 40 mm ont été relevés sur les 30 ans).
- Janvier est le mois le plus arrosé avec une moyenne de 11.70 à 14.65 mm et le plus sec est juillet avec un moyen de 0.30 à 0.55 mm comme le montre le tableau ci-dessous :

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

Tab.II.4 : Récapitulation sur les données pluviométriques

Paramètres Station	P moy (mm)	P max (mm)	Année plus arrosée	Année plus sèche	Mois plus arrosé	Mois plus sec	Ecart type (mm)
Guemar	73.97	78.8	1989/199	1994/199	Janvier	Juillet	38,08
Touggourt	66.42	77.9	1979/198	1988/198	Janvier	Juillet	35,64

II.2. La température :

a- Les températures moyennes interannuelles :

Le tableau N°II.5 et la figure N°II.3 représentent la répartition moyenne mensuelle interannuelle de la température :

- Station de Guemar :

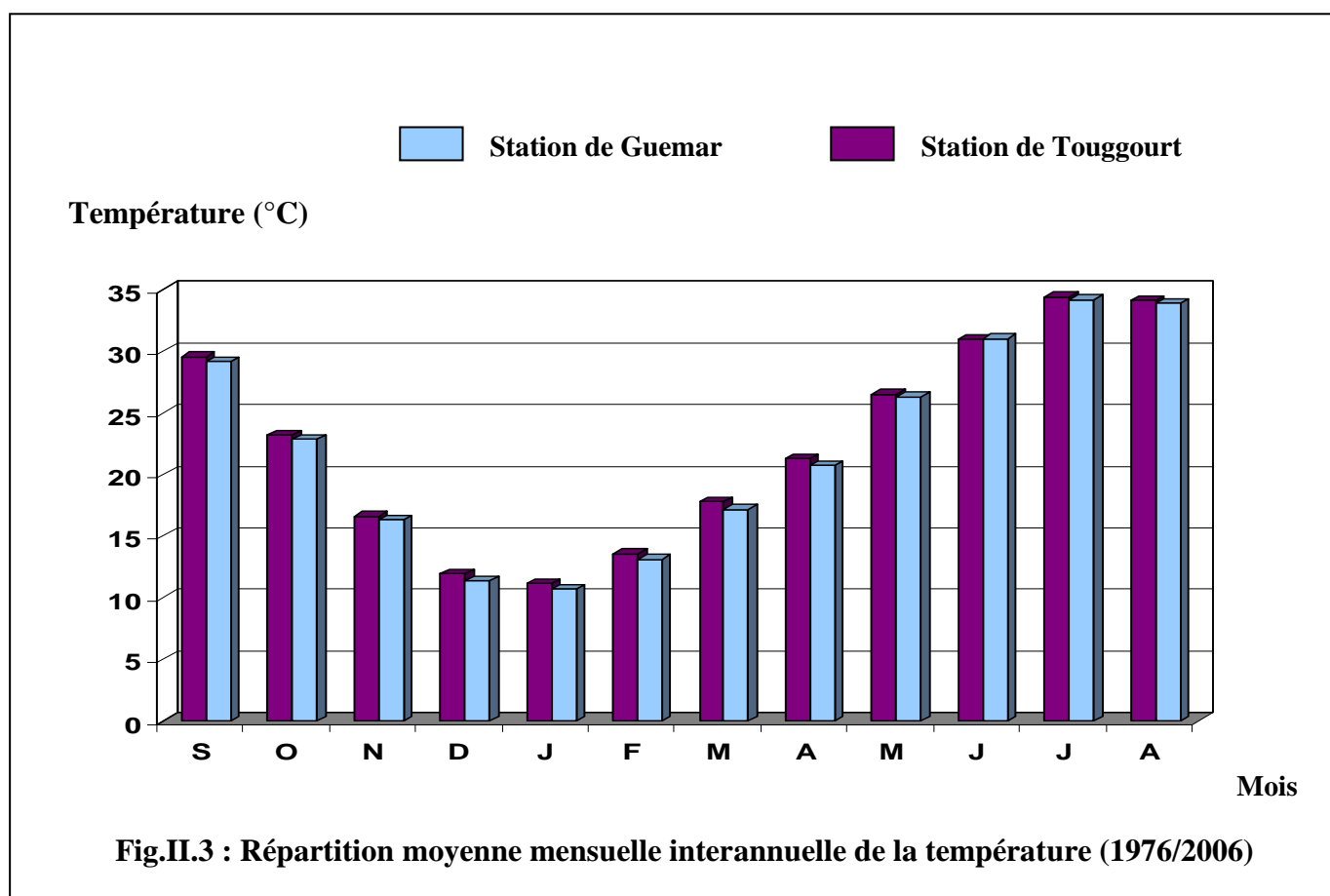
La période qui s'étale du mois de novembre au mois d'avril correspond à la période froide avec un minimum durant le mois de janvier (10.67 °C) alors que la période chaude commence à partir du mois de mai jusqu'au mois de septembre avec un maximum de température relevé pendant le mois de juillet (34.18 °C). La moyenne annuelle est de l'ordre de 22.23°C.

- Station de Touggourt :

Le mois le plus froid est le mois de janvier avec une température moyenne mensuelle de 11.14 °C, juillet est le mois le plus chaud avec une température moyenne mensuelle de 34.41°C et la moyenne annuelle est de l'ordre de 22.58 °C.

Tab.II.5: Moyennes mensuelles de la température de l'air (°C) (1976-2006)

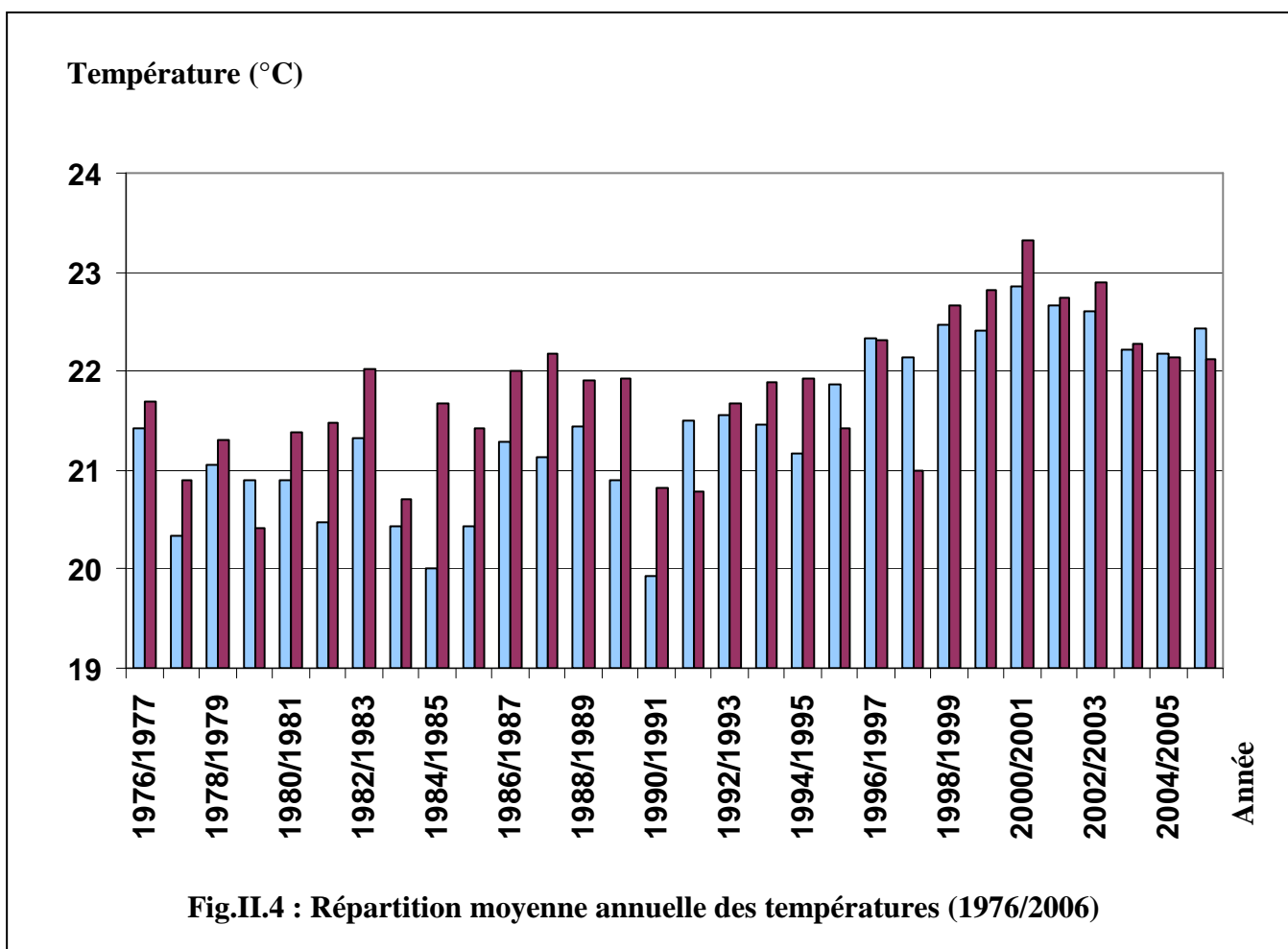
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Station													
Guemar	29,18	22,83	16,29	11,39	10,67	13,12	17,18	20,70	26,31	31,01	34,18	33,89	22.23
Touggourt	29,56	23,18	16,59	11,91	11,14	13,55	17,75	21,31	26,53	30,97	34,41	34,11	22.58



b- Les températures moyennes annuelles :

Tab.II.6 : Moyenne annuelle des températures de l'air (1976/2006)

Année	T moy (°C)		Année	T moy (°C)		Année	T moy (°C)	
	Station Guemar	Station Touggourt		Station Guemar	Station Touggourt		Station Guemar	Station Touggourt
1976/1977	21,42	21,70	1986/1987	21,29	22,00	1996/1997	22,33	22,32
1977/1978	20,33	20,90	1987/1988	21,14	22,17	1997/1998	22,13	21,00
1978/1979	21,05	21,30	1988/1989	21,45	21,90	1998/1999	22,47	22,66
1979/1980	20,89	20,41	1989/1990	20,90	21,92	1999/2000	22,42	22,81
1980/1981	20,90	21,38	1990/1991	19,93	20,83	2000/2001	22,85	23,33
1981/1982	20,48	21,49	1991/1992	21,50	20,78	2001/2002	22,67	22,74
1982/1983	21,33	22,03	1992/1993	21,56	21,68	2002/2003	22,60	22,89
1983/1984	20,43	20,71	1993/1994	21,47	21,88	2003/2004	22,22	22,27
1984/1985	20,01	21,67	1994/1995	21,17	21,93	2004/2005	22,18	22,13
1985/1986	20,43	21,43	1995/1996	21,86	21,43	2005/2006	22,43	22,12



Le tableau ci-dessus et la figure N°II.4 présentent la répartition des températures moyennes annuelles sur une série de 30 ans (1976/2006), celle qui montre bien une irrégularité annuelle :

- Station de Guemar :

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 .

- Station de Touggourt :

L'année la plus chaude est 2000/2001 avec une température moyenne de 23.33°C et l'année la plus froide est 1979/1980 avec une moyenne de température égale à 20.41°C .

Concernant la répartition de la température au niveau des deux stations sur la même période d'observation, on peut conclure ce qui suit :

- Moyenne annuelle de la température oscille entre 22.23°C et 22.58°C pour les deux stations;
- Irrégularité annuelle parue par un écart type entre 0.71 à 0.84°C ;
- Le mois le plus froid est janvier (température moyenne de 10.14 à 10.67°C);
- Le mois le plus chaud est juillet (température moyenne de 34.8 à 34.41°C).

Tab.II.7 : Récapitulation des données de la température

Paramètres Station	T moy (°C)	T max (°C)	T min (°C)	Année plus froide	Année plus chaude	Mois plus froid	Mois plus chaud	Ecart type (°C)
Guemar	22.23	36.1	8.4	1990/199	2000/200	Janvier	Juillet	0.84
Touggourt	22.58	36	8.3	1979/198	2000/200	Janvier	Juillet	0.71

II.3. Synthèse climatique :

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

- Les périodes sèches et humides au cours de l'année grâce au diagramme pluviométrique de Gaussen;
- Le domaine climatique ou le type de climat suivant la méthode d'Emberger (climagramme 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 (°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 (10.67 °C) et la précipitation la plus élevé (14.65 mm).

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

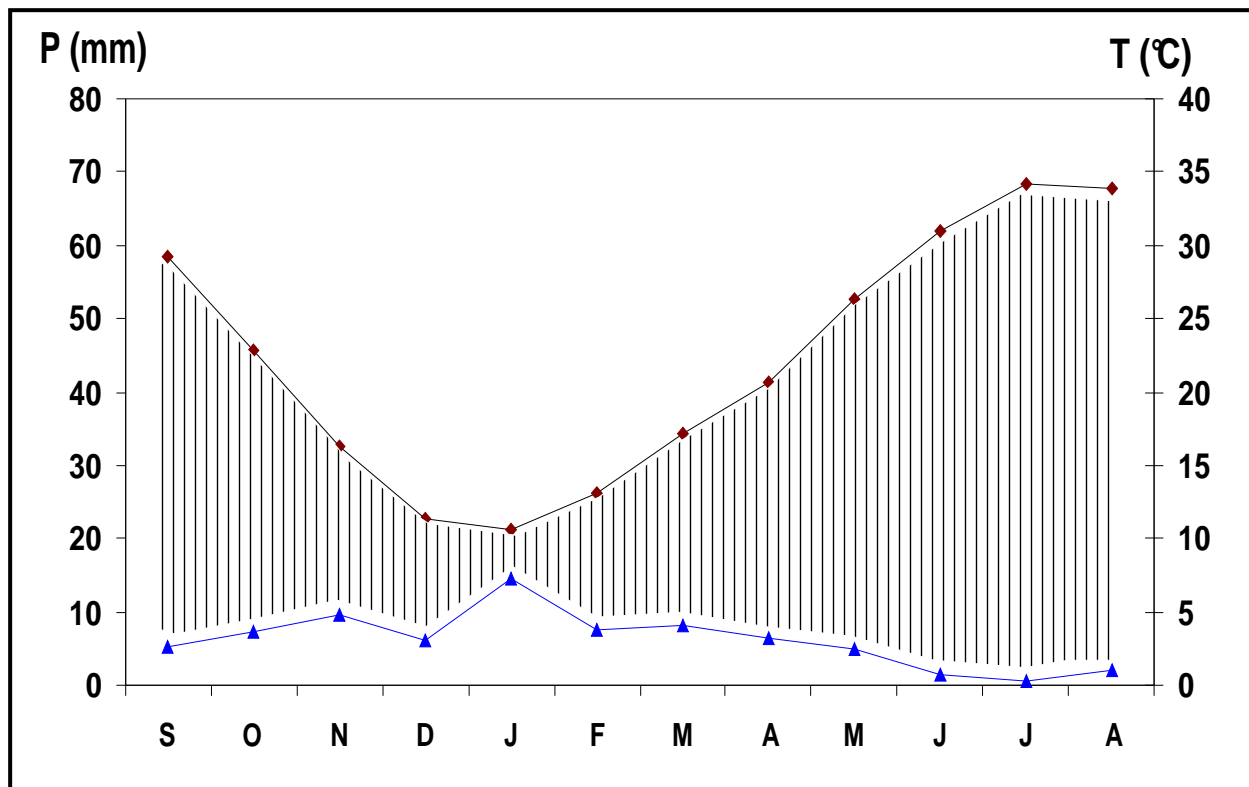


Fig.II.5 : Diagramme pluiothermique de la station de Guemar (1976-2006)

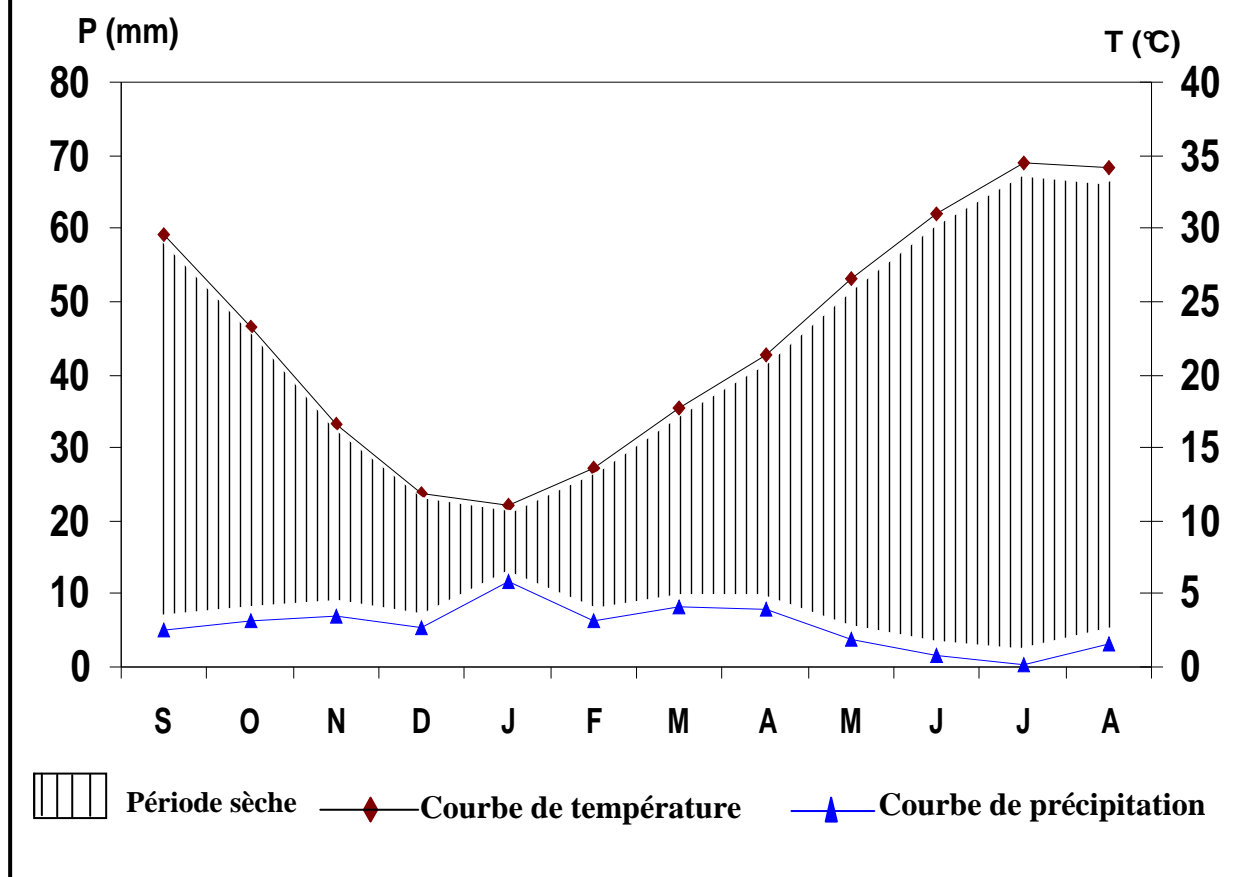


Fig.II.6 : Diagramme pluiothermique de la station de Touggourt (1976-2006)

II.3.2. Climagramme d'Emberger:

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

Q : Quotient pluviométrique d'Emberger

P : Précipitation moyenne annuelle (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 de janvier.

Application numérique :

- *Pour la station de Guemar :*

$$M = 948.9 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

$$m = 298.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{73.97 \times 2000}{(948.9)^2 - (298.7)^2} = 0.18$$

La température minimal enregistrée pendant le mois de janvier au cours des 30 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 ; 0.18)

- *Pour la station de Touggourt :*

$$M = 963.4 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

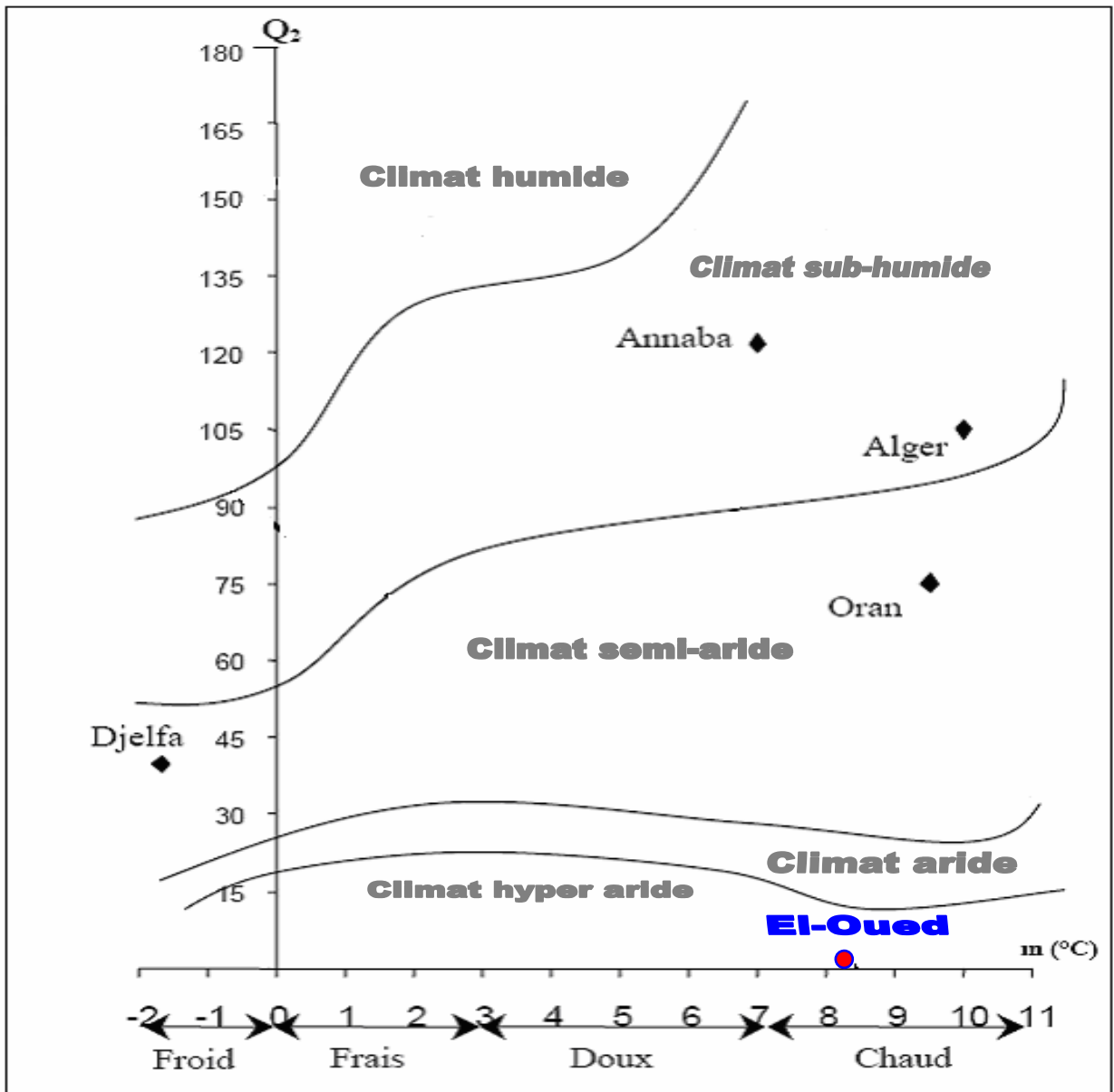
$$m = 312 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{66.42 \times 2000}{(963.4)^2 - (312)^2} = 0.16$$

La température minimal enregistrée pendant le mois de janvier au cours des 30 ans sur cette station est 8.3 °C,

Donc la position de la station de Touggourt sur le climagramme se situe au point (8,3 ; 0,16)

Selon le climagramme d'Emberger, le climat de la région est de type hyper-aride. (Fig.II.7)



● : Stations de Guemar et de Touggourt

Fig.II.7: Position des deux stations de l'ONM: de Guemar et de Touggourt sur le climagramme d'Emberger.

II.3.3. Indice d'aridité : Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes mensuelles en (mm) et la température annuelle en (°C), en appliquant la formule suivante :

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

I : Indice d'aridité.

P : Précipitation moyenne mensuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

$$P = 73.97 \text{ mm} \quad ; \quad T = 22.23 \text{ °C} \quad \text{donc } I = \frac{73.97}{22.23 + 10} = 2.29 \text{ mm/°C}$$

$$P = 66.42 \text{ mm} \quad ; \quad T = 22.58 \text{ °C} \quad \text{donc } I = \frac{66.42}{22.58 + 10} = 2.03 \text{ mm/°C}$$

Sur la base des fourchettes de l'indice d'aridité fixées par De Martone, nous pouvons tirer le type de climat de notre région d'étude.

$I < 5$Climat hyper-aride

$5 \% < I < 7.5$Climat désertique

$7.5 \% < I < 10$Climat steppique

$10 \% < I < 20$Climat semi-aride

$20 \% < I < 30$Climat tempéré

Ce qui confirme que notre région est caractérisée par un climat hyper aride.

II.4. Etude statistique des précipitations de la station de Guemar (Période 1976-2006)

L'étude statistique qu'on va établir concerne les moyennes pluviométriques annuelles fournies par la station de Guemar durant la période allant de 1976 à 2006.

a. Paramètres statistiques de la série pluviométrique :

- La moyenne annuelle : $\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$ $\bar{X} = 73.97 \text{ mm}$

- L'écart type : $\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (X_i - \bar{X})^2}$ $\sigma = 38,08 \text{ mm}$

Avec X_i : Précipitation annuelle en mm.

N : Nombre d'années d'observation. (Égale à 30)

- La variance : c'est la puissance carrée de l'écart type σ^2 .

$$\sigma^2 = 1450,09 \text{ mm}^2$$

- Le coefficient de variation : $C_v = \sigma / \bar{X}$

$$C_v = 51.48 \% \text{ (l'échantillon est légèrement dissymétrique)}$$

b. Recherche de la loi statistique d'ajustement :

On cherche parmi les lois statistiques celles qui s'ajustent mieux à notre échantillon à savoir la loi normale (la loi de Gauss), la loi log-normale.

On classe, tout d'abord, les totaux pluviométriques annuels par ordre croissant, puis on détermine la probabilité d'occurrence $f(x_i)$ de chaque valeur classée ou la fréquence au non dépassement, $f(x_i)$ calculé par le formule suivante :

$$f(x_i) = \frac{1}{N}(i - 0.5) \quad (\text{Tab.II.8})$$

D'où i : est le rang de la valeur des totaux pluviométriques pris à partir de 1.

Tab.II.8: Valeurs des précipitations annuelles classées par ordre croissant et les probabilités correspondantes

Année	P (mm)	Rang (i)	Probabilité (%)	Année	P (mm)	Rang (i)	Probabilité (%)
1994/1995	24.3	1	1.7	1991/1992	67	16	51.67
2000/2001	28.1	2	5	1986/1987	70.4	17	55
1983/1984	32.4	3	8.3	1990/1991	72.9	18	58.33
1996/1997	33	4	11.67	1997/1998	74.8	19	61.67
1992/1993	35	5	15	1977/1978	74.9	20	65
1982/1983	41.4	6	18.33	1999/2000	77.6	21	68.33
1987/1988	41.4	7	21.67	1979/1980	87.5	22	71.67
2001/2002	50.5	8	25	1978/1979	91.2	23	75
1984/1985	54.7	9	28.33	2004/2005	91.7	24	78.33
1980/1981	57.3	10	31.67	1976/1977	95.6	25	81.67
1985/1986	59.4	11	35	2005/2006	112.6	26	85
1988/1989	59.5	12	38.33	2003/2004	113.1	27	88.33
2002/2003	59.5	13	41.67	1998/1999	150.7	28	91.67
1981/1982	60.4	14	45	1995/1996	159.3	29	95
1993/1994	64.8	15	48.33	1989/1990	177.9	30	98.33

b.1. Ajustement suivant la loi normale (loi de Gauss) :

La loi de Gauss s'exprime par :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^U e^{-\frac{U^2}{2}} dU \quad \text{Avec : } U \text{ est la variable réduite } / U = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$$

Les individus portés sur un papier de Gauss d'échelle arithmétique en fonction de leurs probabilité au dépassement $f(x_i)$, la représentation montre que l'échantillon s'aligne suivant un nuage des points droite ce qui vérifie l'ajustement (l'adéquation) de celle-ci à la loi de Gauss.

$$X_i = \bar{X} + \sigma.U$$

Donc : $X_i = 73.97 + 38.08 U$

Avec \bar{X} : La moyenne annuelle des précipitations (mm).

σ : L'écart type des précipitations (mm).

U : Variable réduite de Gauss.

Pour tracer la droite, il faut qu'on a au moins deux (02) points :

- Dans le cas précis, $U=0$, l'équation devient $X_i = \bar{X}$ alors $X_i = 73.97$ mm
- On prend $U=2$, $\bar{X}_i = 73.97 + 38.08 \times 2$, alors $X_i = 150.13$ mm

Donc la droite de Henry passe par les deux points qui ont les coordonnées suivantes :

$P_1(0;73.97)$ et $P_2(2;150.13)$

➤ Calcul de fréquence et le temps de retour de l'année la plus arrosée (1989/1990):

$$U_{1989/1990} = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} = \frac{177.9 - 73.97}{38.08} = 2.73$$

$$F = 0.9954 = 99.54 \%$$

$$F > 50 \% \Rightarrow T = \frac{1}{1 - 0.9954} \Rightarrow T = \frac{1}{0.0046} = 217 \text{ ans.}$$

➤ Calcul de fréquence et le temps de retour de l'année la plus sèche (1994/1995):

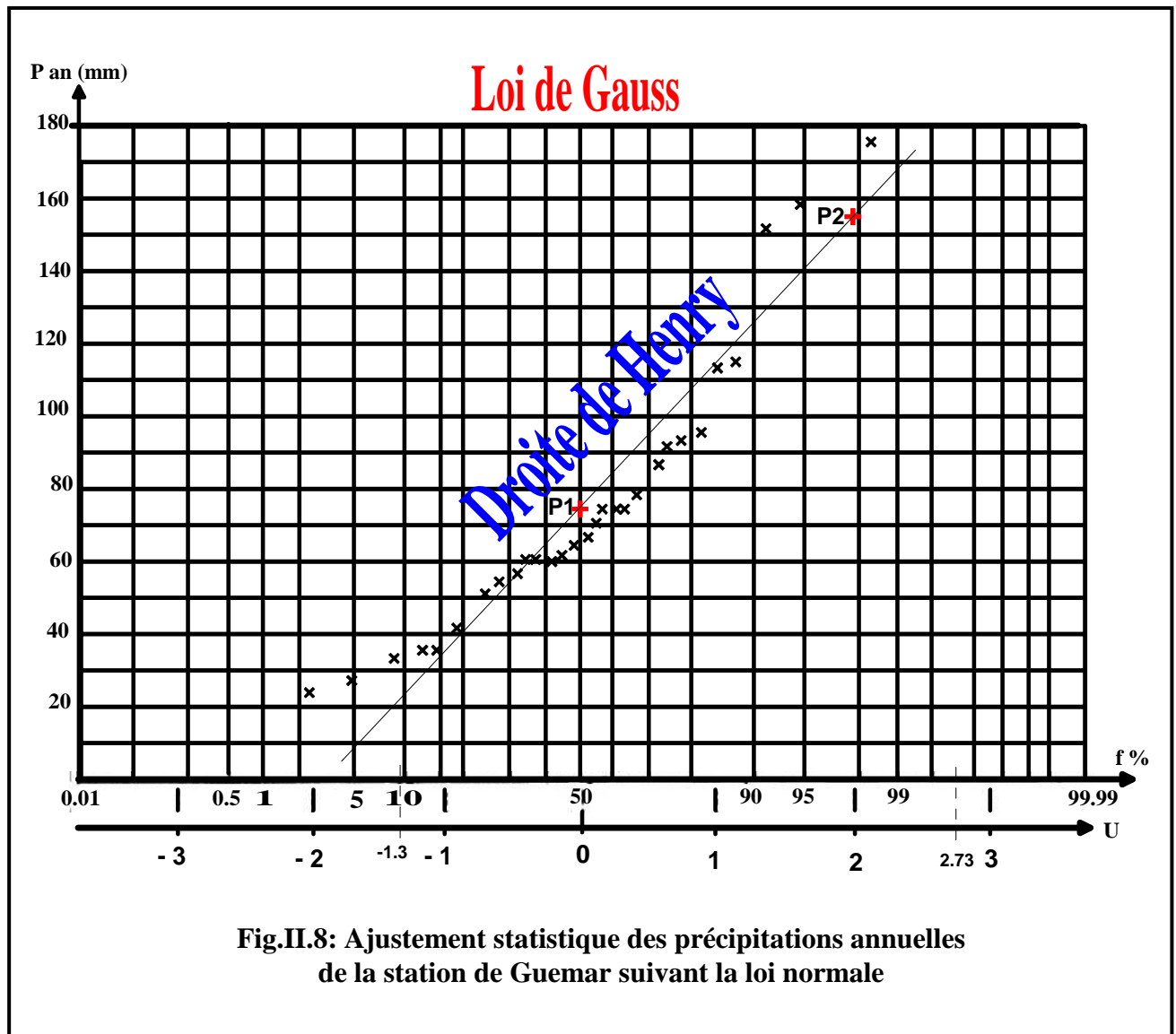
$$U_{1994/1995} = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} = \frac{24.3 - 73.97}{38.08} = -1.3$$

$$F = 0.097 = 9.7 \%$$

$$F < 50 \% \Rightarrow T = \frac{1}{F} \Rightarrow T = \frac{1}{0.097}$$

$$T = 10.3 \text{ ans.}$$

On peut conclure qu'on peut avoir tous les 217 ans, une année de pluviométrie supérieure à 177.9 mm et chaque 10 ans, une année de précipitation inférieure ou égale à 24.3mm.



- **Test d'adéquation du χ^2 en loi normale :**

Le but de ce test est de juger l'adéquation d'un échantillon à une loi donnée. Pour calculer la valeur du χ^2 , on procède de la manière suivante :

- Subdivision de l'échantillon en K classes d'égales probabilités théoriques contenant chacune le même effectif théorique (TH).
- Détermination des limites de classes et calcul des effectifs observés (O).

Le χ^2 est calculé alors par la loi suivante :

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - TH)^2}{TH}$$

Le degré de liberté ν est déterminé par la loi suivante :

$$\nu = n - p - 1$$

Avec n : nombre de classes =5.

P : paramètre de la loi (1 par paramètre calculé).

I : Pour l'égalité des effectifs ($\sum TH = \sum O$).

On a $N = 30$, donc on prend le nombre de classe $n = 5$, les classes ont toutes d'égale probabilité

P_i : $P_i = I/n = 0.2$

L'effectif théorique (TH) de chaque classe est : $TH = \frac{N}{5} = \frac{30}{5} \Rightarrow TH = 6$

Tab.II.09 : Précipitations correspondantes aux probabilités de dépassement.

P_i cumulées	U	x (mm)
0.2	-0.82	40.2
0.4	-0.25	63.6
0.6	0.25	84.4
0.8	0.82	108.7
1	/	/

Tab. II.10 : Les résultats du calcul du χ^2 en loi normale.

N° de classe	Limites de classe	Effectif théorique (TH)	Effectif observé (O)	$\frac{(O - TH)^2}{TH}$
1	< 40.20	6	5	0.17
2	40.20-63.6	6	9	1.5
3	63.6-84.4	6	7	0.17
4	84.4-108.7	6	4	0.67
5	> 108.7	6	5	0.17
$\sum \frac{(O - TH)^2}{TH}$				2.68

La table de Pearson du χ^2 nous donne la valeur de la probabilité du χ^2 par rapport à un seuil de dépassement estimé à 0.05. Si le χ^2 théorique est supérieur à χ^2 calculé de 0.05, cela signifie que notre échantillon suit la loi de distribution testée, si le $P(\chi^2)$ est inférieur à 0.05, notre échantillon ne s'ajuste pas à la loi de distribution testée.

Dans notre cas, le χ^2 calculé par la formule est égale à 2.64, le $\sqrt{2.64} = 1.62$, d'après la table on a $P(\chi^2)=0.36$, cette valeur est supérieure à 0.05, donc l'échantillon s'ajuste suivant la loi normale.

b.2. Ajustement suivant la loi log-normal (loi de Galton):

La représentation graphique sur papier log-normale montre une légère convexité, l'équation de la droite d'ajustement (droite d'Henry) est de la forme :

$$\text{Log} (\bar{X} - X_0) = (1/a U) - (b/a)$$

Avec : a et b : coefficients d'ajustement.

U : variable de Gauss.

X₀ : paramètre de position (X₀ = 0).

$$a = 1.517 / (\text{Log} (1 + \sigma^2 / (\bar{X} - X_0)^2))^{1/2}$$

Nous avons $\bar{X} = 73.97$ mm et $\sigma = 38.08$ mm ;
a = 4.74

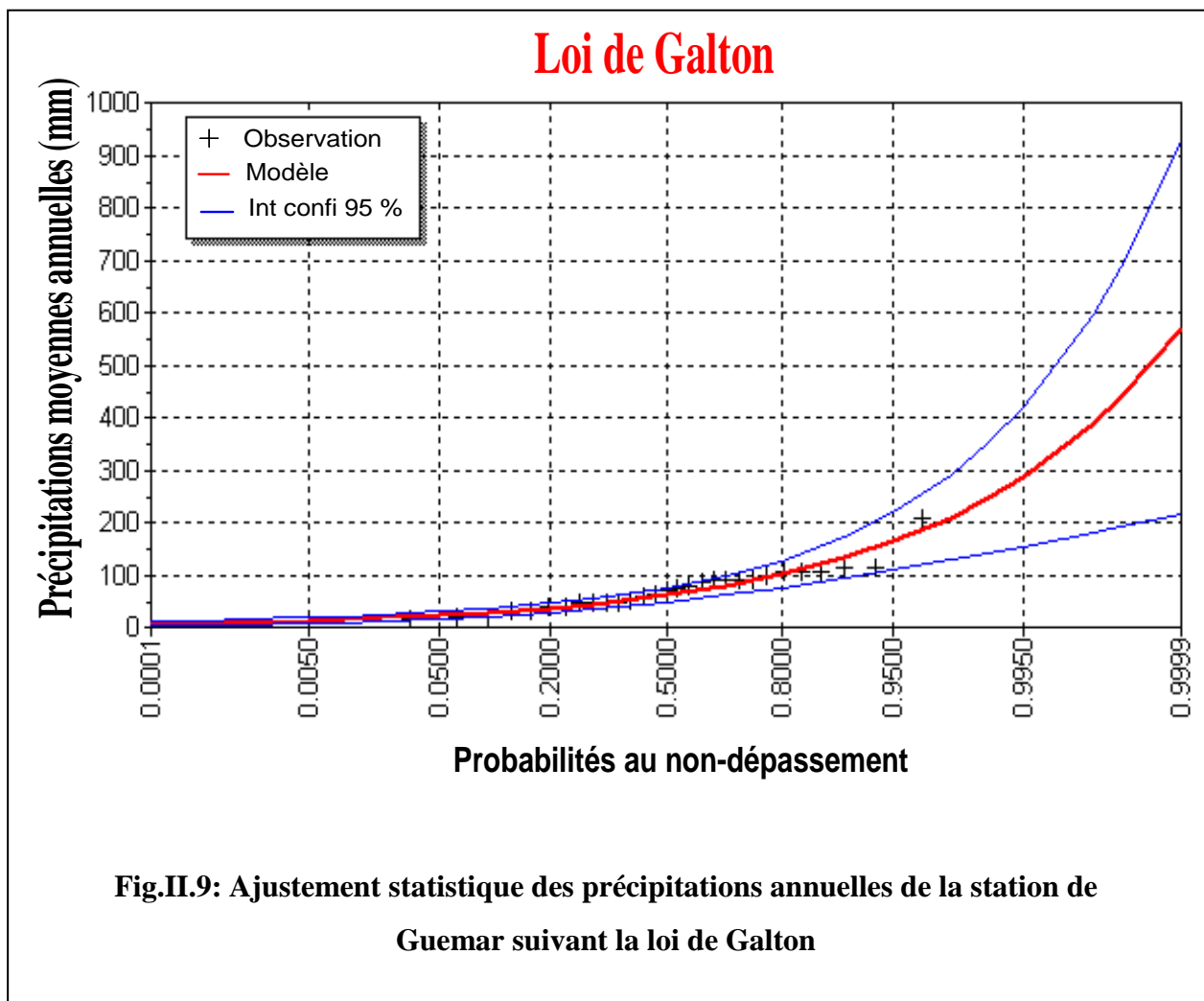
$$b = (1.1513/a) - \text{Log} (\bar{X} - X_0)$$

$$b = -1.63$$

L'équation de la droite d'Henry s'écrit donc :

$$\text{Log} (\bar{X} - X_0) = (1/a U) - (b/a)$$

$$\text{Log } X = 0.21U + 0.34$$



- *Test d'adéquation du χ^2 en loi log-normale:*

Tab.II.11 : Calcul du χ^2 en loi log-normale

N° de classe	Limites de classe	Effectif théorique (TH)	Effectif observé (O)	$\frac{(O - TH)^2}{TH}$
1	< 40.43	6	5	0.034
2	40.43-54.87	6	4	0.134
3	54.87-71.07	6	8	0.134
4	71.07-96.44	6	8	0.134
5	> 96.44	6	5	0.034
$\sum \frac{(O - TH)^2}{TH}$				0.47

Donc χ^2 calculé est égale à 0.47 pour $\sqrt{df} = 2$, après les calculs on obtient $P(\chi^2) = 0.38$.

c. Discussion des résultats :

Tab. II.12: Comparaison de l'adéquation des lois testées au test du χ^2 .

Type de loi	χ^2	P (χ^2)
Loi normale	2.68	0.36
Loi log-normale	0.47	0.38

On juge généralement l'adéquation d'une loi à un échantillon par la probabilité du χ^2 , l'échantillon s'ajuste à la loi pour laquelle le P (χ^2) est le plus élevé. D'après les valeurs du P (χ^2), notre échantillon s'ajuste mieux à la loi log Normale, cette dernière est la mieux adaptée aux régions arides (désertiques).

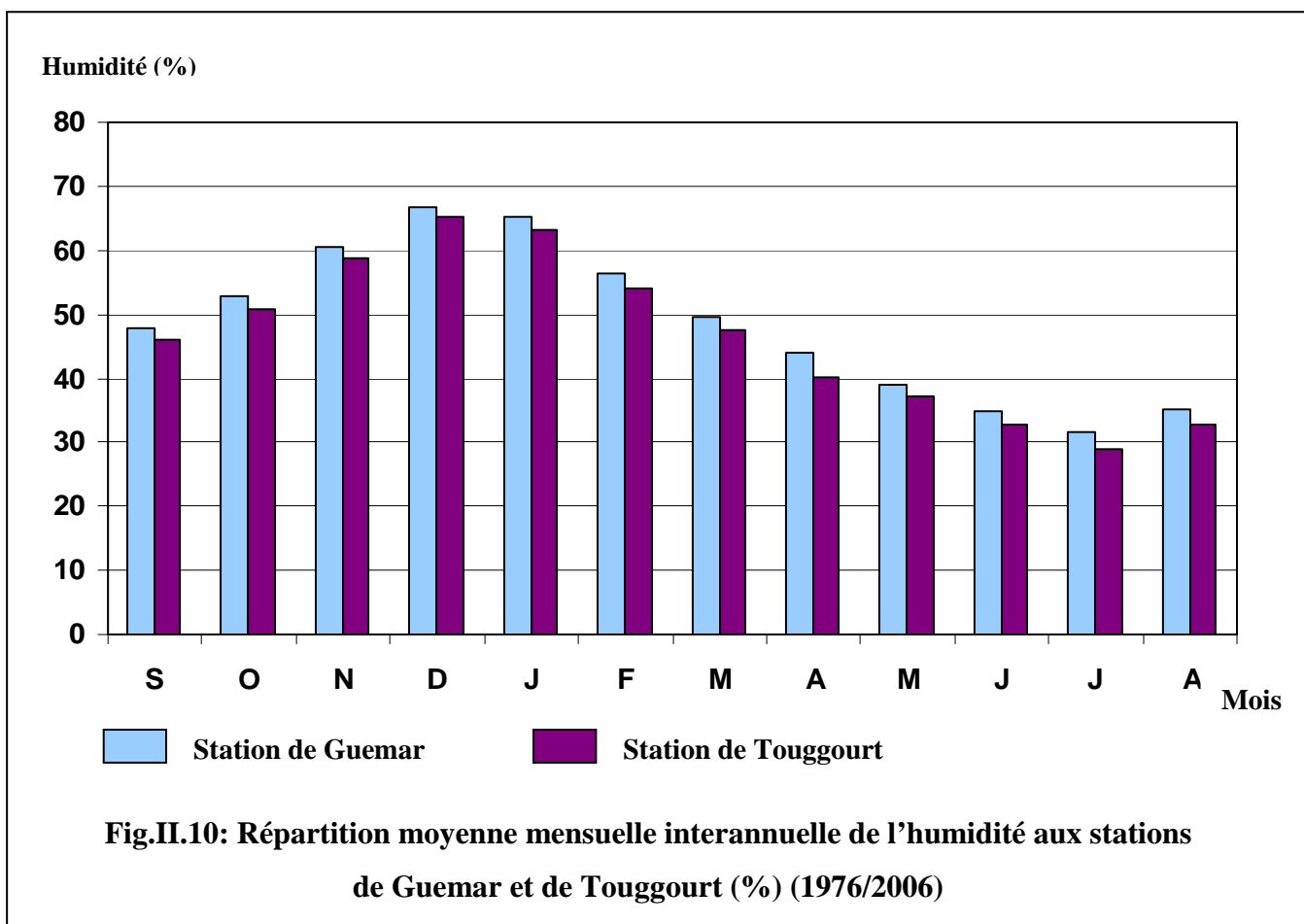
II.4. L'humidité :

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 31,63 % et un maximum enregistré pendant le mois de décembre avec une valeur de 66,86 %. L'humidité relative est de 62.83 % en hiver et de 33.82 % en été.

Tab.II.13: Répartition moyenne mensuelle de l'humidité aux stations de Guemar et de Touggourt (%) (1976-2006)

Mois \ Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Guemar	47,86	52,83	60,60	66,86	65,38	56,24	49,46	43,91	38,94	34,80	31,63	35,04	48.63
Touggourt	45,93	50,64	58,71	65,12	63,25	54,09	47,52	40,12	37,24	32,68	28,92	32,63	46.4



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 (1976-2006) est reportée sur le tableau N°II.14). 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 vents de sable et retarde la floraison des cultures locales tel que le tabac et le palmier. Ces vents de sable donne 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.14: Répartition moyenne mensuelle de vitesse du vent aux stations de Guemar et de Touggourt (m/s) (1976-2006)

Mois Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Guemar	3,26	2,40	2,46	2,61	2,33	2,69	3,38	4,12	4,34	3,79	3,63	3,20	3.18
Touggourt	3,19	2,36	2,28	2,47	2,24	2,71	3,35	4,08	4,24	3,67	3,58	3,12	3.11

II.6. L'insolation :

La répartition des moyennes mensuelles d'insolation nous permet de constater que la brillance du soleil est maximum au cours du mois de juillet avec une moyenne de 351.367 heures, et le minimum est enregistré pendant le mois de décembre avec une moyenne de 228.978 heures.

Dans la région, le rayonnement solaire est excessif (le moyen annuel est de 3394 h/ans) ce qui traduit par un pouvoir évaporant élevé.

Tab.II.15: Répartition moyenne mensuelle d'insolation aux stations de Guemar et de Touggourt (heures) (1976-2006)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Guemar	275,8	259,4	232,4	229,0	239,1	249,8	276,9	292,2	309,8	346,1	351,4	332,2	282,8
Touggourt	271,6	253,3	232,1	224	238,4	243,9	269,6	284,7	303,5	342,1	347,3	327,6	278,2

III. CALCUL DES PARAMETRES DE BILAN HYDRIQUE :

III.1. Evapotranspiration :

C'est un élément principal de bilan hydrique, désigne toutes les pertes en eaux par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau, elle regroupe l'ensemble des phénomènes physiques et biologiques qui restituent l'humidité du sol à l'atmosphère.

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) :

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

ETP : évapotranspiration potentielle (mm)

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

I : indice thermique annuel

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

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

Les résultats sont portés sur le tableau suivant :

Tab.II.16: Résultats de l'ETP issus de l'application de la formule de Thornthwaite (1976-2006)

Paramètre Mois	T (°C)		i		K	ETP (mm)	
	Guemar	Touggourt	Guemar	Touggourt		Guemar	Touggourt
Septembre	29,18	29,56	14,74	14,45	1.03	143,11	140,96
Octobre	22,83	23,18	10,20	9,96	0.97	73,75	72,90
Novembre	16,29	16,59	6,15	5,98	0.88	29,19	29,05
Décembre	11,39	11,91	3,72	3,48	0.86	12,54	11,84
Janvier	10,67	11,14	3,36	3,15	0.88	10,87	10,34
Février	13,12	13,55	4,52	4,31	0.86	17,27	16,74
Mars	17,18	17,75	6,81	6,48	1.03	40,40	38,68
Avril	20,70	21,31	8,98	8,59	1.09	67,26	64,51
Mai	26,31	26,53	12,51	12,35	1.19	126,44	126,50
Juin	31,01	30,97	16,00	15,84	1.20	187,15	190,44
Juillet	34,18	34,41	18,55	18,36	1.22	247,06	245,61
Août	33,89	34,11	18,30	18,12	1.15	227,88	226,71
Total	266,75	271.01	123,65	121.08	-	1182.92	1174,28

b. l'évapotranspiration réelle (ETR):

a.1. Methode de Thornthwaite:

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, on utilise la méthode de C.W Thornthwaite, où on distingue deux cas principaux :

1. Si $P - ETP > 0$; c-a-d : $P > ETP$, dans ce cas $ETR = ETP$.

2. Si $P - ETP < 0$; c-a-d : $P < ETP$, ce cas est subdivisé encore en deux cas :

2. 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 II.18 et II.19 (bilan hydrique)

b.2. 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 :

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad \text{d'où } T \text{ est la température moyenne annuelle en } ^\circ\text{C}.$$

Tab.II.17: Résultats de l'application numérique de la formule de TURC (1976-2006).

Station \ Paramètres	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm/an)
Guemar	73.97	22.23	1405,02	77,85
Touggourt	66.42	22.58	1440,13	69,93

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

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, 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.

RFU = 100 mm, C'est la valeur maximale de la réserve facilement utilisable.

III.3. Ruissellement (R):

D'après la formule de Tixeront-Berkaloff, on peut calculer le ruissellement à partir de la précipitation moyenne annuelle et l'évapotranspiration potentielle calculée d'après la formule de Thorntwaite :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

$$R = \frac{(73,97)^3}{3(1174,28)^2}$$

Donc R = 0,0097 mm

On constate que la lame d'eau ruisselée sur l'aire d'étude est négligeable grâce à la nature du terrain caractérisé par une forte perméabilité à savoir les formations sableuses.

IV. Etablissement du bilan :

- **Station de Guemar :**

Le bilan hydrique établi par la méthode de Thorntwaite pour la station de Guemar a montré que l'ETP atteint le maximum au mois de juillet (245.61 mm) et son minimum au mois de janvier (10.34 mm).

La constitution de la RFU ne s'effectue qu'au mois de janvier avec une valeur de 4.31 mm et le reste de l'année est épuisée.

Le bilan hydrique pour une période de 30 ans (1976-2006) de la vallée de Oued Souf est déficitaire (DA= 1100.31 mm) alors que l'excédent est nul.

- **Station de Touggourt :**

Pour station de Touggourt, le bilan hydrique établi par la méthode de Thorntwaite a montré que l'ETP atteint le maximum au mois de juillet (247.06 mm) et son minimum au mois de janvier (10.87 mm).

La constitution de la RFU ne s'effectue qu'au mois de janvier avec une valeur de 0.87 mm et le reste de l'année est épuisée.

Le bilan hydrique pour la même période d'observation (1976-2006) est déficitaire (DA=1114.12 mm) alors que l'excédent est nul.

Tab.II.18: Bilan hydrique de la station de Guemar d'après Thorntwaite (1976-2006)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
T (°C)	29,18	22,83	16,29	11,39	10,67	13,12	17,18	20,7	26,31	31,01	34,18	33,89	22.23
I	14,45	9,96	5,98	3,48	3,15	4,31	6,48	8,59	12,35	15,84	18,36	18,12	121.08
K	1.03	0.97	0.88	0.86	0.88	0.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	-
ETP(mm)	140,96	72,9	29,05	11,84	10,34	16,74	38,68	64,51	126,5	190,44	245,61	226,71	1174,28
P (mm)	5.26	7.32	9.63	6.25	14.65	7.43	8.07	6.43	4.88	1.48	0.55	2.02	73.97
P-ETP	-135,7	-65,58	-19,42	-5,59	4,31	-9,31	-30.61	-58.08	-121,62	-188,96	-245,06	-224,69	-1100,31
RFU (mm)	00	00	00	00	4.31	00	00	00	00	00	00	00	4.31
ETR (mm)	5.26	7.32	9.63	6.25	10,34	11.74	8.07	6.43	4.88	1.48	0.55	2.02	73.97
DA (mm)	135,7	201.28	220.7	226.29	221.98	231.29	261.9	319.98	441.6	630.56	875.62	1100.31	1100.31
EX (mm)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

Formules de vérification :

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

On a

$$\begin{aligned} \sum ETR + \sum EX &= 73.97 + 00 \\ &= 73.97 \\ &= \sum P \end{aligned}$$

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

On a

$$\begin{aligned} \sum ETR + \sum DA &= 73.97 + 1100.31 \\ &= 1174.28 \\ &= \sum ETP \end{aligned}$$

Tab.II.19: Bilan hydrique de la station de Touggourt d'après Thorntwaite (1976-2006)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
T (°C)	29,56	23,18	16,59	11,91	11,14	13,55	17,75	21,31	26,53	30,97	34,41	34,11	22.58
I	14,74	10,20	6,15	3,72	3,36	4,52	6,81	8,98	12,51	16	18,55	18,30	123,65
K	1.03	0.97	0.88	0.86	0.88	0.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	-
ETP(mm)	143,11	73,75	29,19	12,54	10,87	17,27	40,40	67,26	126,44	187,15	247,06	227,88	1182,92
P (mm)	5,04	6,42	6,97	5,31	11,7	6,2	8,17	7,86	3,66	1,64	0,3	3,16	66.42
P-ETP	-138,07	-67,33	-22,22	-7,23	0,83	-11,07	-32,23	-59,40	-122,78	-185,51	-246,76	-224,72	1165.5
RFU(mm)	00	00	00	00	0.83	00	00	00	00	00	00	00	0.83
ETR (mm)	5.04	6.42	6.97	5.31	10,87	7.03	8.17	7.86	3.66	1.64	0.3	3.15	66.42
DA (mm)	138.07	205.7	227.62	234.85	234.02	245.09	277,32	336,72	9.545	645.01	891.77	1116.5	1116.5
EX (mm)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

Formules de vérification :

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

On a

$$\begin{aligned} \sum ETR + \sum EX &= 66.42 + 00 \\ &= 66.42 \\ &= \sum P \end{aligned}$$

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

On a

$$\begin{aligned} \sum ETR + \sum DA &= 66.42 + 1116.5 \\ &= 1182.92 \\ &= \sum ETP \end{aligned}$$

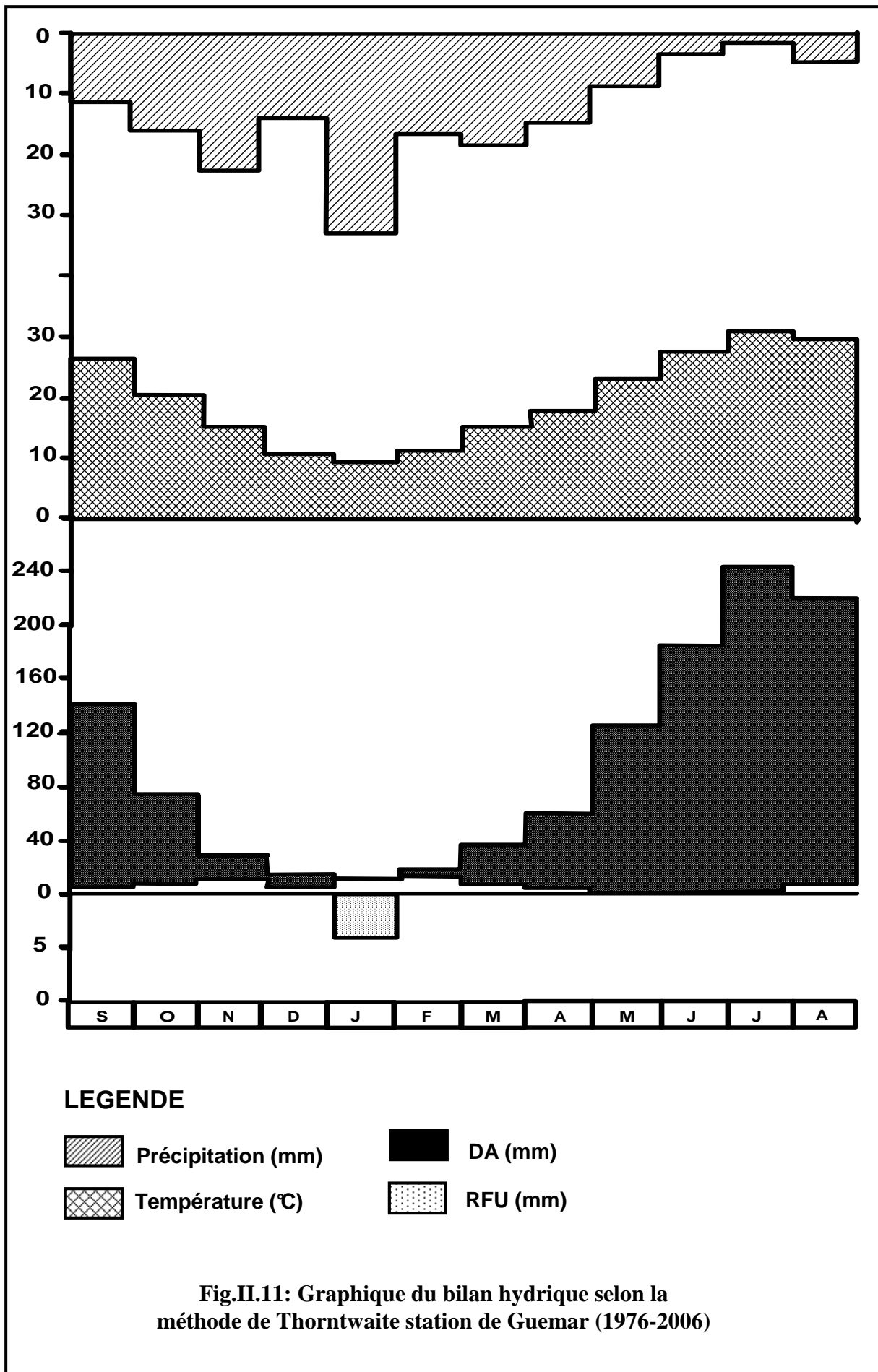


Fig.II.11: Graphique du bilan hydrique selon la méthode de Thorntwaite station de Guemar (1976-2006)

V- CONCLUSION:

Le climat de la région d'étude est en certains points analogue à celui du reste du Sahara : très chaud et sec l'été qui devient assez froid en hiver (de 2 à 8 °C) voir gelées la nuit, en effet, les différences de températures entre le jour et la nuit sont très élevées (jusqu'à 30°C en été). Ceci s'explique par le fait que le sable se refroidit plus vite que les autres roches tel que l'argile, c'est pour cette raison qu'il fait plus froid la nuit aux villages installés et/ou entourés de sables (Sidi Aoun ou Z'Goum) qu'à la cité des 400 logements à El-Oued centre.

La synthèse des données climatiques nous permet de distinguer que la région est caractérisée par un climat hyper aride de type saharien, présenté par une irrégularité annuelle et interannuelle par deux périodes différentes :

L'une est sèche et chaude se prolonge entre le mois de mars et novembre et l'autre est humide et froide s'étale entre novembre et février.

Le mois le plus humide est décembre caractérisé par une forte humidité (moyenne de 66,86%) et d'un faible rayonnement solaire (moyenne de 229 heures) et le mois le plus sec est juillet caractérisé par une faible humidité (moyenne de 31.63 %). La brillance de soleil est très élevée (moyenne de 351,4 heures) ce qui traduit un pouvoir évaporant excessif.

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

- Le bilan est déficitaire, l'excédent est nulle et la RFU est épuisée durant toute l'année malgré qu'elle présente uniquement une valeur de 4.31 mm pendant le mois de janvier.
- La précipitation est de l'ordre de 73.97 mm qui contribue complètement à l'évapotranspiration réelle.

CHAPITRE III

ETUDE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DES RESSOURCES EN EAU

I- INTRODUCTION :

L'eau est considérée comme étant la ressource la plus précieuse et la plus indispensable à la vie. La majorité des populations des pays en développement et des économies en transition souffrent des difficultés qui découlent du manque d'accès à l'eau potable dont les fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF) a indiqué que deux millions d'enfants meurent chaque année de maladies dues à la mauvaise qualité de l'eau et que 1,1 milliard de personnes dans le monde n'ont pas d'accès garanti à l'eau potable, tandis que 2,2 milliards de personnes ne disposent pas d'installations sanitaires décentes.

Jugeant l'eau indispensable au développement humain, nous devons établir ce chapitre qui sert essentiellement à:

- L'évaluation et la quantification de la ressource en eau disponible dans la région.
- La détermination de sa qualité, sa potabilité ainsi que son aptitude à l'irrigation.

II. ETUDE QUANTITATIVE DES RESSOURCES HYDRIQUES DE LA REGION

II.1. *Diagnostic des ressources hydriques :*

La vallée de Oued Souf dispose d'une réserve hydraulique très importante, présente sous forme de trois nappes souterraines :

II.1.1. **La nappe phréatique :**

La nappe phréatique est comprise dans des dépôts sableux fins de type éolien, localement intercalés de lentilles d'argiles sableuses et gypseuses. Elle est limitée par un substratum argileux imperméable.

Le substratum de la nappe a une pente Sud-Ouest/Nord-Est, ce qui traduit par un écoulement des eaux dans ce sens, à travers les sables des atterrissements tertiaires et quaternaires.

L'exploitation de la nappe phréatique est délicate à cause de sa faible profondeur qui dépend de l'altitude qui varie de façon étonnante. La perméabilité avoisine les 10^{-4} m/s et le débit varie de 0.4 à 18 l/s. Elle est exploitée par 1040 puits équipés de groupes motopompes (d'après DHW repris de M. Côte 2001).

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 nappe phréatique, à l'origine des palmeraies, était alimentée initialement par les rares et faibles précipitations qui tombent dans la région et surtout par infiltration des précipitations plus abondantes qui tombent sur les reliefs bordant la cuvette, à des distances de l'ordre de 200 à 500 km. Depuis 1956, date d'exploitation des nappes profondes (CT et CI), la nappe phréatique est alimentée par tous les rejets et infiltrations des eaux pour l'AEP et l'irrigation.

II.1.2. La nappe du Complexe Terminal (le Pontien : CT) :

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène (Fig.I.3: Forage F1). En effet, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. Ces trois corps sont représentés par les calcaires et dolomies du Sénonien et de l'Eocène inférieur, par les sables, grès et graviers du Pontien, et par les sables du Mio-Pliocène.

La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 mètres et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m. Elle est exploitée par 129 forages, dans toute la Wilaya dont 102 dans la zone d'étude d'après l'inventaire de forages et enquête sur les débits extrait de la Wilaya d'El Oued (B.G 2002). Certains d'entre eux présentent un léger artésianisme dans la partie Nord. (Coordonnées et débits des forages au CT de la vallée du Oued-Souf en annexe)

II.1.3. La nappe du Continental Intercalaire (CI) :

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, d'une profondeur de 1850 m. La pression en tête de forage est de 22 à 23 bars et le débit artésien de 222 l/s.

La recharge actuelle de la nappe du Continental Intercalaire s'effectue par infiltration des précipitations sur les bordures du bassin, tout au long des oueds qui descendent des massifs montagneux, notamment de l'Atlas saharien au Nord-Ouest et du Dahar à l'Est.

Des ruissellements en bordure de plateaux peuvent également participer à l'alimentation de la nappe sur le bord du Tademaït et du Tinrhert. La température et la pression des eaux sont élevées, elles sont estimées respectivement à 60° et 26 bars à la sortie du forage.

L'extension géographique de la formation aquifère dépasse beaucoup, en effet, la dépression du bas Sahara, elle dépasse 600 000 km² (CASTANY 1968). Elle est limitée à l'Ouest par la vallée de oued Saoura-Messaoud, au Sud par une ligne Est-Ouest de Reggan-Fort-Flatters, au Nord par la chaîne de l'atlas, vers l'Est elle dépasse les frontières de l'Algérie et s'étend dans le Sud tunisien et le Nord libyen. La formation affleure largement au Nord, dans les régions montagneuses de l'atlas et au Sud-Ouest autour de Tadmaït, d'El-Goléa et à l'Est de Ain-Salah.

Bien qu'il s'agisse d'une eau principalement fossile, emmagasinée au cours des périodes pluvieuses du quaternaire, l'alimentation se poursuit encore dans les zones d'affleurement : Atlas saharien, Grand Erg Occidental.

Tab.III.1: Coordonnées et débits des forages au CI de la vallée du Oued-Souf

Nom du forage	Appartenance administrative (commune)	Coordonnées		Heures de pompage par jours	Débit extrait (m ³ /h)	Usage
		X UTM	Y UTM			
El-Oued DHW 101	El-Oued	298723	3692992	24	747	AEP
Chouhada DHW102	El-Oued	302329	3690504	24	461	AEP
Sahan-Berry	Hassi-Khalifa	322252	3717180	-	-	IRR

Source : ANRH 2005

Les réserves de cette nappe peuvent permettre l'irrigation de 100 000 hectares pendant 200 000 ans ; les prélèvements actuels sont de l'ordre de 5 m³/s (Marc Cote).

Les eaux de l'Albien contiennent généralement moins de 2 g de résidu sec par litre ; cependant, elles restent généralement moins salées que celles du Complexe Terminal.

Tab.III.2 : Quantité des différents minéraux contenus dans un litre d'eau de l'Albien

Sels minéraux (mg/l)	Le 1 ^{er} point à Robbah	Le 2 ^{ème} point à El-Oued	Le 3 ^{ème} point à Guemar
Chlorure de sodium	326.2	506.9	828.6
Chlorure de potassium	91.0	242.4	121.0
Chlorure de magnésium	85.3	352.0	318.6
Sulfate de chaux	2129.3	2427.3	2366.3
Sulfate de magnésium	289.3	294.1	586.0
Sulfate de soude	/	/	724.5
Azote	236.5	660.0	/
Carbonate de chaux	44.0	80.0	20.0
Carbonate de magnésium	30.0	15.0	11.0
Silice	30.0	13.0	50.0
Oxyde de fer	45.0	53.0	20.0

Source : la monographie d'El-Oued 2005

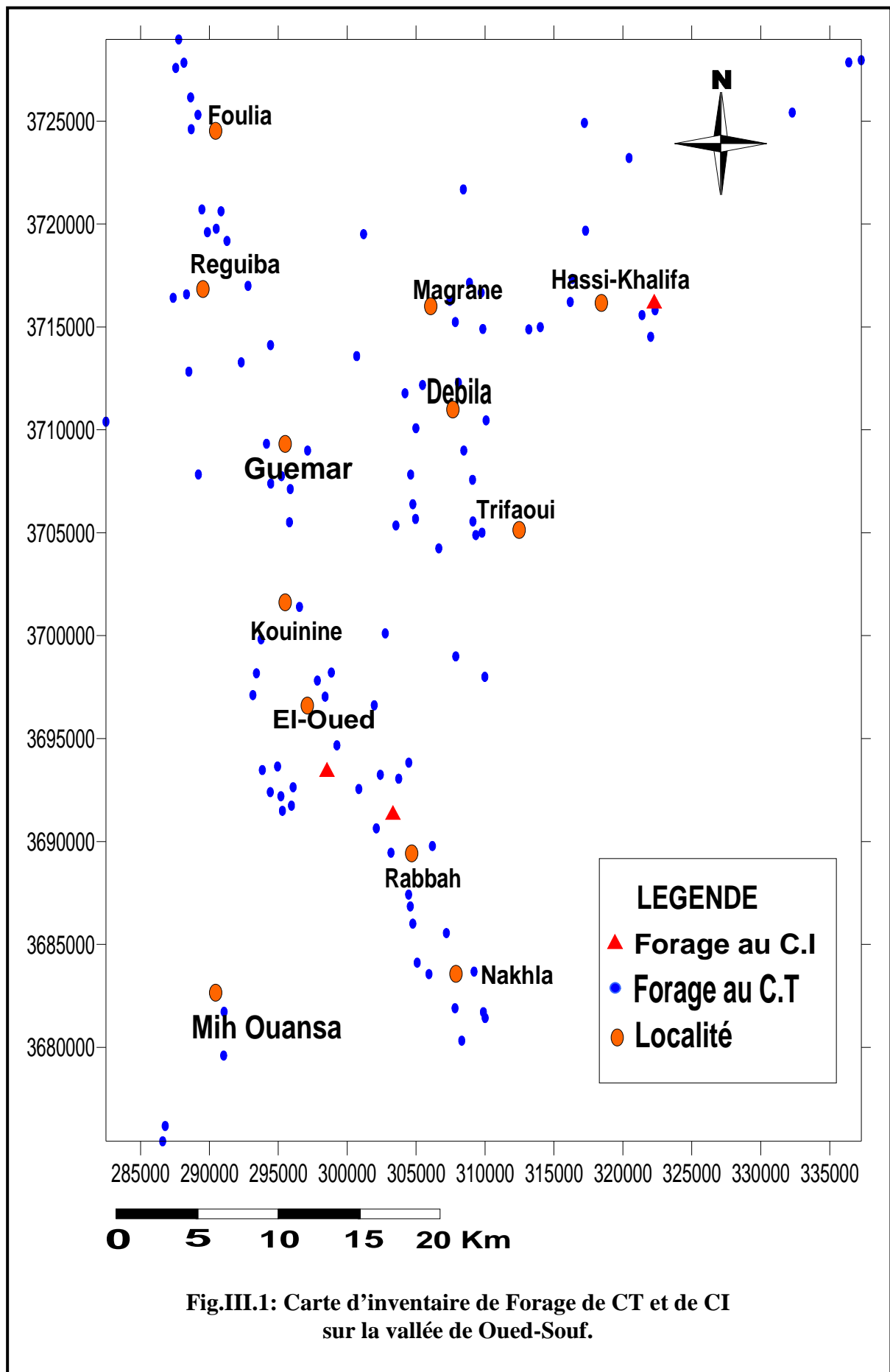


Fig.III.1: Carte d'inventaire de Forage de CT et de CI sur la vallée de Oued-Souf.

Tab.III.3: 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 lagunaire	Crétacé	Secondaire
Niveau imperméable	Argiles, marne	Cénomannien			
Nappe de Continental Intercalaire	Sables et Grés	Albien			

Tab.III.4 : Etendue et volume des ressources en eaux souterraines.

La nappe souterraine	La superficie (l'étendue)	Le volume	Le temps de renouvellement
La nappe phréatique	250 000 km ²	/	6000 ans
La nappe du complexe terminal	350 000 km ²	/	/
La nappe du continental intercalaire	600 000 km ²	60 000. 10 ⁹ m ³	70 000 ans

Source : ANRH 2005

II-2- Au fil du temps ...l'apparition du problème de la remontée des eaux de la nappe phréatique:

La pente de la nappe phréatique est faible et, bien que la transmissivité soit élevée, les quantités d'eau qui s'écoulent vers l'aval sont peu importantes. Les apports d'eau extérieurs (C.I, C.T. ou rejets) restent pratiquement sur le site et font monter le niveau de la nappe en remplissant les pores du terrain, créant un dôme. La pente de la nappe augmentant localement permet un écoulement plus important jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre s'établisse lorsque la nappe monte en surface du sol et les apports dépassent les possibilités d'écoulement souterrain.

Les premiers signes de la remontée de la nappe phréatique sont visibles dans les ghouts car la profondeur de l'eau y est, en temps initial, est de l'ordre de 1 à 2 mètres. Une remontée de 1,5 mètres aura comme conséquence l'apparition de traces d'humidité. Au-dessus, on observera l'apparition de roseaux puis d'eau stagnante.

D'après M. Côte (2001), il a été observé 6 zones présentant des signes de remontée tels que ghouts humides, ghouts envahis de roseaux ou ghouts ennoyés. Ce sont, de la plus petite à la plus grande, les zones de : Mihouensa - Oued Alenda – Reguiba - Hassani Abdelkrim / Z'Goum Ourmes / -Douira - Oglà à Guemmar- El Oued

Ces 6 zones incluent 14 des 18 chefs-lieux de commune de la zone d'étude. Les chefs-lieux de Debila, Sidi Aoun, Hassi Khalifa et Magrane ne sont pas inclus mais une remontée de la nappe phréatique dans ces localités n'est pas exclue.

Le problème de la remontée de la nappe phréatique dans la région du Souf est complexe et s'étend pratiquement sur un demi-siècle. A partir des données contenues dans les rapports de Marc Côte (1993-2001), complétées par BNEDER (1992-1993 et 1994); ANRH (1993); ANRH (1994) et inventaire des forages et enquête sur les débits (ANRH 1999), on peut établir l'historique suivant :

➤ Avant 1956 :

Jusqu'en 1956, toute l'eau utilisée pour l'alimentation humaine, animale et l'agriculture provenait de la nappe phréatique. L'augmentation de la population et l'extension des cultures ont eu comme conséquence une surexploitation avec en corollaire un abaissement lent et progressif de la nappe. Dans les années 1940, la baisse était déjà de l'ordre de 0,5 m au Sud d'El-Oued, 1 m à El-Oued, 1,5 m à Kouinine et 2 m au Nord de Kouinine.

➤ **De 1956 à 1993 :**

En 1956, un premier forage moyennement profond au Complexe Terminal (CT) a été creusé pour l'AEP d'El Oued et entre 1957 et 1969, environ un nouveau forage par année a été exécuté dans le CT.

En 1969, suite à de fortes pluies, une remontée générale de la nappe a été constatée avec inondation de 150 ha dans la région de Magrane et Hassi-Khalifa. La nappe est progressivement redescendue par la suite (in BNEDER, décembre 1993, p.18).

De 1970 à 1980, environ 2 forages par année ont été réalisés dans le CT et dès 1980, on observe les premiers ghouts envoyés à El Oued et une montée progressive et persistante de la nappe phréatique aux portes d'El Oued, ce qui en 1985 alarme les autorités.

Entre 1980 et 1997 une centaine de nouveaux forages sont réalisés dans le CT. En 1986 et 1987, trois forages profonds, au Continental Intercalaire (C.I.), ont été exécutés, deux d'entre eux sont exploités pour l'AEP d'El Oued, le troisième à Hassi-Khalifa, pour l'agriculture, est fermé. Ils sont fortement artésiens, et les débits, de l'ordre de 200 litres/seconde, sont de 5 à 10 fois plus importants que ceux des forages dans le CT.



Fig.III.2: Situation des palmeraies autour d'El Oued en 1993

➤ **Après 1993 :**

En 1993, la nappe avait ennoyé la palmeraie sur 25 km dans le couloir Kouinine –Robbah et un réseau de surveillance de la nappe phréatique est mis en place (ANRH 1993). Les zones touchées par la remontée du niveau de la nappe phréatique sont au nombre de 18, la plus importante est centrée sur El Oued et s'étend d'El Oгла au Sud-Est à Guemar au Nord-Ouest. Les autres sont centrées sur Z'goum, Debila, Mihouensa et Reguiba. Entre 1993 et 2000 une série d'investigations ont été entreprises pour connaître les caractéristiques géométriques, géologiques, physico-chimiques et bactériologiques de l'aquifère et un important travail de recensement et supervision des forages existants a été entrepris également.



**Fig. III.3 : Situation des palmeraies à El-Oued
(Sidi Mestour - Février 2007)
(Remplacement des palmeraies par les roseaux)**

III. ETUDE QUALITATIVE DES RESSOURCES EN EAUX :

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.

La caractérisation et le diagnostic de qualité d'une eau souterraine passe par des prélèvements réguliers d'échantillons d'eau au droit des captages (puits, piézomètres, sources, ...) et l'analyse de différents paramètres bio-physico-chimiques. Si certains éléments chimiques permettent de caractériser l'aquifère (lithologie), d'autres éléments sont liés à des contaminations anthropiques (nitrates, pesticides,...). Certains éléments, tels que les nitrates, sont d'excellents indicateurs quant aux pressions qualitatives exercées sur les nappes.

Notre étude hydrochimique a pour finalité la définition des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique, les faciès chimiques et l'origine des ces eaux. Ceux-ci par la quantification des divers éléments chimiques dissous dans l'eau, afin d'estimer l'appréciation de la potabilité des eaux et leur aptitude pour les utilisations agricoles.

III.1. Interprétation des résultats des analyses chimiques :

Les échantillons ont été prélevés en avril 2002 par BG et les mesures des paramètres physico-chimiques ont été effectuées sur 30 échantillons (puits).

Le dosage a porté sur les éléments majeurs suivants:

- Cation : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+
- Anions: Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- et NO_3^-

III.1.1. Identification des faciès chimiques des eaux :

a- Diagramme de Piper:

La représentation des éléments chimiques des différents échantillons sur le diagramme de Piper (Fig.III.4) montre que la majorité des échantillons se coïncident sur les pôles caractérisant les faciès sulfaté magnésique et sulfaté sodique, ce qui est probablement du à la dissolution des évaporites.

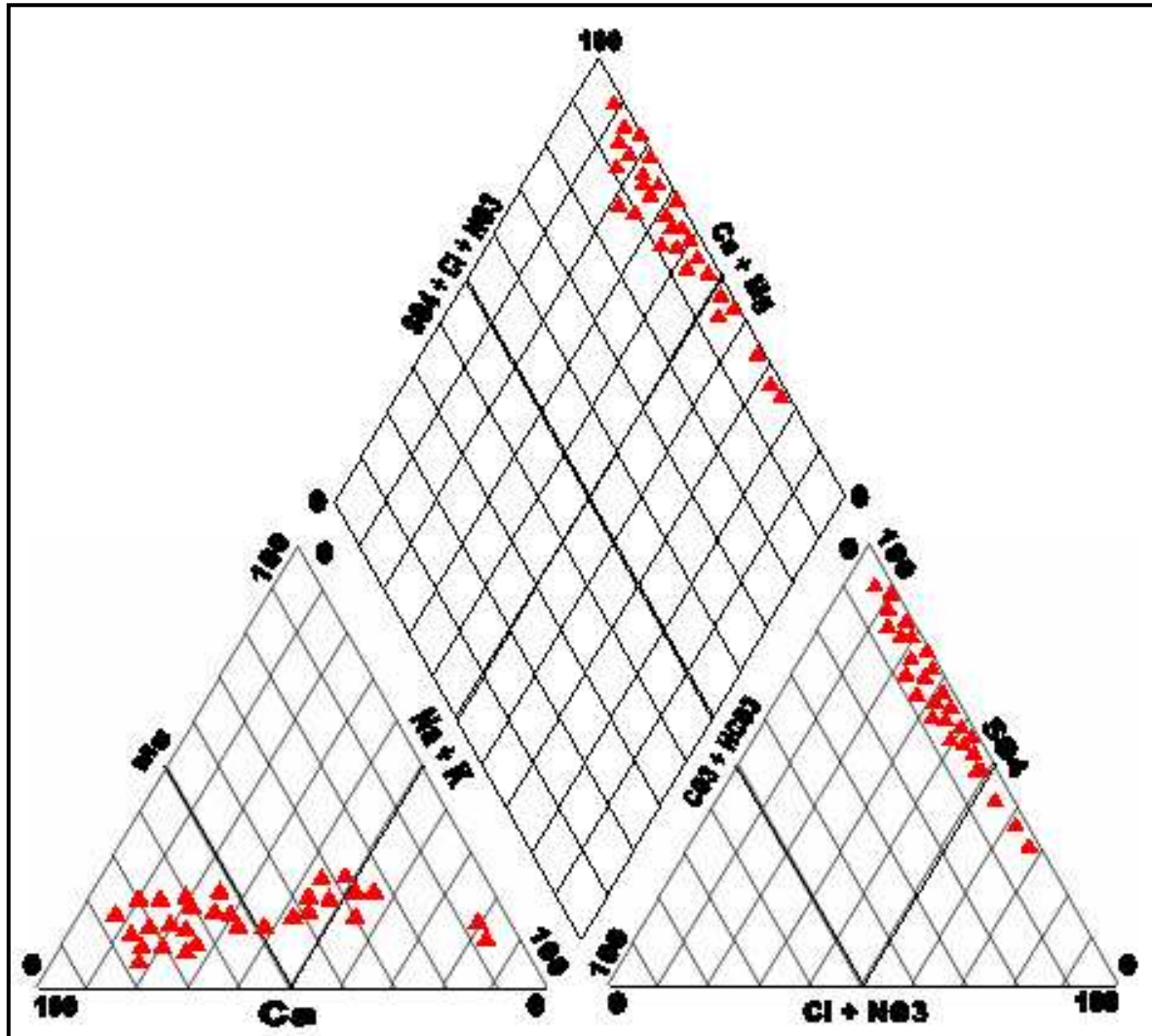


Fig.III.4 : Le diagramme de Piper des eaux de la nappe phréatique

b- Répartition des faciès:

Les analyses chimiques effectuées sur les 30 échantillons en avril 2002 montrent que :

- Le faciès chimique prédominant est sulfaté – magnésique (12 échantillons).
- 11 échantillons ont un faciès chimique sulfaté – sodique.
- 04 échantillons ont un faciès chimique sulfaté – calcique.
- 03 échantillons ont un faciès chimique chloruré – sodique.

Tab.III.5 : Faciès chimiques et formules ioniques (mars 2002)

Echantillon (puits)	Nombre d'échantillons	Formules ioniques	Faciès chimique
H01,H03,H07,H09, H26, P39, P35, H38, H4, H37 et H35	11	$r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r\text{Ca}^{++} > r\text{Mg}^{++}$ $r\text{SO}_4^{-2} > r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^-$	Sulfaté – sodique
H33, P36 et P01	03	$r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r\text{Ca}^{++} > r\text{Mg}^{++}$ $r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{-2} > r\text{HCO}_3^-$	Chlorure – sodique
H80, H86, H103, H110, H61, P23, P38, H67, H29, H63, H74 et H49	12	$r\text{Mg}^{++} > r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r\text{Ca}^{++}$ $r\text{SO}_4^{-2} > r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^-$	Sulfaté–Magnésique
H06, H11, H13 et H78	04	$r\text{Ca}^{++} > r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r\text{Mg}^{++}$ $r\text{SO}_4^{-2} > r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^-$	Sulfaté – calcique

III.1.2. Origine du chimisme des eaux :

L'origine des sels dissous dans les eaux souterraines est généralement les minéraux contenus dans les roches encaissants du réservoir des formations traversées, et le mélange avec les eaux provenant des autres nappes profondes (CT et CI). On détermine ici l'origine des éléments chimiques des eaux de la nappe phréatique à partir de la bonne corrélation qui existe entre eux (méthode des rapports), pour cela, on utilise les données de la campagne d'avril 2002.

a- Le couple $\text{SO}_4\text{-Cl}$:

Le graphe montre une tendance à l'alignement des points, indiquant probablement une origine commune, cependant, quelques points présentent un excès de sulfates, d'autres un excès des chlorures. L'importance de l'excès de l'un ou de l'autre élément détermine la dominance du faciès de cet élément sur l'autre.

b- Le couple Na-Cl :

Le graphe montre un alignement des points, ce qui implique la même origine des deux éléments chimiques qui est probablement la dissolution de la halite. Cependant, quelques points présentent un excès de sodium, d'autres un excès des chlorures. Cette relation se confirme par l'existence du faciès chloruré sodique.

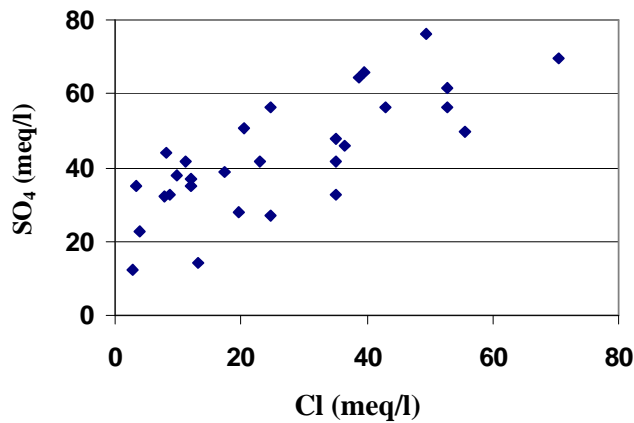


Fig.III.5 : Le couple SO_4 -Cl

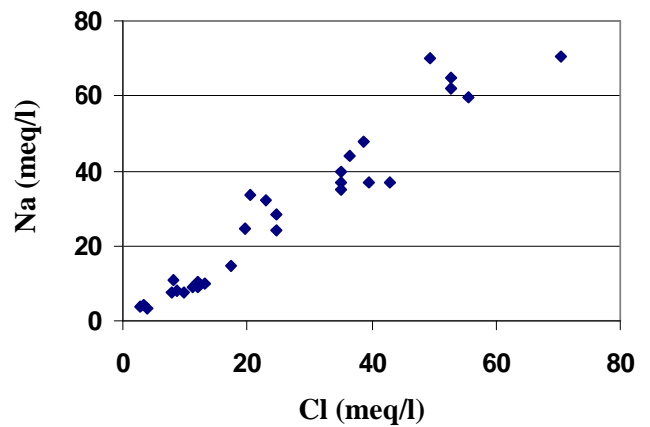


Fig. III.6: Le couple Na -Cl

c- Le couple Ca-Na:

Le graphe montre que le calcium évolue indépendamment du sodium et issu probablement au lessivage d'autre roche mère que le calcium (autre origine que les évaporites).

d- Le couple Ca - SO_4 :

Le calcium effectue un alignement suivant les sulfates, ce qui traduit par le fait que ces deux élément ont le même origine.

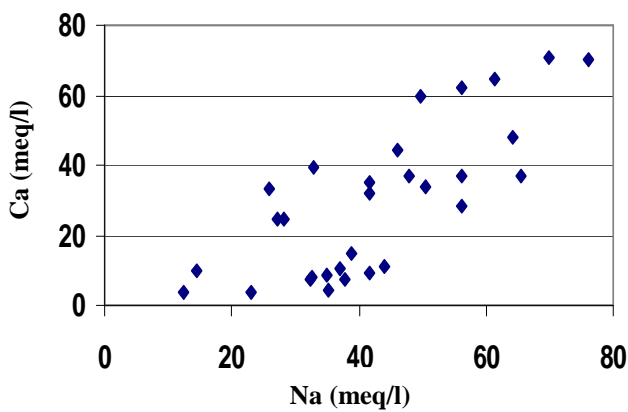


Fig.III.7: Le couple Ca -Na

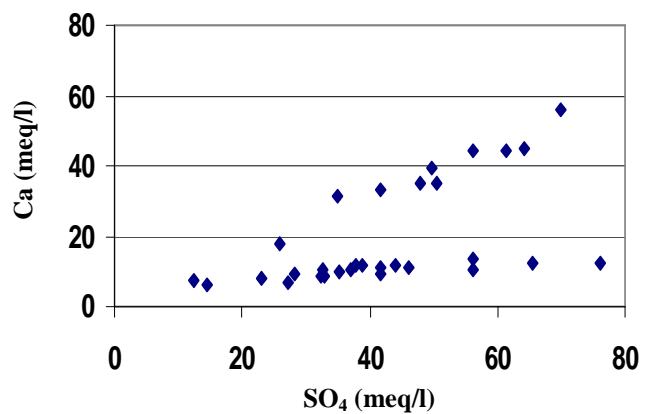


Fig.III.8: Le couple Ca - SO_4

e- Le couple Na-SO₄:

La comparaison de variation des deux éléments montre qu'ils sont évolués indépendamment.

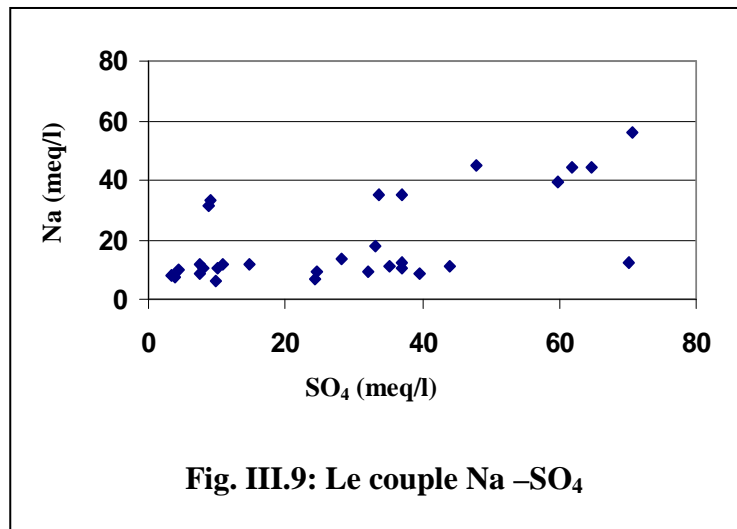


Fig. III.9: Le couple Na –SO₄

III.2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux :

III.2.1. Température :

Les résultats de la campagne de 2002 montrent que les températures ne dépassent jamais les 23.2° C, elles varient entre 15.3 et 23 °C.

La température de l'eau est voisine de 20°C, tantôt plus basse ou plus élevée, sans que des tendances se dessinent en suivant, par exemple, une ligne d'écoulement de la nappe ou qu'elle puisse être liée à l'activité humaine.

Les valeurs mesurées de la température dépendent essentiellement de l'heure de la mesure, de la saison et de l'ensoleillement lorsque la nappe est peu profonde et qu'elle est dans la zone d'hétérotherme journalière. Au-delà, et jusque vers 30 – 40 m de profondeur, des variations apparaissent encore, selon le mois de l'année ou la saison.

Les points de prélèvement, puits et piézométriques du réseau de surveillance, sont à des profondeurs variables, pouvant s'échelonner entre un et une cinquantaine de mètres. Les températures y dépendent de facteurs climatiques. Pour être comparables, il faudrait que les mesures puissent être faites à la même heure, à la même profondeur et le même jour, ce qui n'est pas réaliste.

III.2.2. Degré hydrotimétrique (D.H) :

La potabilité de l'eau peut être évaluée par la dureté ou le degré hydrotimétrique qui correspond à la somme des concentrations en calcium (Ca⁺⁺) et en magnésium (Mg⁺⁺).

$$DH = Ca^{++} + Mg^{++} \text{ (Még/l)}$$

$$\Delta TH = (Ca^{++} + Mg^{++}) \times 5 \text{ (°F)}$$

Si la concentration des sels de Ca^{++} et Mg^{++} est trop élevée, on dit que l'eau est dure. L'eau analysée a présenté un DH supérieur à 133.75 ° F.

Tab. III.6 : Potabilité en fonction de la dureté de l'eau.

TH °F	0 - 7	7 - 22	22 - 32	32 - 54	> 54
Dureté d'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

III.2.3. Le pH :

On remarque qu'au niveau des tous les puits (échantillons) le pH est situé dans la norme maximale et acceptable. La valeur des pH est généralement comprise entre 7 et 7.7.

Le résidu sec (RS) est généralement supérieur à la concentration maximale (selon les normes de l'O.M.S).

III.2.4. Conductivité :

La conductivité traduit le degré de minéralisation d'une eau, elle augmente en fonction de la matière en suspension, si celle-ci est grande, la conductivité augmente et l'inverse est juste.

Les mesures effectuées en avril 2002 permettent d'établir la carte de conductivité par la méthode d'interpolation (krigeage linéaire). A partir de cette carte, trois grandes zones ont été définies:

a- La zone I:

Située au Nord de la zone d'étude et a une conductivité très élevée a cause des sels qui proviennent du Sud vers le Nord par l'écoulement naturel des eaux souterraines qui se chargent de plus en plus des sels lors de son écoulement, en plus, c'est une zone des chotts caractérisée par une forte évaporation. Le recours aux nappes profondes est nécessaire pour l'irrigation afin d'obtenir une conductivité acceptable, c'est le cas des plantations de Foulia irrigués par les forages du CT.

b- la zone II:

Située entre Foulia au Nord et El-Oued au Sud où la conductivité est relativement élevée:

- Dans les zones des Ghouts ennoyés ou humides, la conductivité est élevée et augmente par évaporation, elle oscille entre 9600 et 13500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ autour de Z'Goum, entre 11600 et 15900 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à l'est de Guemar et autour d'une valeur de 17300 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à l'est de Kouinine.
- Certaines zones ont une conductivité faible qui est probablement du à l'apport des eaux des forages destinés à l'AEP, comme le cas des zones de Hassi Khalifa, Magrane et Debila dont la conductivité comprise entre 2040 et 5100 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

c- la zone III:

Située au Sud de la zone II, elle est caractérisée par les cultures traditionnelles où la conductivité est relativement faible, comprise généralement entre 1800 et 4500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à l'exception de quelques zones de culture irriguée par les nappes profondes ou occupées par les Ghouts inondés.

III.3. Répartition du taux des nitrates en avril 2002 :

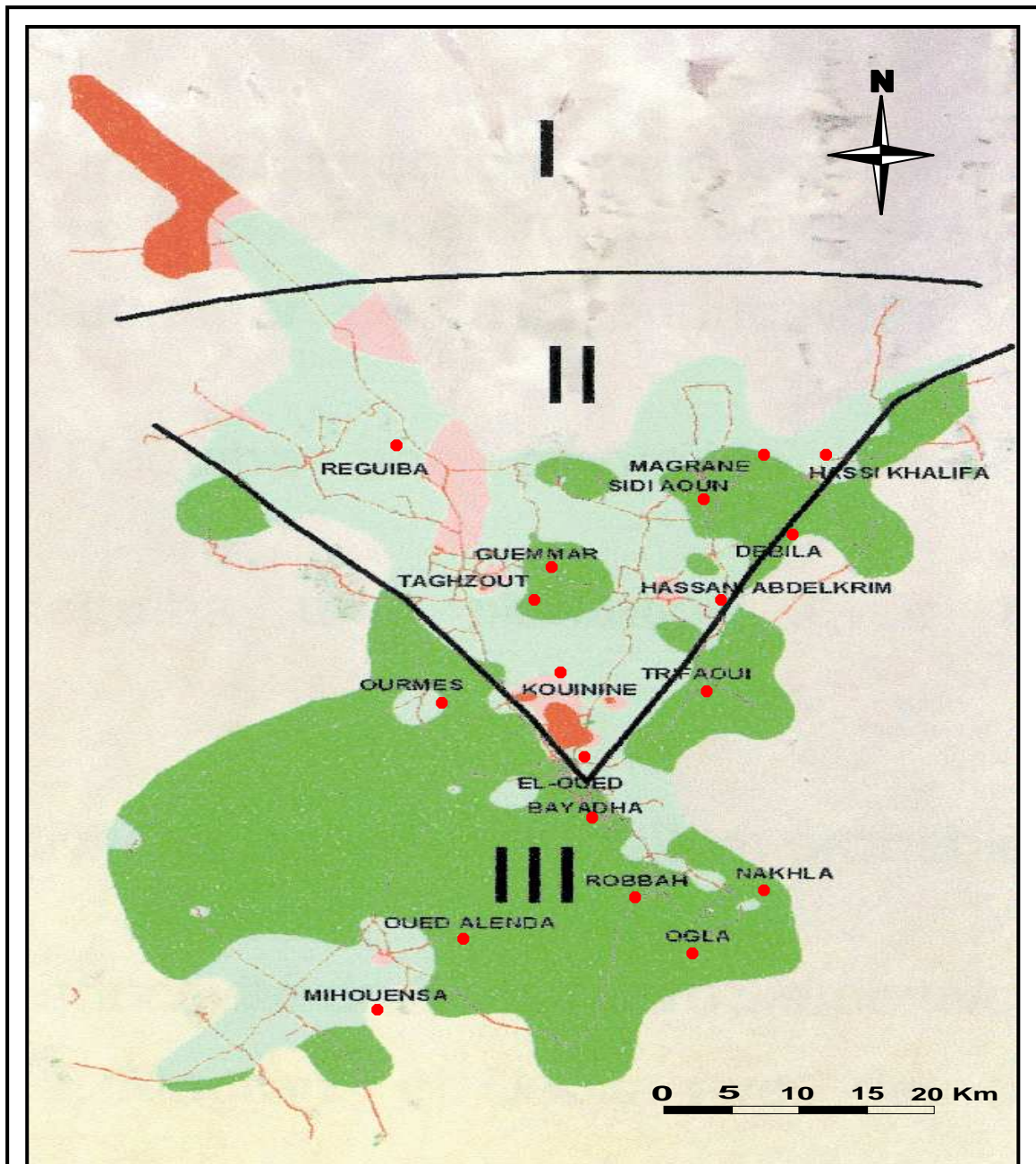
La répartition spatiale des nitrates sur l'étendu de la vallée de Oued-Souf (grâce aux mesures effectuées sur 169 points de réseau de surveillance) a permis l'établissement de la carte de cet élément en avril 2002

Dans la plus grande partie de la zone, le taux des nitrates est au-dessus du taux acceptable pour l'eau de boisson (45 mg/l selon l'OMS).

Les rares endroits où le taux des nitrates est inférieur à 45 mg/l sont :

- les plantations irriguées par des forages au CT au domaine Dhaouia, à Foulia et à Hobba par dilution des nitrates par l'eau des nappes profondes;
- dans les Ghouts ennoyés recouverts par les roseaux et au niveau de la zone du rejet d'El-Oued;
- quelques points localisés où la dénitrification a pu s'effectuer correctement.

Sauf en de rares points, l'eau de la nappe n'est chimiquement pas potable. L'eau pour la consommation humaine devrait être puisée dans les nappes profondes.



LEGENDE

Conductivité en MicroSiemens/cm






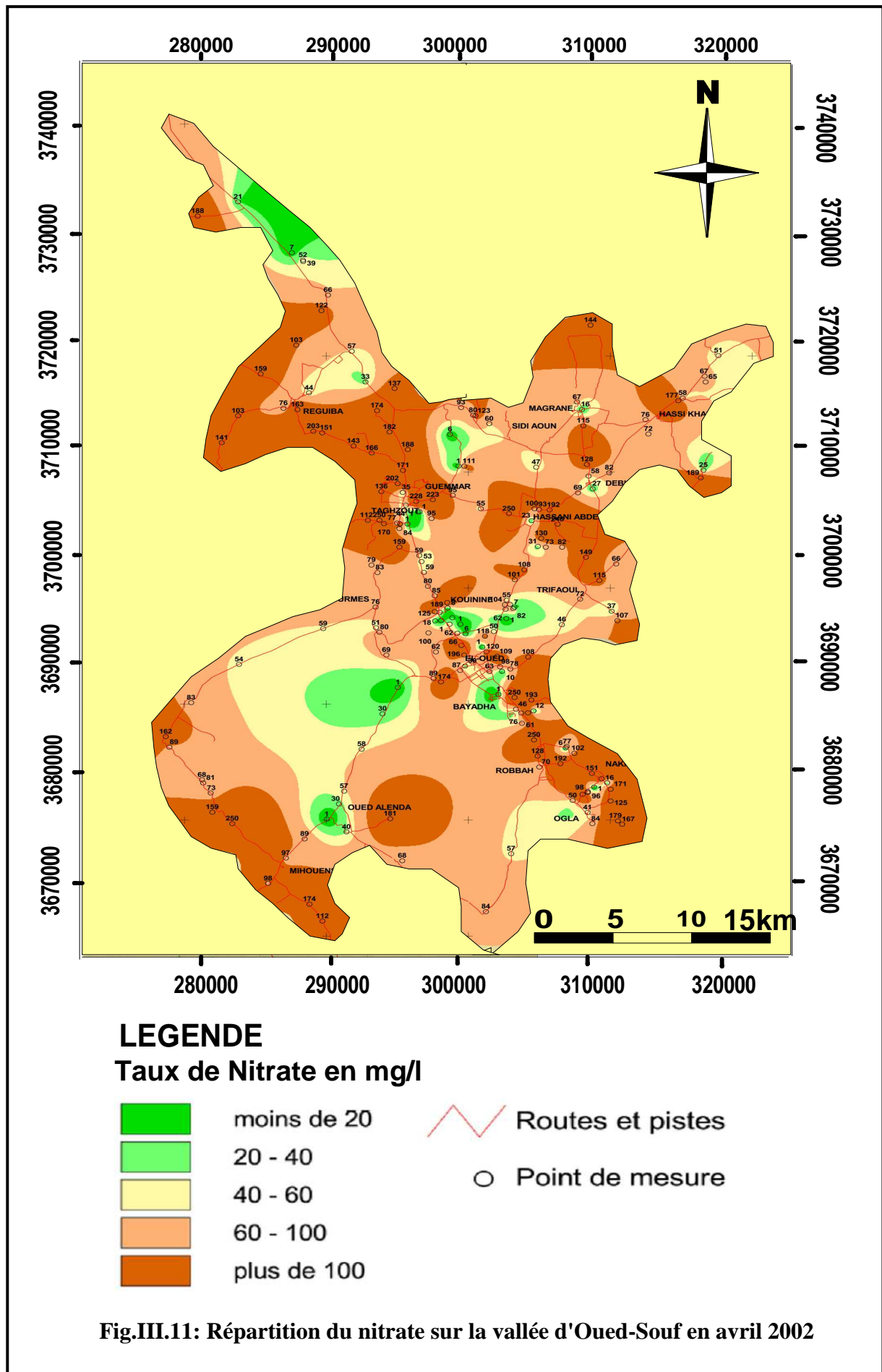
- | | | | |
|---|--------------------|---|-----------------------|
|  | moins de 5000 |  | entre 9000 et 13000 |
|  | entre 5000 et 9000 |  | plus de 13000 |
|  | Localité | I, II et III: | zones de conductivité |

Fig.III.10 : Carte de la conductivité en avril 2002



III.4. Potabilité des eaux de la nappe phréatique :

La qualité d'une eau est déterminée en fonction de ses caractéristiques physico-chimiques et sa teneur admissible selon l'O.M.S, les normes sont les suivantes:

Tab. III.7 : Normes de potabilité chimique (internationales et françaises) et concentrations dans la nappe

Paramètres (mg/l)	Normes internationales		Normes françaises	
	Admis	Accepté	Admis	Accepté
T (°C)	25	15	12	25
pH	9,5	6,5	9,5	6
Cond.(µS/cm)	-	-	2000	400
Ca ⁺⁺	-	-	100	-
Mg ⁺⁺	-	-	50	30
Na ⁺	-	-	100	<20
K ⁺	-	-	12	<C10
SO ₄ ⁻	400	200	250	5
Cl ⁻	250	-	600	250
NO ₃ ⁻	45	-	100	50

Selon Rodier (1979), la concentration maximale acceptable se limite à partir de laquelle la qualité d'une eau est diminuée et peut provoquer chez le consommateur une certaine réticence tolérée, des teneurs supérieures peuvent être dangereuses pour la santé.

D'après les résultats d'analyses chimiques, la concentration maximale admissible en SO₄⁻² et Ca⁺² est trop élevée (plus de 100 % pour les deux éléments), elle est moins importante pour Cl⁻ et NO₃⁻ (de 37.33 % et 11 % respectivement).

On remarque aussi que la concentration des sulfates (SO₄⁻²) et du calcium (Ca⁺⁺) sont supérieures à la concentration maximale admissible, ce qui veut dire que les eaux de la nappe phréatique du Souf ne sont pas potables.

III.5. L'Aptitude des eaux de la nappe phréatique à l'irrigation :

La qualité de l'eau d'irrigation est déterminée par la concentration et la composition des sels dissous dans l'eau. Les principaux paramètres déterminants :

- la concentration totale du sel dissous dans l'eau;
- la concentration réelle de Na⁺ par rapport aux autres cations;
- la concentration des éléments toxiques;

- dans certains cas la concentration de HCO_3 par rapport au Ca et Mg.

a- En utilisant la conductivité (risque de salinité) :

La concentration des sels dans l'eau peut être déterminée en terme de conductivité électrique, donc l'eau d'irrigation peut être classée comme suit :

- Si la conductivité est inférieure à $250 \mu\text{s/cm}$ l'eau ne présente aucun risque;
- Si la conductivité varie entre 250 et $750 \mu\text{s/cm}$ l'eau peut être utilisée que s'il y a un bon drainage;
- Si la conductivité est supérieure à $2250 \mu\text{s/cm}$ l'eau est considérée impropre à l'irrigation.

La conductivité électrique mesurée sur place à El-Oued avait donné des résultats qui oscillent entre 2700 et $17000 \mu\text{s/cm}$, donc cette eau est impropre pour l'irrigation.

b- En utilisant la méthode de Richards :

Le SAR : est un indice qui évalue le danger que présente l'existence d'une teneur donnée en sodium; il est calculé par la formule suivante:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})}}$$

S: Sodium; A: Adsorption; R: Ratio.

Na^+ , Ca^{++} , et Mg^{++} représentent les concentrations en mg/l, les valeurs de SAR ont été calculées à partir des données des analyses chimiques.

La méthode de Richards est basée sur la combinaison des deux méthodes: du SAR et de la conductivité électrique.

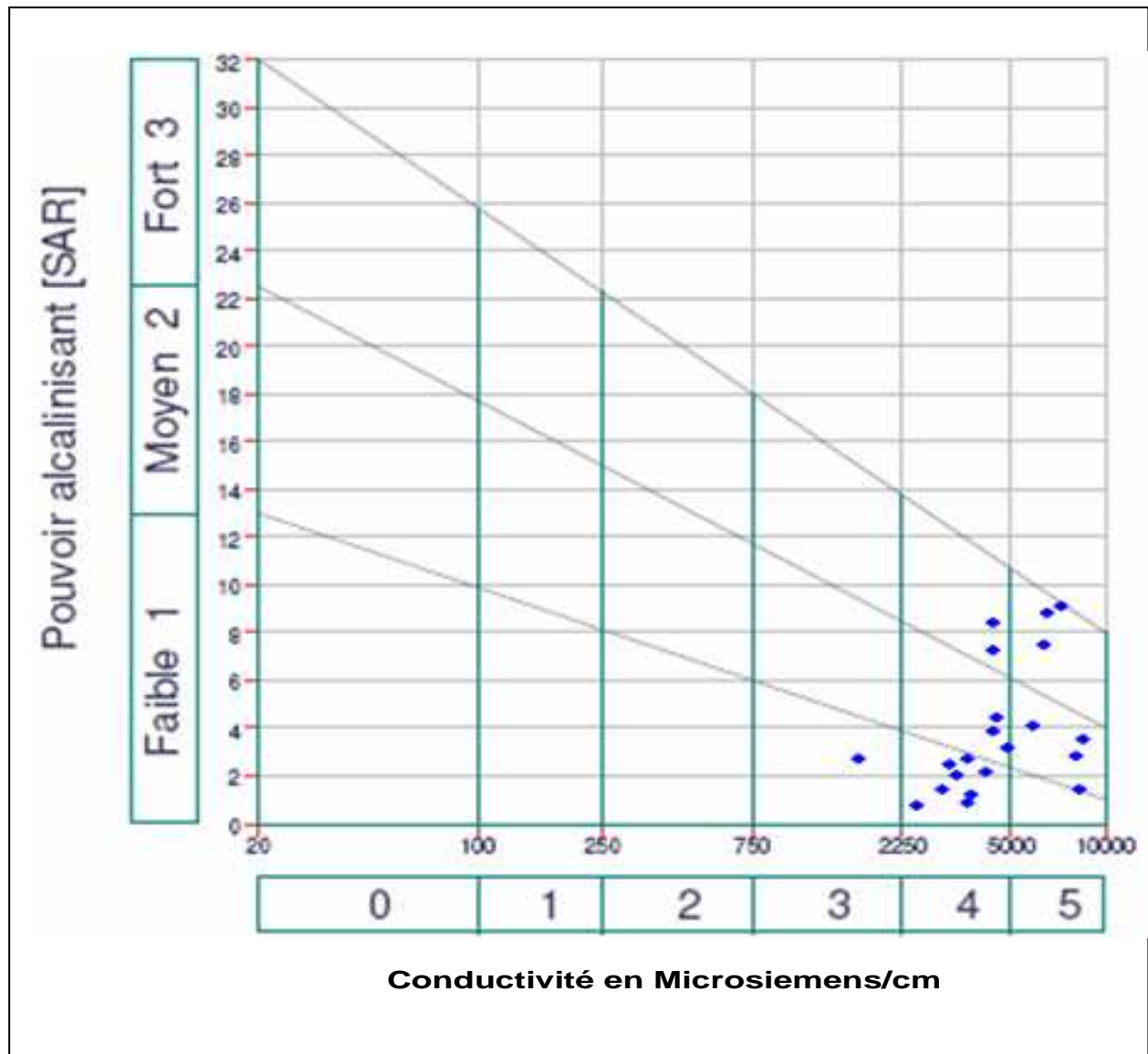


Fig.III.12 : Le diagramme de Richards des eaux de la nappe phréatique

On remarque que la majorité des échantillons n'ont pu être positionnés du fait de leur teneur élevée en sel (la conductivité est supérieure à 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et 90 % des échantillons ayant un SAR inférieur à 20, présente un risque d'alcalinisation du sol.

Le diagramme montre que les eaux de la nappe phréatique sont très salées, et elles sont de mauvaise qualité pour les utilisations agricoles.

IV. CONCLUSION

L'étude quantitative de la vallée d'Oued Souf nous a permis de constater qu'elle est riche en matière des ressources en eaux souterraines, cette richesse présente sous forme de trois nappes: la nappe phréatique, la nappe du Complexe Terminal (CT) et celle du Continental Intercalaire(CI).

La teneur des éléments majeurs de la nappe phréatique semble augmenter en fonction du temps. Généralement les éléments rencontrés sont d'origine géologique, autrement dit, ils sont libérés par la roche mère riche en sodium, ce type de salinisation se développe dans les dépressions soumises à un climat évaporant.

Nous avons remarqué également qu'il y a une relation claire entre la salinité et la piézométrie, car nous constatons que la salinité s'accroît en fonction du sens de l'écoulement des eaux. L'interprétation des résultats obtenus par l'étude hydrochimique et la carte piézométrique permettent de conclure que les régions Nord d'El-Oued sont plus menacées que celles situées au Sud.

La classe des eaux en question a montrée qu'elles sont non potables et impropre pour l'irrigation. Il faut noter enfin, que la remontée des eaux de la nappe phréatique, peut détenir toutes les surfaces agricoles utiles (SAU) à cause de la concentration chimique élevée de ces eaux.

CHAPITRE IV

CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES

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 des ces ressources.

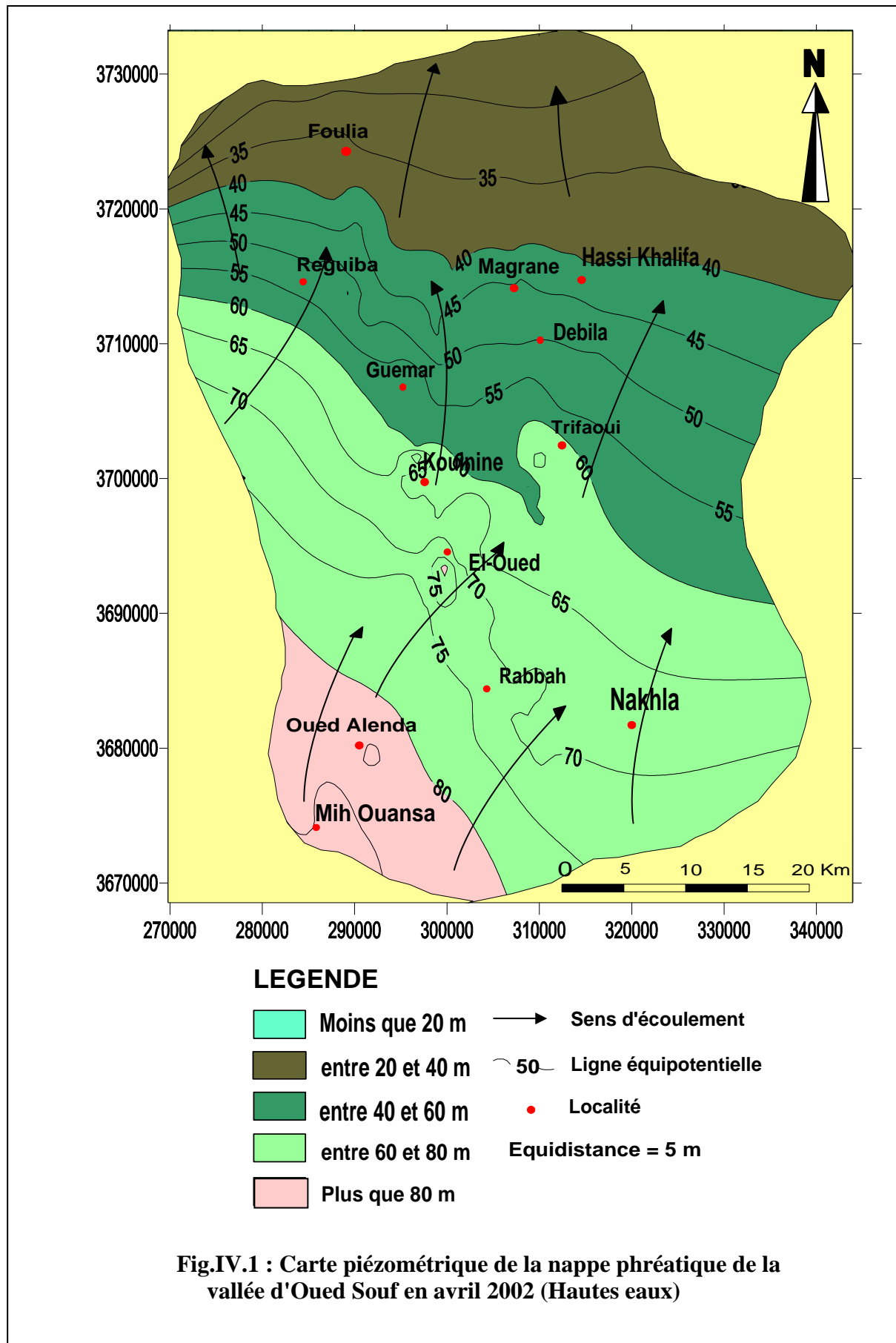
Le dimensionnement de la couche mouillée et l'estimation de volume de réservoir nécessitent la mise en évidence :

- 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'emmagasinement, porosité).

II. INTERPRETATION DE LA CARTE PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE PHREATIQUE :

La campagne des mesures qui a été effectuée par le bureau d'étude BG en mois d'avril 2002 comprend 207 points opérationnels. Le niveau piézométrique a été relevé sur les 177 puits qui n'étaient pas en pompage, dont une centaine de nouveaux points situés dans les zones urbanisées.

La partie haute de la nappe est située au Sud-Ouest avec une cote de près de 90 m au piézomètre P039 implanté sur la route de Touggourt au Sud-Ouest de Mihouensa. Une zone basse située au Nord-Ouest, avec une cote de trentaine de mètres au puits H01 à Foulia et - 6 m au piézomètre P036 à la limite Nord-Ouest, sur la route de Biskra.



Ainsi on peut facilement constater que la surface piézométrique n'est pas régulière et elle présente des points hauts dans les zones d'alimentation représentées par les agglomérations et les plantations irriguées à partir des nappes profondes et des points bas dans les zones de prélèvement et par évaporation des surfaces d'eau libre (Chott, Ghouts inondés) et évapotranspiration de la végétation (cultures traditionnelles en Ghouts, cultures irriguées par des puits traditionnels ou améliorés dans la nappe phréatique).

Le sens général d'écoulement des eaux souterraines est Sud-Ouest vers le Nord-Est.

Pour mieux comprendre l'allure de la surface piézométrique, on a pris 05 profils dans des différentes régions et de direction Est-Ouest ;

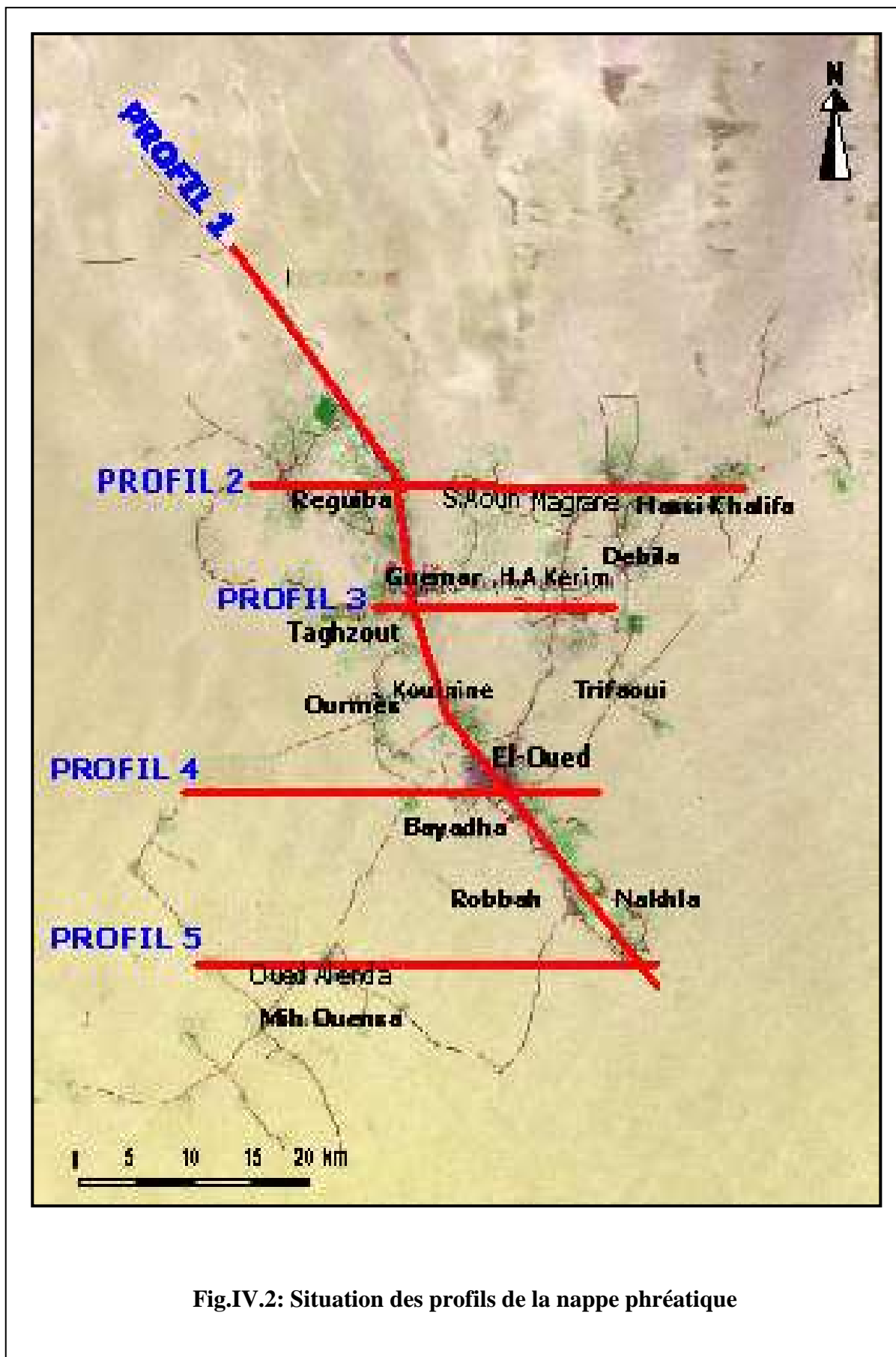


Fig.IV.2: Situation des profils de la nappe phréatique

TN : *Terrain naturel*
 NP : *Niveau piézométrique*

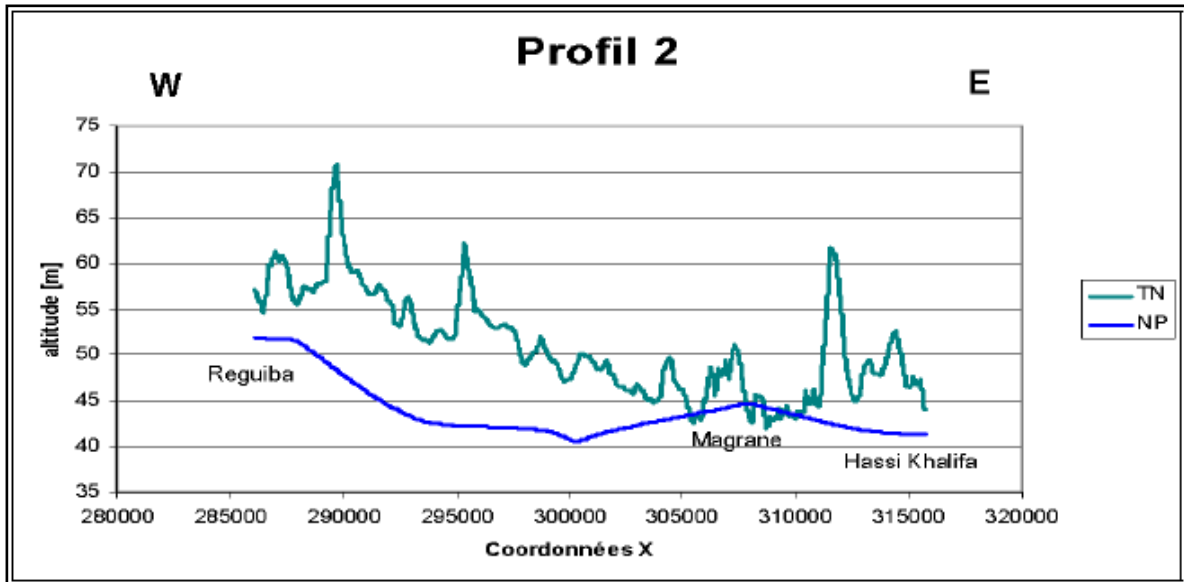


Fig. IV.3: Profil Nord-Sud de la nappe phréatique dans l'axe Foulia – El Oued – El-Ogla

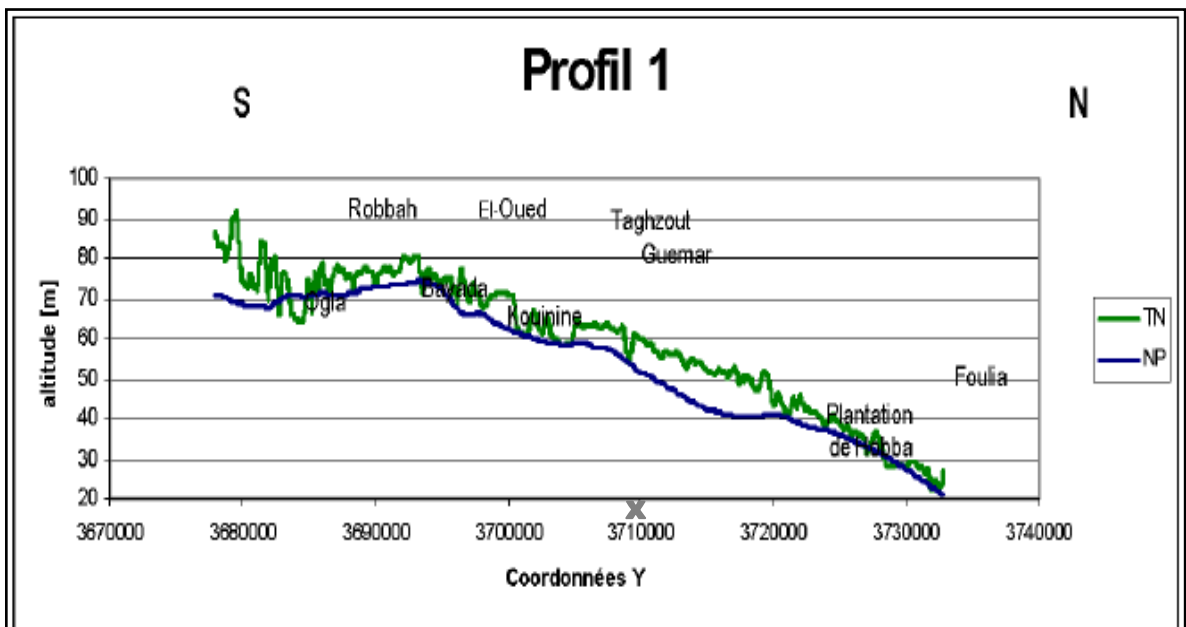


Fig.IV.4 : Profil Est-Ouest de la nappe phréatique passant par Magrane

Le profil 1 passe par les principales agglomérations, la nappe ennoie les Ghouts près de celles-ci. Allant vers le Nord, le profil piézométrique s'éloigne de la surface du sol ce qui est du probablement à l'irrigation traditionnelle à partir de la nappe phréatique (à Guemar et Taghzout), elle s'approche à la surface du sol qu'on allant vers Hobba et Foulia à cause de l'approche de substratum à la surface ainsi que l'exploitation des nappes profondes (notamment l'Albien) pour l'irrigation.

Au niveau de profil 2, la nappe est profonde à l'Ouest et au centre, très proche de la surface du sol près de Magrane. Elle est déprimée sous les zones de cultures.

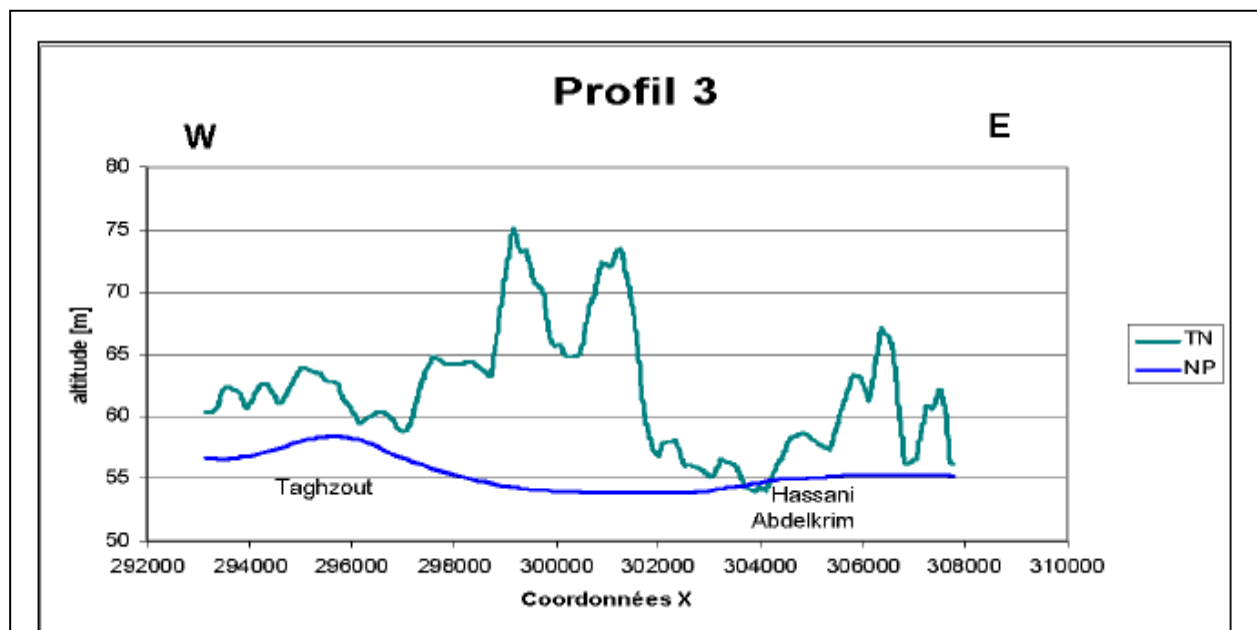


Fig.IV.5: Profil Est-Ouest de la nappe phréatique par Taghzout

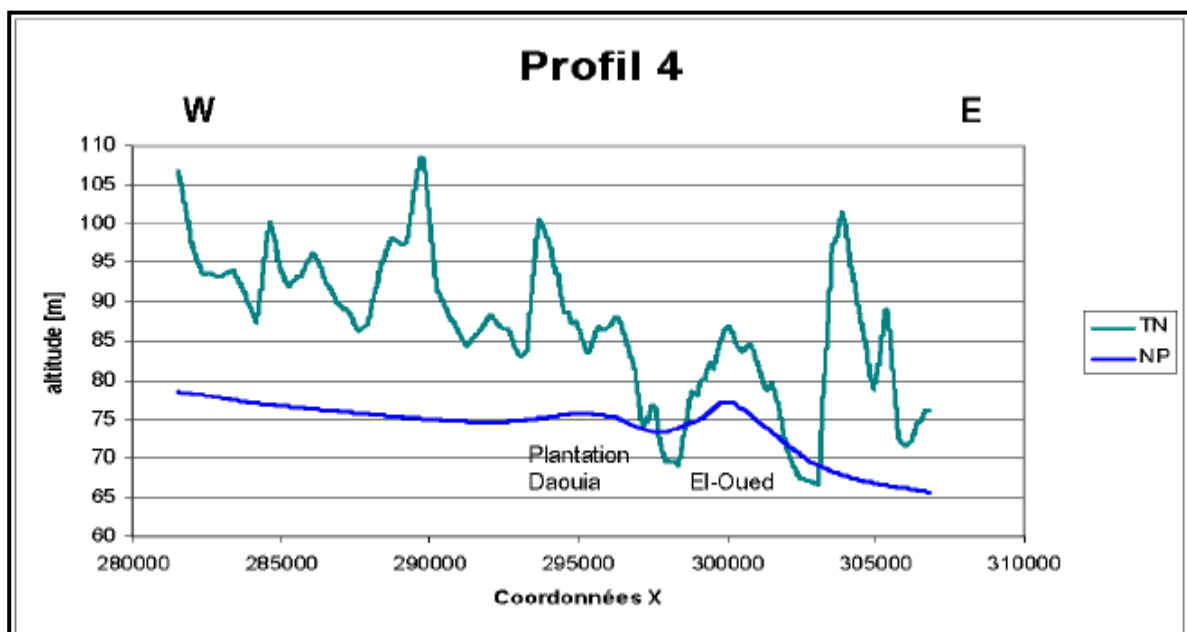
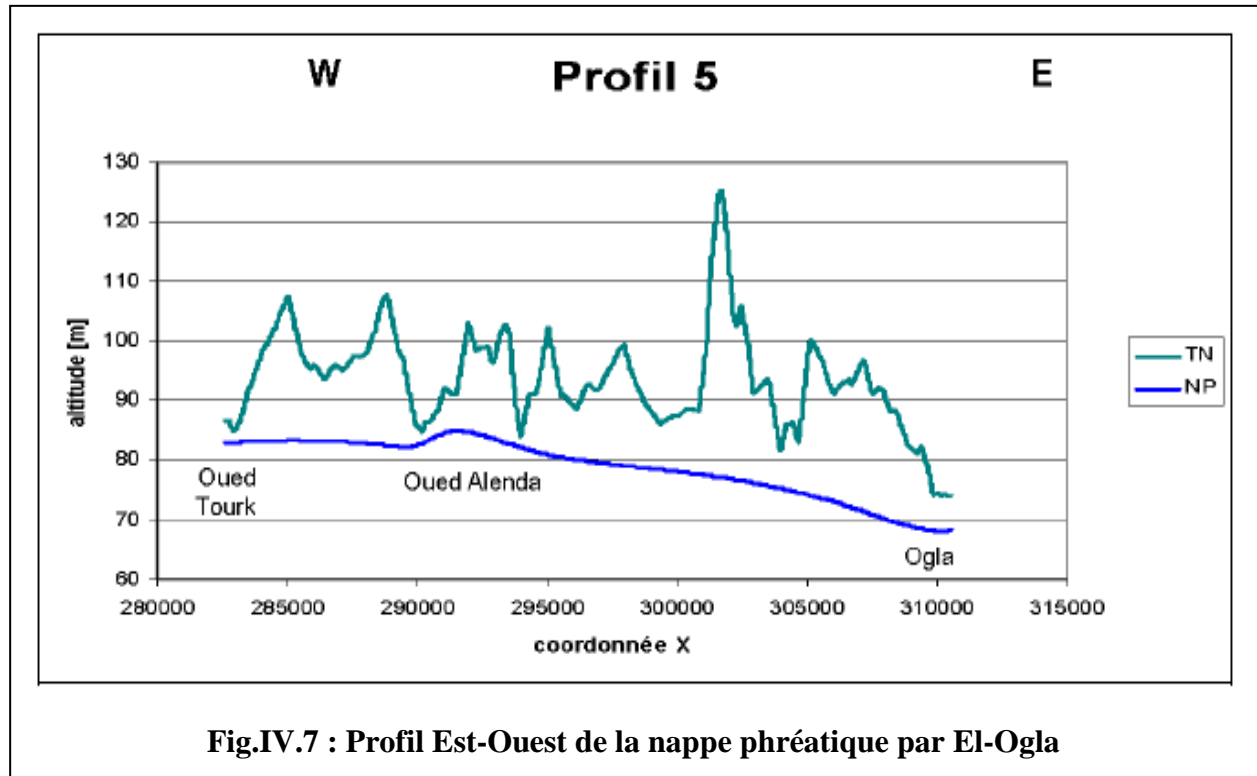


Fig.IV.6: Profil Est-Ouest de la nappe phréatique par El Oued

Ce profil met en évidence la remontée sous les zones d'alimentation que sont la plantation Dhouia (qui irrigue ses terre agricoles à partir du CT) et l'agglomération d'El Oued qui présente une forte consommation des eaux face à des faibles prélèvements à partir de la nappe phréatique.



Ce profil, situé le plus au sud, présente la nappe à son état quasi naturel, mis à part l'AEP

Tab.IV.1 : Altitude et profondeur de la nappe phréatique.

Localités	Altitude « Z » (m)	Direction	Profondeur de la nappe (m)
El-Ogla	84	Sud	11 à 14
El-Oued	77	Sud	10 à 14
Kouinine	55	Sud	8,8 à 11
Taghzout	52	Nord	9 à 10
Guemar	51	Nord	7 à 8
Ghamra	50	Nord	6 à 7
Z'goum	51	Sud-Est	7 à 8
Béhima	50	Nord	10 à 10,5
Débila	46	Est	6,5 à 7
Sidi-Aoun	30	Nord	5 à 5,7

Tab.IV.2 : Niveau statique dans les forages de la commune d'El-Oued (décembre 2006).

Forage	Profondeur (m)	Forage	Profondeur (m)	Forage	Profondeur (m)
D 01	4,92	D 20	3,5	D 39	7,4
D 02	5,74	D 21	6,05	D 40	11,41
D 03	6,99	D 22	4,82	D 41	8,15
D 04	6,34	D 23	1,84	D 42	12,4
D 05	9,2	D 24	5,5	D 43	11,1
D 06	5,1	D 25	8,26	D 44	11,08
D 07	4,43	D 26	5,62	D 45	5,77
D 08	3,27	D 27	4,62	D 46	11,02
D 09	6,35	D 28	2,19	D 47	8,48
D 10	3,53	D 29	5,86	D 48	4,63
D 11	2,46	D 30	5,33	D 49	14,25
D 12	4,11	D 31	0,74	D 50	3,54
D 13	2,69	D 32	7,38	D 51	6,23
D 14	4,43	D 33	6,2	D 52	15,23
D 15	5,31	D 34	2,45	D 53	4,68
D 16	1,9	D 35	3,38	D 54	4,32
D 17	2,19	D 36	5,25	D 55	4,84
D 18	6,09	D 37	4,02	D 56	5
D 19	0,35	D 38	7,4	D 57	6,69

Source : ONA 2006

III. CARTE DE SUBSTRATUM

D'après les données requises, la profondeur du substratum argileux de la nappe phréatique varie d'un endroit à l'autre. Elle est localisée généralement entre 48 et 67 m, probablement suivant le niveau topographique.

Tab.IV.3 : Profondeur du toit des argiles, d'après les logs des puits améliorés

N° de puits	X (LSA)	Y (LSA)	Profondeur du toit des argiles
E52	869,80	349,30	-67
E48	890,79	342,35	-59
E45	890,87	339,67	-59
E54	890,93	331,36	-59
E58	895,98	306,70	-56
E55	898,54	300,89	-56
E26	910,70	337,50	-56
E43	889,90	328,30	-55
E59	882,06	323,45	-54
E44	891,87	312,45	-54
E60	890,19	335,22	-53
E49	898,54	336,46	-51
E46	893,50	323,38	-51
E25	911,30	338,00	-51
E51	882,92	334,53	-50
E47	874,95	328,06	-50
E57	887,98	319,30	-50
E50	877,64	303,16	-50
E56	872,96	295,24	-50
P06	897,06	320,12	-48
P03	884,27	320,10	-48

Source : ANRH 2005

IV. LES ESSAIS DE POMPAGE :

Des essais de pompage par paliers et de longue durée ont été réalisés sur 6 sites répartis dans la zone d'étude de la vallée du Souf, à Mihouensa, Nakhla, Ourmes, El-Oued, Kouinine et Foulia, du 24/02/2003 au 07/04/2003.

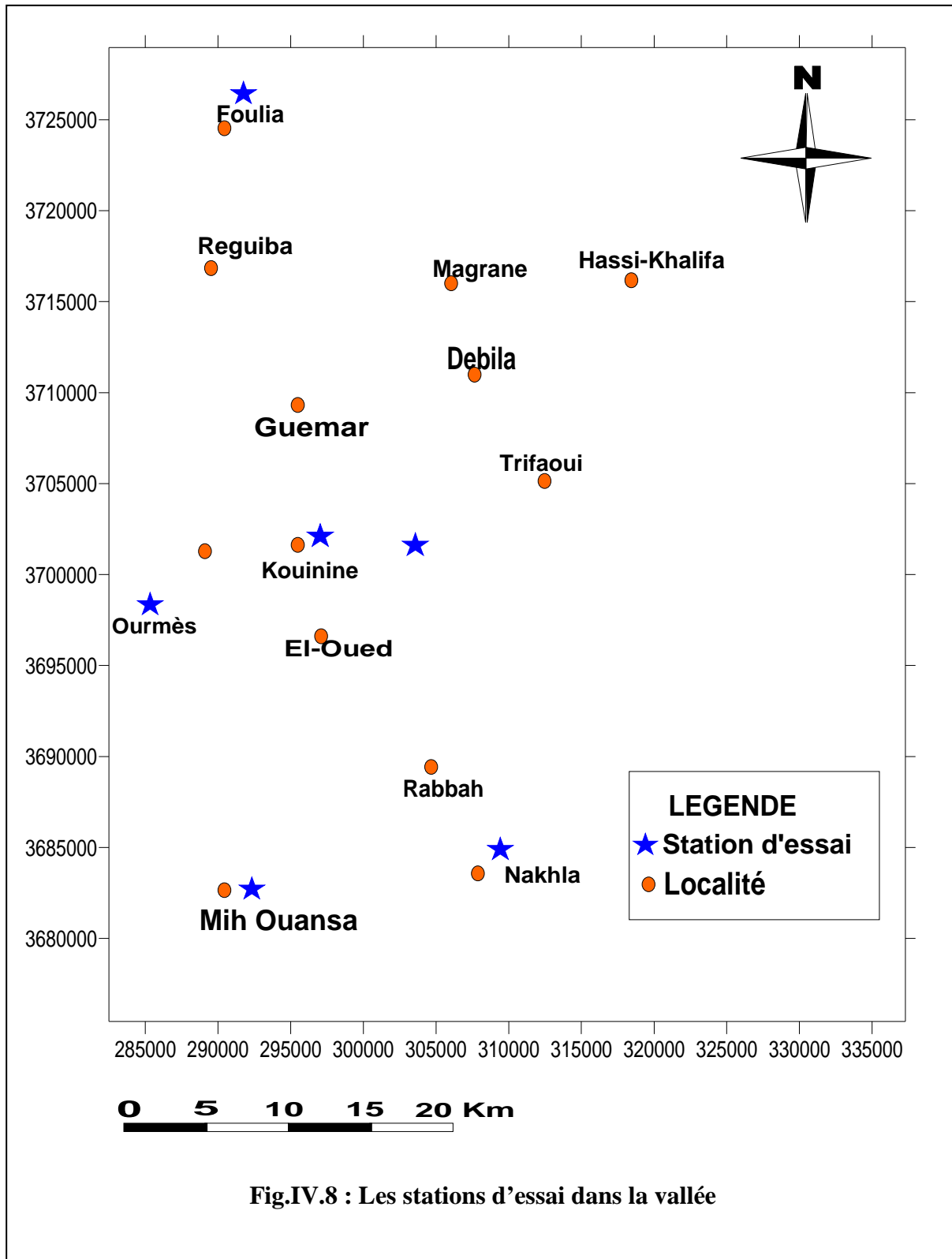


Fig.IV.8 : Les stations d'essai dans la vallée

Chaque site d'essai est constitué par un puits de pompage et 3 piézomètres complets, situés à 5, 15 et 45 m du puits de pompage. Les puits de pompage sont des puits existants avec des caractéristiques différentes, alors que tous les piézomètres réalisés pour ces essais de pompage sont identiques.

Le rejet des eaux de pompage est situé à plus de 98 m pour les sites de Mihouensa, Nakhla, Ourmes, El-Oued, Kouinine alors qu'à Foulia l'eau de pompage a été utilisée pour l'irrigation de palmeraie et d'un pivot de 0,75 ha.

Quatre limnigraphes ont été utilisés pour enregistrer les niveaux à intervalle de 30 secondes pendant toute la durée de l'essai. Ceux-ci ont comporté, pour chaque site, un essai par paliers non enchaînés et un essai de longue durée à débit constant.

L'essai par paliers est composé de trois 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 (K_v) et la porosité efficace (n_e).

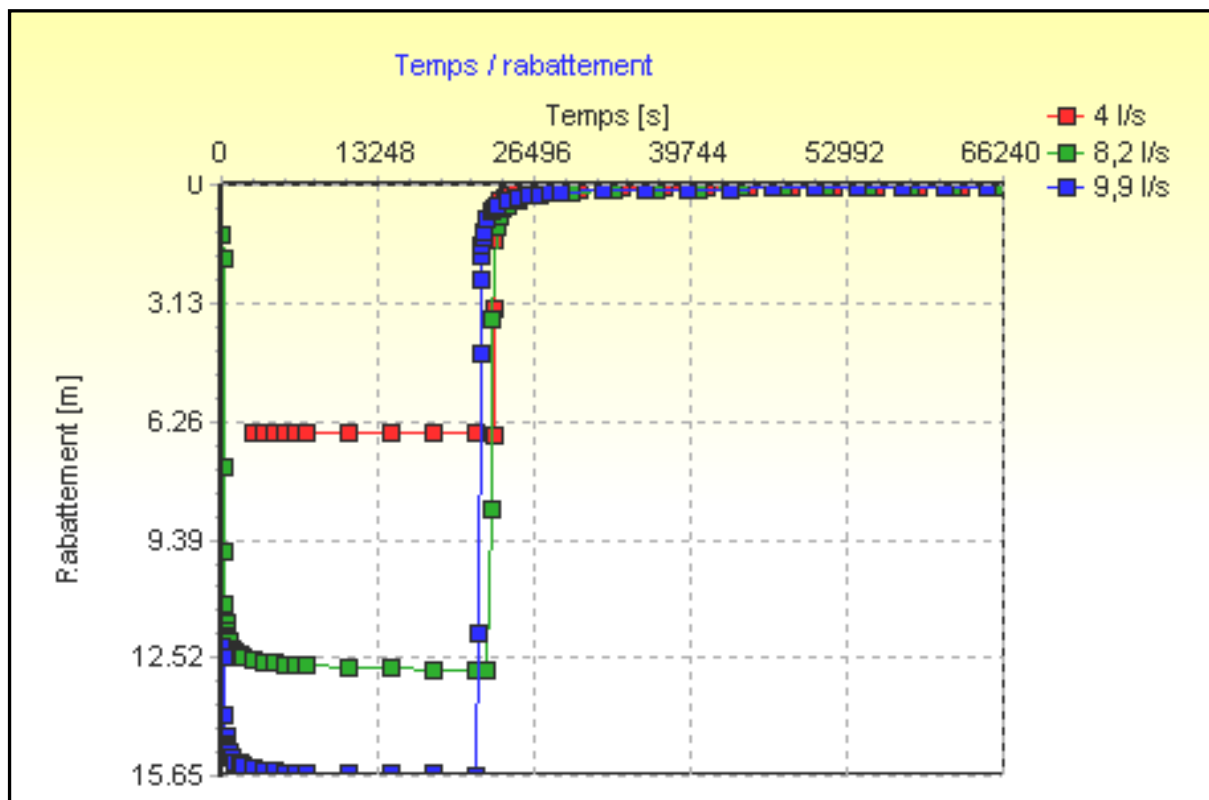


Fig. IV.9: Essai par paliers à Kouinine
Observations dans le puits de pompage aux débits de 4 ; 8.2 et 9.9 litres/seconde

Les méthodes d'interprétation suivantes ont été utilisées, en fonctions des sites :

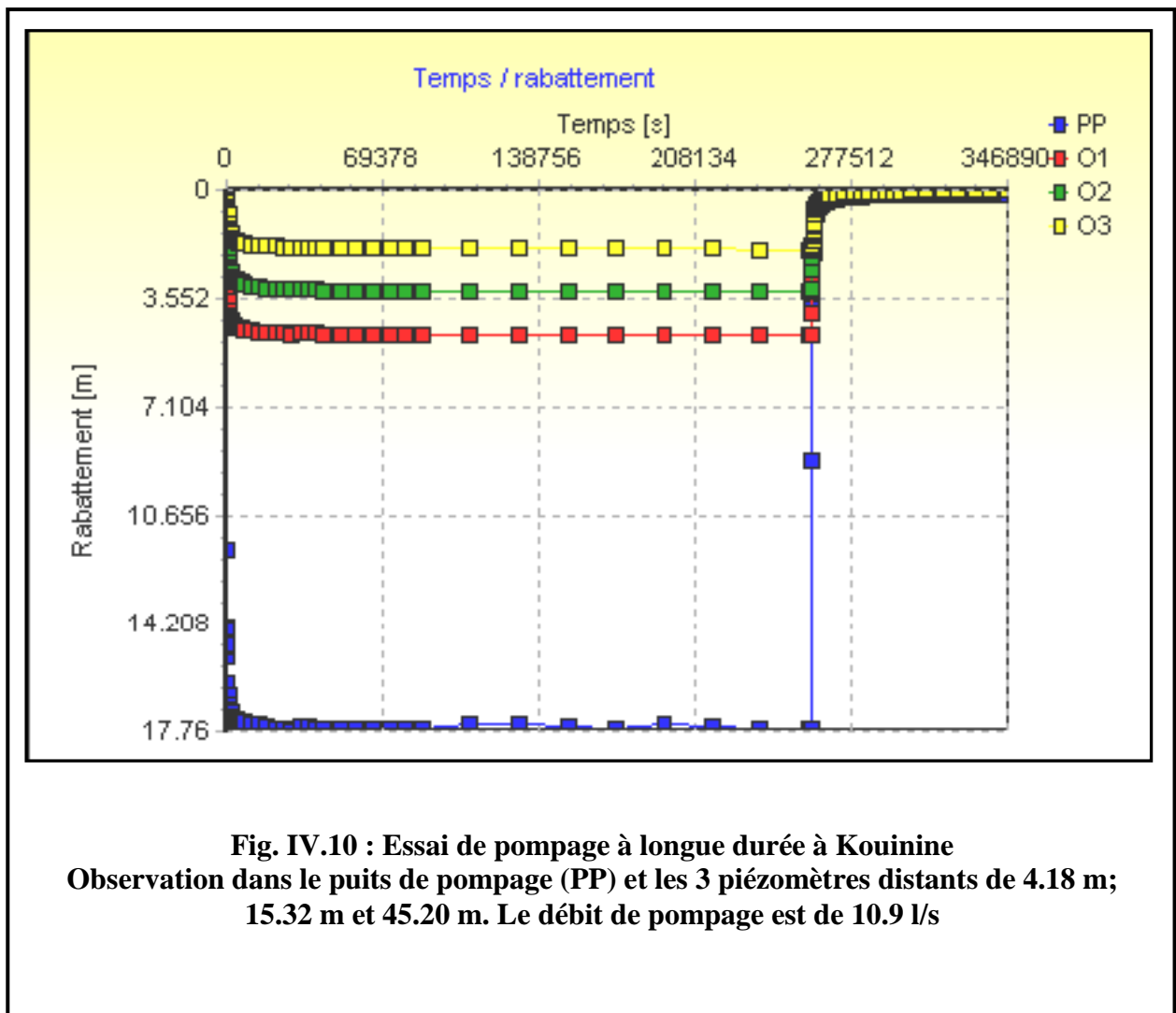
- Méthode de Cooper – Jacob distance – rabattement (pour des temps relativement élevés).

- Méthode de Moench (extension de la méthode de Neuman (1972) itérative pour des nappes libres ou confinées, avec un puits de pompage partiel ou complet et plusieurs puits d'observations).
- Méthode de Hantush – Jacob (Walton) (pour les nappes semi-captives, sans débit retardé).

La valeur de la transmissivité a été contrôlée pour chaque site par la méthode de la remontée selon Theis.

Lors de la réalisation des piézomètres, des échantillons (cuttings) ont été prélevés tous les mètres. Ils ont été analysés et les logs dessinés.

Les échantillons étudiés sont tous à prédominance sableuse et graveleuse, c'est à dire que plus de la moitié des grains de chaque échantillon a un diamètre supérieur à 0.06 mm (visible à l'oeil nu). De plus du gypse, sous forme de sable gypseux ou croûtes gypseuses, peut être présent dans ces échantillons en plus ou moins grande proportion.



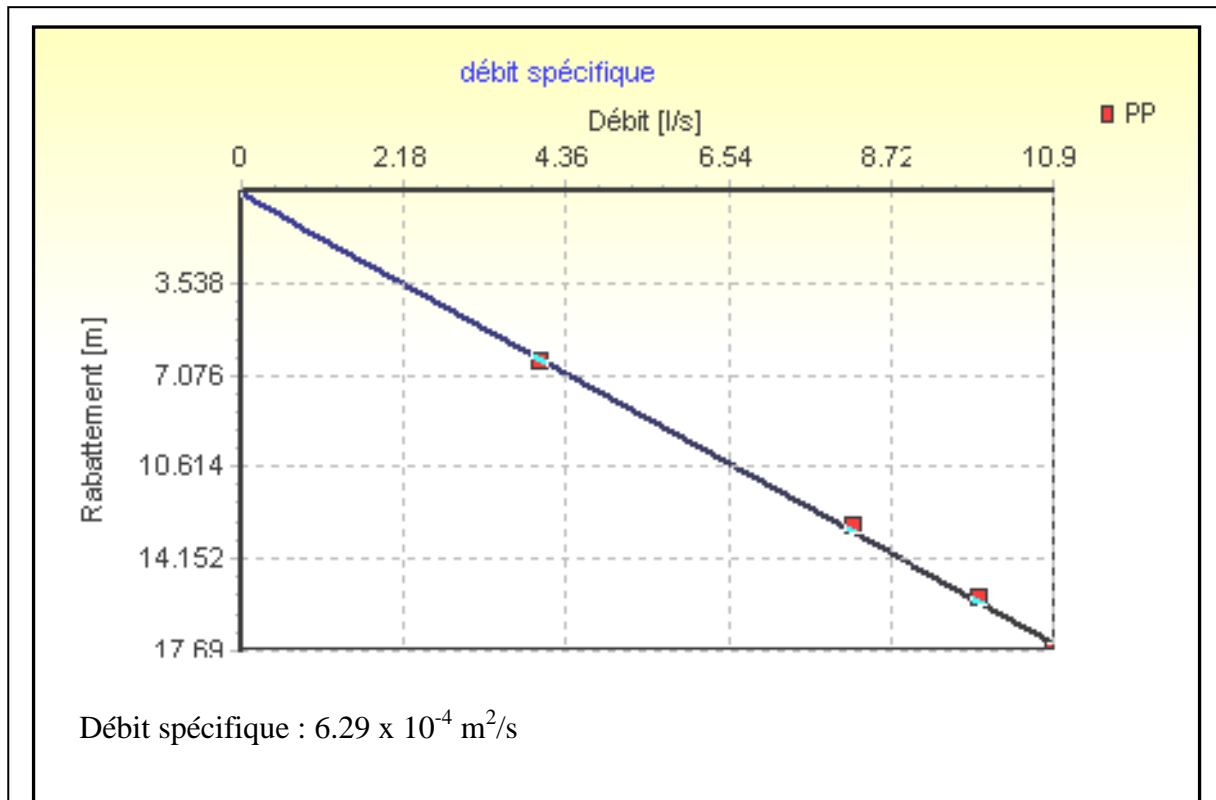


Fig.IV.11 : Diagramme de débit spécifique à Kouinine

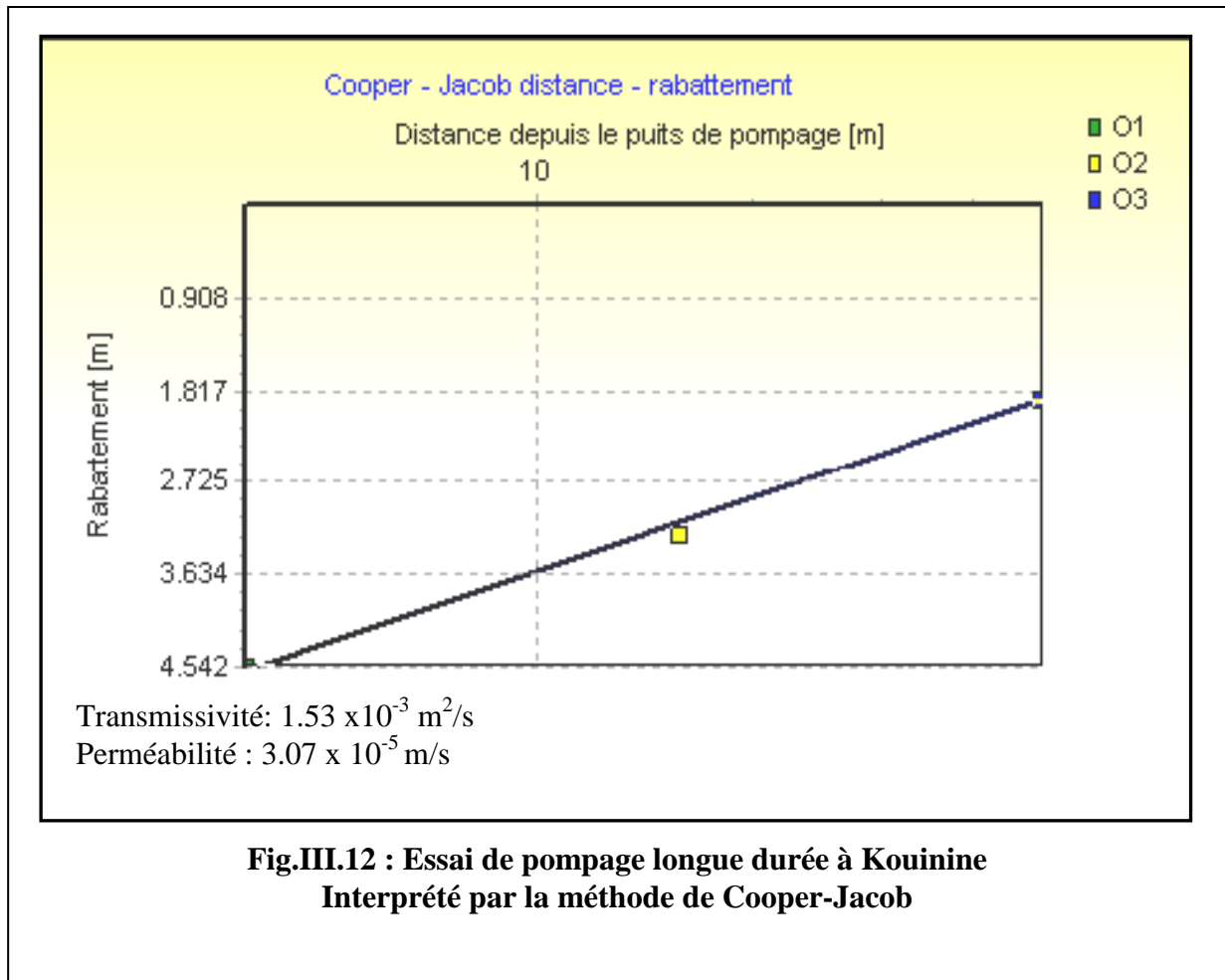
1. Débits spécifiques :

Tab.IV.4 : Débits spécifiques

Essai	Débit Spécifique
El Oued	$2.15 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
Foulia	$1.89 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
Kouinine	$6.29 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
Mihouensa	$3.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
Nakhla	$1.83 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
Ourmes	$8.63 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

Le débit spécifique est élevé à Nakhla où l'essai a été effectué sur un forage récemment foré et pas encore mis en exploitation. Il est moyen à El-Oued et Foulia, alors qu'il est faible à Kouinine, Ourmes et Mihouensa.

2. La transmissivité:

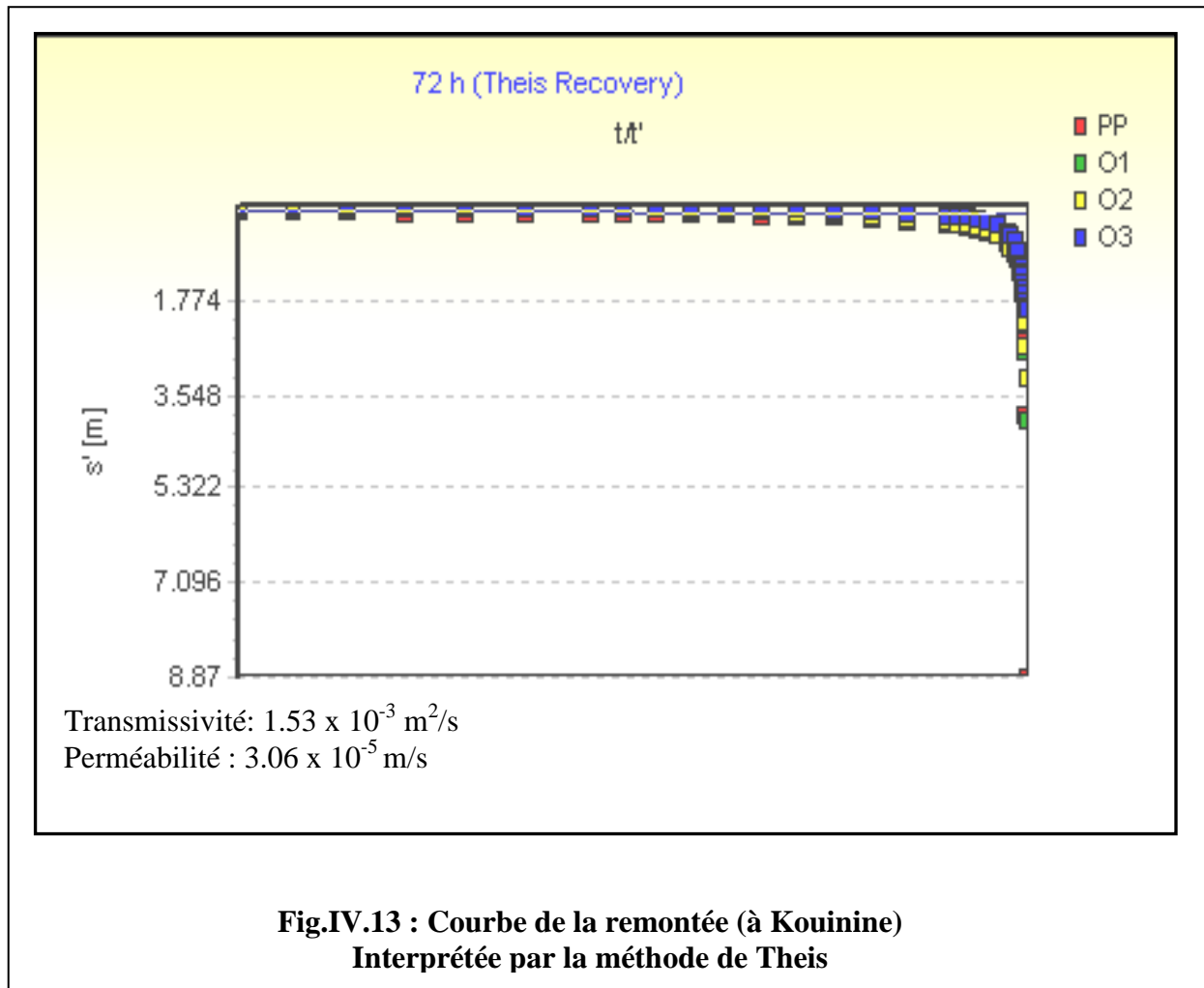


Tab.IV.5 : Valeurs de transmissivités (en m^2/s)

Essai	T (Cooper-Jacob)	T (Moench)	T (Hantush - Jacob)	T (Theis remontée)	T moyen
El Oued	2.5×10^{-3}	2.5×10^{-3}	-	2.48×10^{-3}	2.5×10^{-3}
Foulia	-	-	2.62×10^{-3}	2.61×10^{-3}	2.62×10^{-3}
Kouinine	1.53×10^{-3}	1.54×10^{-3}	-	1.53×10^{-3}	1.54×10^{-3}
Mihouensa	5.42×10^{-3}	5.41×10^{-3}	-	5.42×10^{-3}	5.42×10^{-3}
Nakhla	8.29×10^{-3}	8.3×10^{-3}	-	8.26×10^{-3}	8.3×10^{-3}
Ourmes	2.26×10^{-3}	2.26×10^{-3}	-	2.26×10^{-3}	2.26×10^{-3}

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 6 entre les extrêmes avec $1.54 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ à Kouinine et $8.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ à Nakhla. La transmissivité moyenne est de $3.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.



3. La perméabilité :

Les perméabilités sont homogènes à chaque station d'essai. D'une station à l'autre, les écarts sont peu importants, de l'ordre de 1 à 7 entre les extrêmes avec $2.9 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ à Kouinine et $1.89 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ à Nakhla, ce qui correspond à des perméabilités de sables dunaires.

La perméabilité moyenne est de $8.54 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ est du même ordre que la perméabilité moyenne mesurée lors des essais d'infiltration ($1.6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$).

Tab.IV.6 : Valeurs de la perméabilité (en m/s)

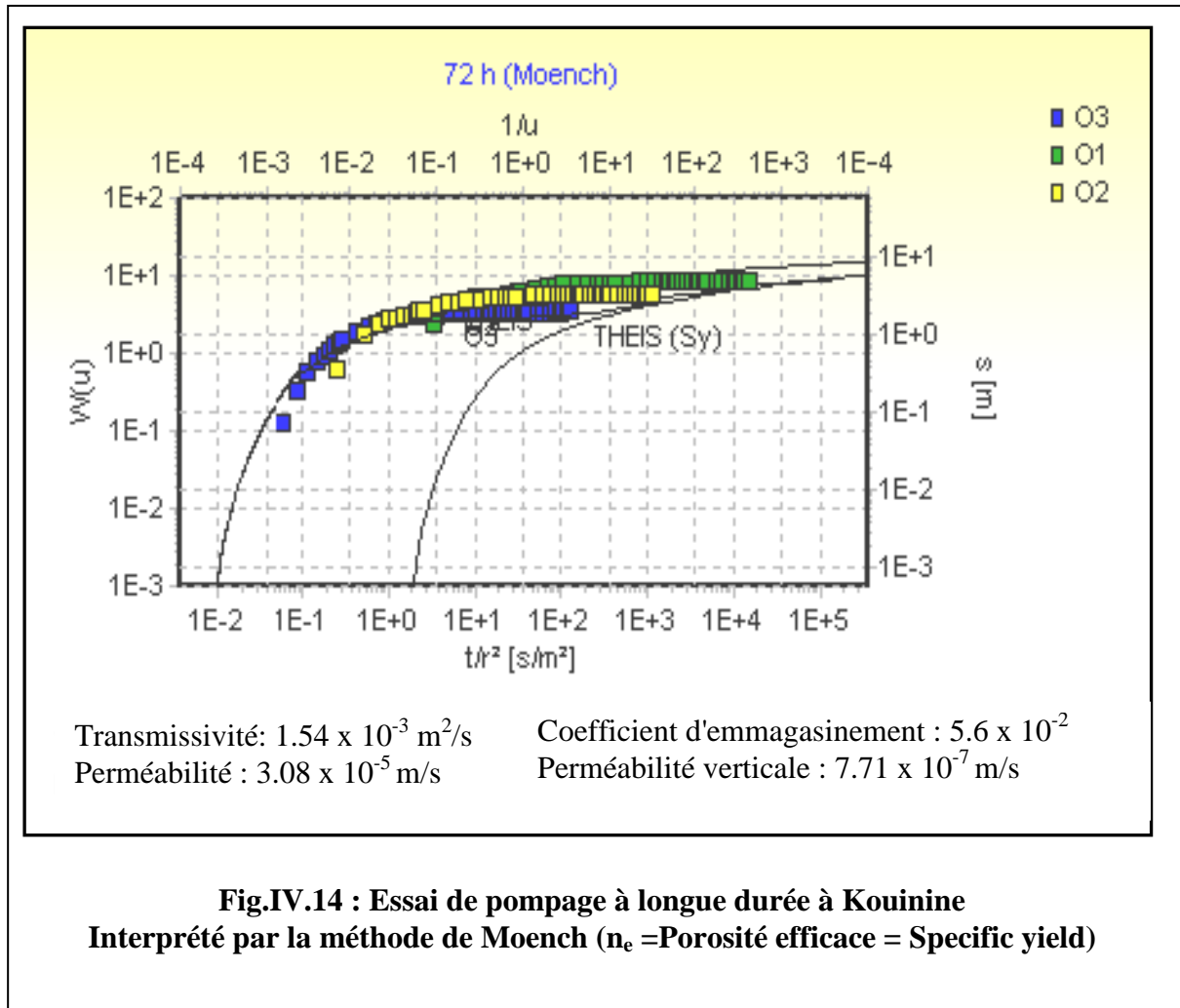
Essai	K (Cooper – Jacob)	K (Moench)	K (Hantush - Jacob)	K moyen
El Oued	4.9×10^{-5}	4.91×10^{-5}	-	4.91×10^{-5}
Foulia	-	-	8.72×10^{-5}	8.72×10^{-5}
Kouinine	3.07×10^{-5}	3.08×10^{-5}	-	3.08×10^{-5}
Mihouensa	1.13×10^{-5}	1.13×10^{-4}	-	1.13×10^{-4}
Nakhla	1.88×10^{-5}	1.89×10^{-4}	-	1.89×10^{-4}
Ourmes	4.52×10^{-5}	4.53×10^{-5}	-	4.53×10^{-5}

4. Perméabilités verticales K_v et rapports des perméabilités horizontales / verticales – K_h/K_v

Tab.IV.7 : Perméabilités verticales

Essai	K_v (Moench)	K_h/K_v
El Oued	4.91×10^{-8} m/s	1000
Foulia	-	-
Kouinine	7.71×10^{-7} m/s	40
Mihouensa	6.76×10^{-8} m/s	1672
Nakhla	5.66×10^{-5} m/s	3
Ourmes	1.36×10^{-5} m/s	3

Lorsque la perméabilité verticale est élevée (Nakhla, Ourmes), le rapport K_h/K_v est de 3. Cette valeur est caractéristique d'une nappe libre, homogène. La perméabilité verticale baisse corrélativement avec une augmentation de l'hétérogénéité. A Kouinine, pour $K_v = 7.7 \times 10^{-7}$ m/s, le rapport K_h/K_v est de 40, alors qu'à El Oued et Mih Ouensa, il est de 1000 ou plus pour $K_v = 4.9 \times 10^{-8}$ m/s et 6.7×10^{-8} m/s respectivement.



5. Porosités efficaces n_e :

La porosité efficace a été définie pour les nappes libres. Elle est généralement considérée comme équivalente au coefficient d'emmagasinement pour les nappes captives. Elle a été déterminée par la méthode de Moench. Elle est comprise entre 6 % (5.6) à Kouinine et 23 % (22.9) à Nakhla, soit 12% (12.49) en moyenne. Ces valeurs sont usuelles pour des sables fins.

Tab.IV.8: Valeurs de la porosité efficace

Essai	n_e (Moench)
El Oued	7.05×10^{-2}
Kouinine	5.60×10^{-2}
Mihouensa	10.8×10^{-2}
Nakhla	22.9×10^{-2}
Ourmes	16×10^{-2}

V. CONCLUSION :

L'étude hydrodynamique nous a permis de constater que le sens d'écoulement des eaux souterraines est orienté suivant une direction générale SW-NE.

L'analyse des 05 profils de la nappe phréatique montre que le niveau piézométrique s'éloigne ou s'approche du niveau topographique en fonction de la nature d'irrigation (traditionnelle à partir de la nappe phréatique ou grâce aux forages profonds) et la profondeur de substratum argileux qui varie d'un endroit à l'autre.

L'interprétation des essais de pompage par paliers et à longue durée qui a été effectuée au niveau des 06 stations nous permet de constater que :

- Le débit spécifique oscille entre 6.29×10^{-4} et 1.83×10^{-2} m²/s.
- La transmissivité moyenne est de l'ordre de 3.77×10^{-3} m²/s.
- La perméabilité moyenne est 8.54×10^{-5} m/s.
- La porosité efficace (ou le coefficient d'emménagement pour la nappe captive) a une valeur moyenne de 12.49 % qui est usuelle pour les sables fins.

CHAPITRE V

GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAUX

I. INTRODUCTION :

En raison de son importance, l'eau constitue un enjeu fondamental pour le développement actuel et futur de la région. El Oued vit une situation véritablement dramatique et quasi-désespérée : des palmeraies ont été transformées en sorte de marais où les roseaux prennent la place des palmiers morts. D'après les habitants dont le nombre a considérablement augmenté du fait d'un fort accroissement démographique : " il n'est pas trop tard... cette situation sera réparée"

La nature réagit aux erreurs commises par les hommes dans leurs interventions sur les écosystèmes, même quand leur intention louable vise à développer et à créer des richesses supplémentaires. Beaucoup a été écrit sur ce phénomène imputé à l'utilisation accrue des forages pour l'irrigation et la consommation.

Les habitants de la wilaya d'El-Oued, enfin juste de l'abondance illimitée de l'eau, des dotations très élevées, des ressources interminables à leurs regards, ils n'hésitaient pas à exploiter de plus en plus les nappes profondes de la région, sans penser à la rationalité de ce mode de consommation, ni prévoir les aménagements nécessaires, tels qu'un réseau d'assainissement des eaux usées, un réseau de drainage agricole, ou des exutoires capables de protéger les richesses de la région et le milieu naturel.

Actuellement, dans la région de Souf, la zone touchée par la remontée des eaux souterraines et intéressé par un projet de gestion, a une superficie de 11738 km², et compte plus de 460000 habitants, disséminés dans 18 communes.

II. SCENARIO TENDANCIEL :

II.1. ANALYSE DES CAUSES DIRECTES GENERANT LE PROBLEME :

L'absence de station d'épuration et d'exutoire naturel a imposé aux eaux usées la seule voie possible, celle de l'infiltration vers cette nappe dont personne n'ignore maintenant la forte pollution. Les éclatements du réseau d'AEP, très fréquents sur les branchements privés réalisés directement par les particuliers, réinjectent pour leur part, chaque jour, une grande quantité d'eau potable dans la première nappe, entraînant sa suralimentation et un excès d'eau pour le palmier qui a ses racines tout près de cette nappe.

Pendant longtemps, en dépit des promesses gouvernementales, la fatalité semblait l'avoir emporté sur la volonté de mettre fin à cette catastrophe, mais certaines données actuelles laissent transparaître l'espoir que la ville d'El Oued retrouvera son équilibre naturel propice à la culture millénaire du palmier.

On peut résumer les causes de la remontée des eaux en :

a- *La croissance démographique :*

Au cours des quarante dernières années la croissance des agglomérations du Sud tout comme le reste des villes algériennes a été spectaculaire; on peut citer à titre d'exemple, que de 1960 à 1998, la ville de Ouargla a multiplié sa population par 15, El-Oued et Ghardaïa par 10 et Touggourt par 6. (Référence : urbanisation et urbanité au Sahara, par Saïd Belguidoum, revue méditerranée, tome 99 ; 2002).

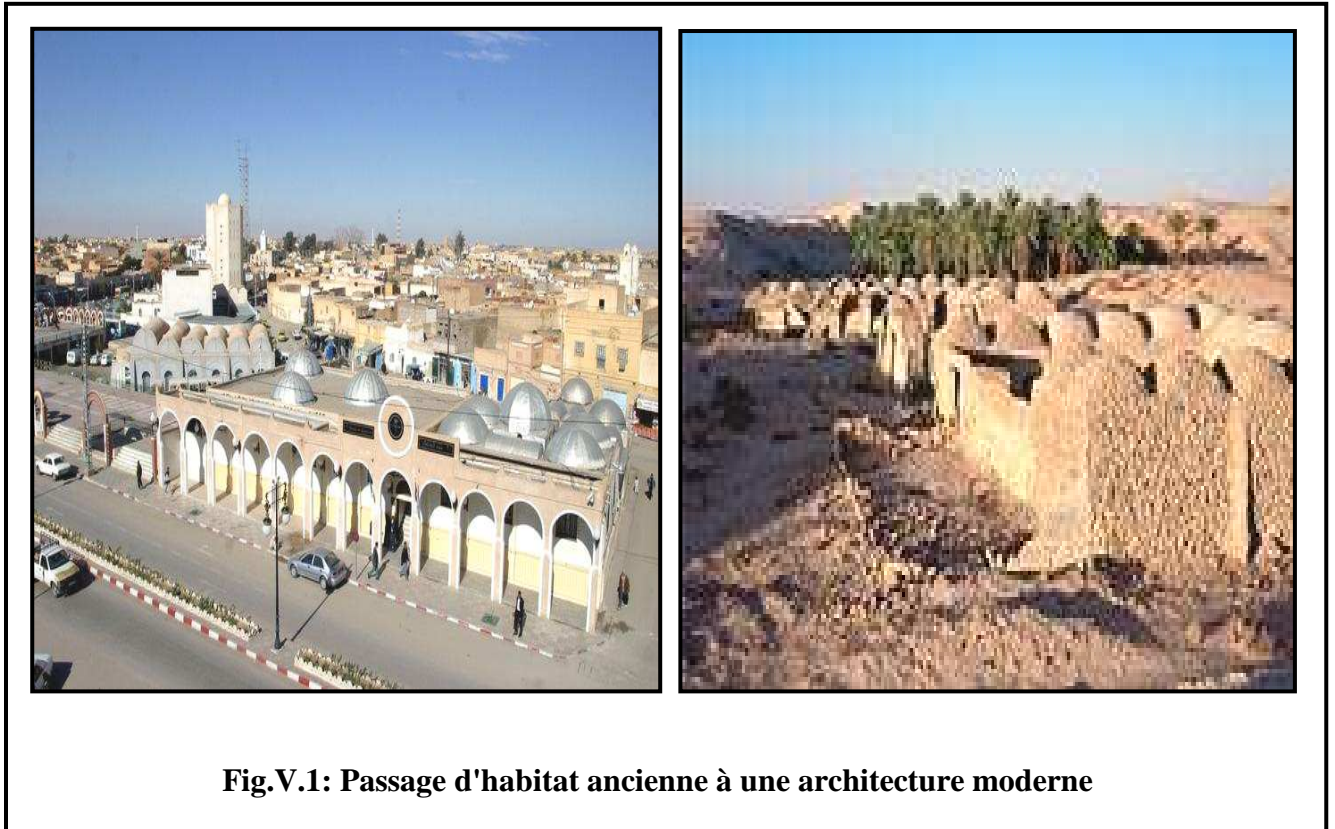
Le tableau ci-dessous montre l'augmentation du nombre de population au cours des dernières années (1999-2006) avec un taux d'accroissement démographique qui est de 3.07 %.

Tab.V.1 : Augmentation de la population dans la vallée de Oued Souf du 1999 jusqu'à 2006

Année	Nombre de population (habitant)
1999	374331
2000	385677
2001	397468
2002	409680
2003	422376
2004	435257
2005	448641
2006	462484

b- L'urbanisation :

Cette croissance est aussi spatiale et aboutit parfois à l'absorption des agglomérations voisines, le cas de la ville d'El-Oued est illustratif : une véritable conurbation, annexant à partir d'El-Oued, les localités de Kouinine, Robbah, et Bayadha, constituant ainsi une entité spatiale de 154000 habitants sur 20 km de continuité spatiale.



Le passage de l'habitat en Médina à l'état en « ville moderne » interroge sur les conséquences induites sur le mode de vie, de sociabilité, de pratique de la vie ; en un mot sur l'urbanité nouvelle que cela engendre : les nouveaux modes de vie qui entraînent des exigences nouvelles par rapport à l'habitat, au confort, à l'utilisation des espaces de la maison, au rythme de la consommation des eaux,... etc.

c- Développement agricole :

L'évolution a été aperçue également au niveau des activités exercées par les habitants de la ville d'El-Oued identiquement aux autres communes de la wilaya; une véritable révolution agricole s'est développée les dernières années, encouragée par les aides et les appuis de l'état, par des aides financières, directes à travers des dons, ou indirectes par une fourniture du matériel et équipements agricoles, des engrais... ; ainsi que des facilités telle que l'exonération des

impôts pendant les premières années d'investissement, la cession des terrains aux bénéficiaires des jeunes investisseurs,...



Fig.V.2 : Développement de l'agriculture - Irrigation par aspersion

Tab.V.2 : Irrigation des petites et moyennes hydrauliques (en hectares)

Irrigation PMH	2005	1^{er} trimestre	2^{er} trimestre	3^{er} trimestre	4^{er} trimestre	2006	Ecart 2005/2006
Gravité	31569	31551	0	2	9	31562	-7
Aspersion	3578	3644	120	41	76	3881	303
Localisé	9029	9898	220	57	32	10207	1178
Total Irrigation PMH	44176	45093	340	100	117	45650	1474

(DSA d'El -Oued 2006)

Cette situation s'interprétait par une augmentation persistante des besoins en eau, en conséquence, une mobilisation plus importante des ressources hydriques de la région c'est-à-dire le Pontien (CT) et l'Albien (CI), en supplément de la nappe phréatique.

d- Exploitation des nappes profondes.

e- Les systèmes d'assainissement utilisés :

e.1. le réseau d'assainissement :

La zone n'est pas encore dotée d'un réseau d'assainissement à l'exception de quelques communes où le raccordement n'est pas disponible pour tous les habitants ; il est limité à 4.55 % seulement pour la wilaya, et c'est uniquement pour les eaux usées domestiques.

e.2. le rejet des eaux usées :

Les eaux rejetées, qui en apparence stagnent à cause de la saturation du sol sableux et l'affleurement des eaux souterraines à cet endroit –tandis qu'elles s'infiltrent en grande partie, pour rejoindre la nappe phréatique, à l'exception de la faible quantité qui s'évapore.

Il est vrai que, cette zone présente une similitude d'un procédé d'épuration biologique des eaux usées, qui est les filtres à sables, et donc le fonctionnement repose sur le principe d'infiltration des effluents pollués à travers les grains de sables ; néanmoins ces filtres sont réalisés dans des conditions différentes du point de vue dimensionnement, mode d'alimentation des bassins, et différentes phases de traitement,...

Les performances épuratoires sont toutefois limitées, car le massif filtrant est en permanence inondé et fonctionne en phase anaérobique.

e.3. les systèmes traditionnels (fosses septiques) :

Le reste 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 ») dont le nombre est de 38700 à travers le territoire de la wilaya ; 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 la principale cause de la remontée des eaux souterraines, 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.

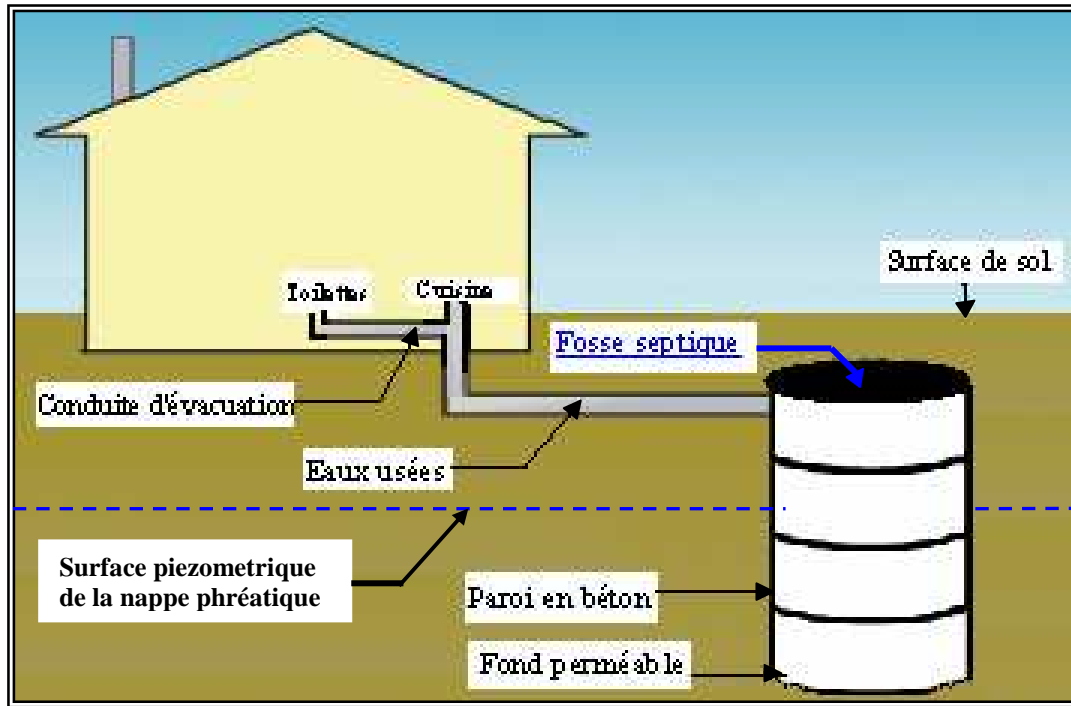


Fig.V.3 : Coupe schématique montrant l'évacuation des eaux usées dans les fosses septiques

II.2. LES CONSEQUENCES :

II.2.1. Impact sur les oasis et l'activité agricole :

L'inondation des Ghouts par les eaux de la remontée souvent polluées, a causé l'asphyxie des palmiers, qui représentent le symbole et la richesse de la région, et la principale source de vie pour les habitants du Souf.

« Ainsi, en une décennie, on a assisté à la mort d'un paysage agraire qui avait été élaboré par des générations de Soufis, au prix d'un travail énorme, et qui faisait la beauté de cet espace saharien » (Marc COTE)

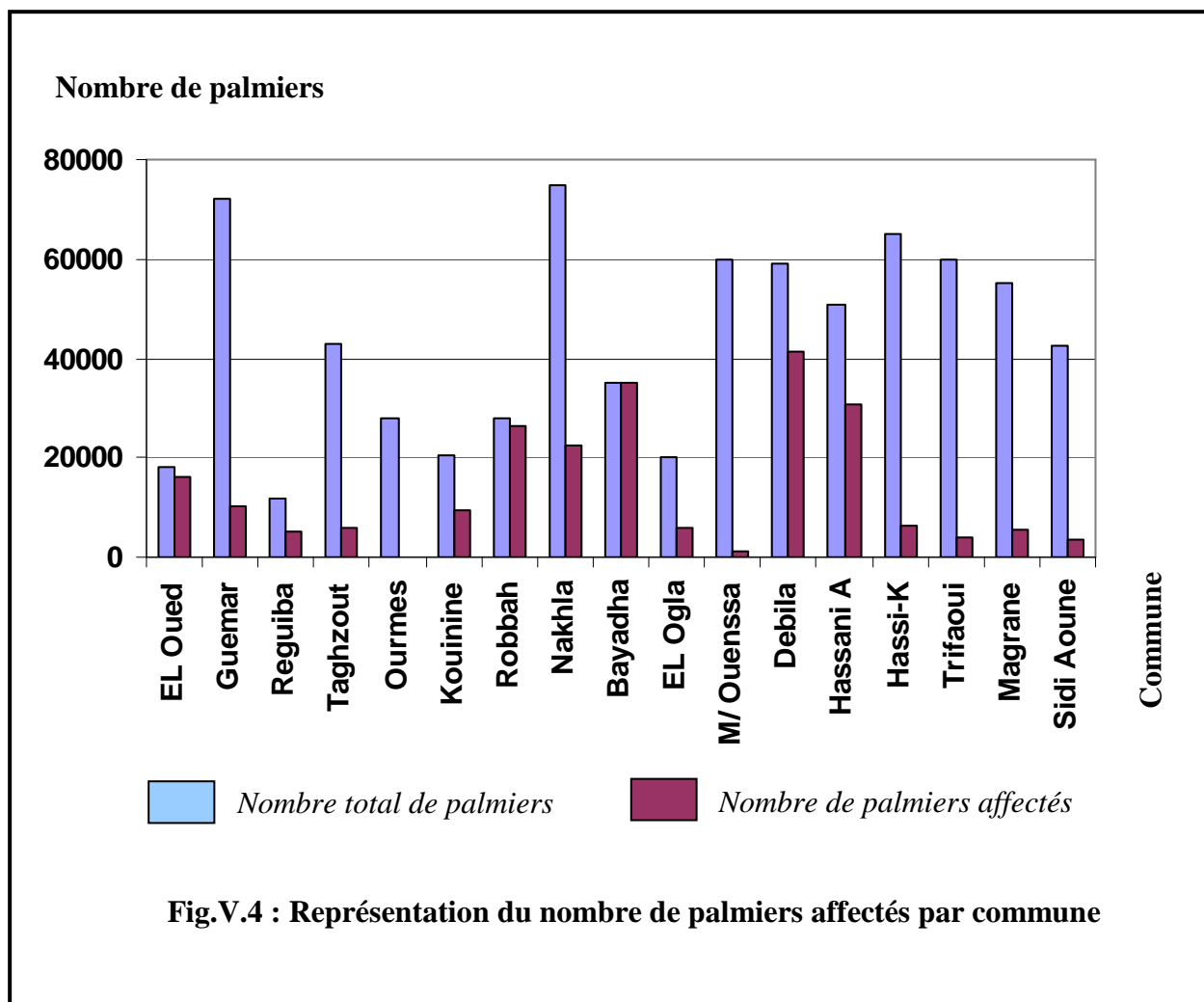
Cette situation est l'origine de l'abandon des oasis, et même de l'activité agricole par certains individus, les propriétaires se retrouvent dans l'obligation de chercher une autre source de vie, souvent les grandes agglomérations sont leurs principales destinations, cela évoque au même temps d'autres problèmes d'ordre social, tels que l'augmentation du taux de chômage, de la demande de logements, la scolarité,... etc.

Le détail du nombre de palmiers touchés, ainsi que la superficie agricole utile (S.A.U) affectée, est donné respectivement dans les tableaux ci-dessous :

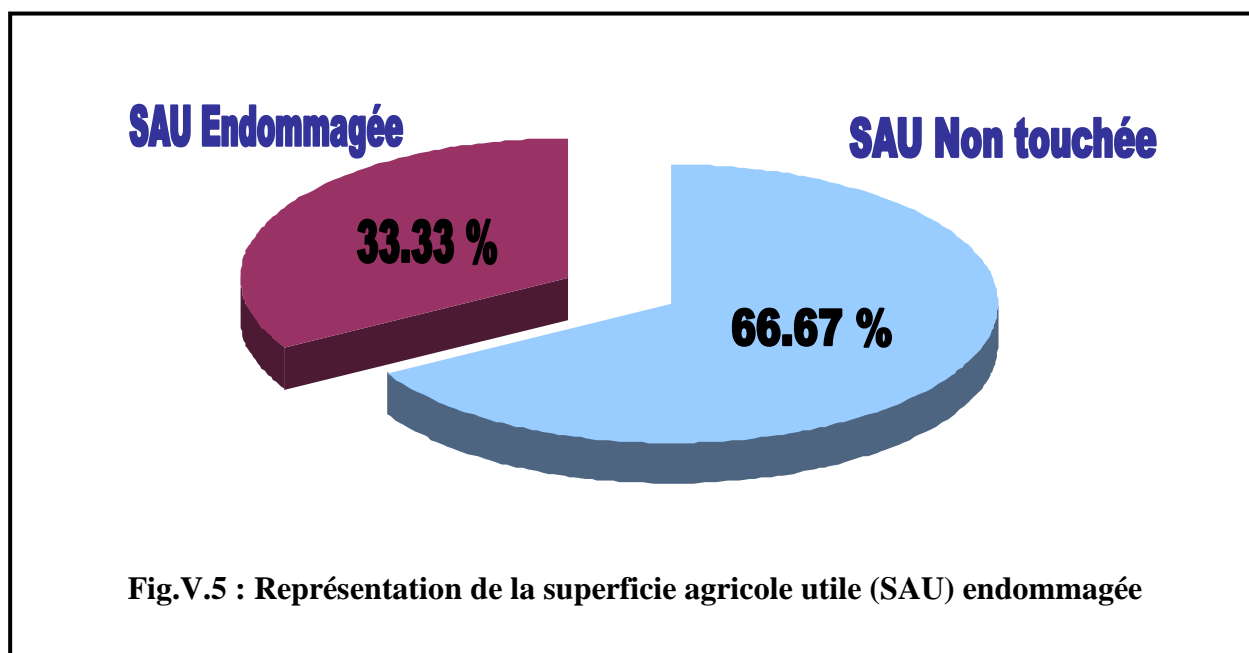
Tab.V.3: Récapitulatif des dégâts de la remontée

Commune	Nombre de palmiers total	Nombre de palmiers affectés	Pourcentage de palmiers affectés	Evaluation des pertes (500 DA/palmier)
El-Oued	17975	16178	90	8089000
Guemar	72300	10400	14	5200000
Reguiba	11700	5000	04	2500000
Taghzout	43000	6000	14	3000000
Ourmes	28000	/	/	/
Kouinine	20400	9604	47	4802500
Robbah	28175	26500	95	14087500
Nakhla	75000	22500	30	11250000
Bayadha	35000	35000	100	17500000
EL Ogl	20000	6000	30	3000000
Mih Ouensa	60000	1037	02	5185500
Debila	59300	41510	70	2075500
Hassani Abdelkerim	51000	30600	60	15300000
Hassi-Khalifa	65000	6500	10	3250000
Trifaoui	59750	4128	07	2091000
Magrane	55000	5500	10	27500000
Sidi Aoun	42600	3408	08	17040000
Total	742525	231540	34.76	141871000

(DSA d'EL Oued. 2005)



Ainsi que la superficie agricole utile (SAU) endommagée représente le tiers de la (SAU) total, comme le mentionnée la figure suivante :



Tab.V.4 : Récapitulatif des (S.A.U) endommagées par la remontée

Commune	S.A.U totale (ha)	S.A.U endommagée (ha)	Pourcentage
EL Oued	180	162	90
Reguiba	1170	150	13
Taghzout	430	60	14
Ourmes	280	/	/
Kouinine	204	96	47
Robbah	265	252	95
Nakhla	750	225	30
Bayadha	350	350	100
EL-Ogla	200	60	30
Mih Ouenssa	600	10	02
Oued Allenda	35	/	/
Debila	593	415	70
Hassani Abdel Kerim	510	306	60
Hassi-Kkalifa	650	65	10
Trifaoui	597	42	07
Magrane	550	55	10
Sidi Aoune	426	34	08
Guemar	723	104	14
TOTAL	8513	2386	33.33

(DSA d'El-Oued. 2005)

II.2.2. Impact sur l'environnement et l'activité touristique :

Ces impacts sont encore plus nuisibles, car ils altèrent la vie humaine, ainsi que les richesses naturelles de la région (hydriques et paysagères). Certains habitants profitent de l'état dégradé des Ghouts inondés, et ils les utilisent pour rejeter leurs déchets domestiques – solides et liquides-, parfois même des déchets industriels issus des industries de transformation (plastique, carrelage, menuiserie,...).

Les cratères situés en zones urbaines, se sont transformés malheureusement en « Ghouts poubelles », et ils sont devenues une véritable source de nocivité qui menace les citoyens et nuit à leur cadre de vie, à cause de la prolifération des moustiques, et la propagation des odeurs indésirables provenant des eaux polluées et des ordures, notamment lorsque ces dernières sont brûlées, en vue de les éliminer.



Fig.V.6 : Un Ghout poubelle : dégradation des Ghouts par les déchets domestiques.

II.2.3. Impact sur le secteur sanitaire :

Il faut signaler aussi les risques de transmission des maladies, dans ces endroits, dus aux possibilités de contact entre la nappe phréatique et les nappes profondes, et aux autres utilisateurs ou non de ces eaux ; à titre d'exemple, au début de l'apparition du problème de la remontée, certains Ghouts ont été utilisés par quelques enfants et adolescents pour la baignade en été, où les températures peuvent dépasser les 50°C facilement.

Encore plus dramatique que ça, on s'interroge sur le risque de la contamination de la nappe phréatique, et même sa pollution, par manque de traitement des eaux usées infiltrées, surtout que cette nappe est encore utilisée pour l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation, dans de nombreuses zones rurales de la wilaya.

Le Ghout, cratère où sont plantés les palmiers, a été transformé en réceptacle d'eaux stagnantes, pleines de déchets divers, et source d'épidémies avec les marécages. On parle d'un million de palmiers perdus. Des dizaines de personnes se sont noyées dans les Ghout utilisés comme bassins en été. La remontée des eaux polluées arrive à l'intérieur même des habitations dans les quartiers dépourvus de réseaux d'assainissement. L'humidité y est très élevée.

II.3. INTERACTIONS ENTRE CES DIFFERENTS SECTEURS :

L'interprétation globale des scénarios existaient dans la région avec une vue historique montrent bien la mauvaise gestion et la négligence des différents acteurs intervenants dans cette unité de ressource en eaux (agriculteurs, les élus locaux, citoyens...etc) qui conduisent la région à un grand problème de la remontée de la nappe phréatique qui a été un vrai obstacle devant les différents axes de développement durable qu'on peut les résumer dans les secteurs suivants: social, agricole, environnemental et touristique.

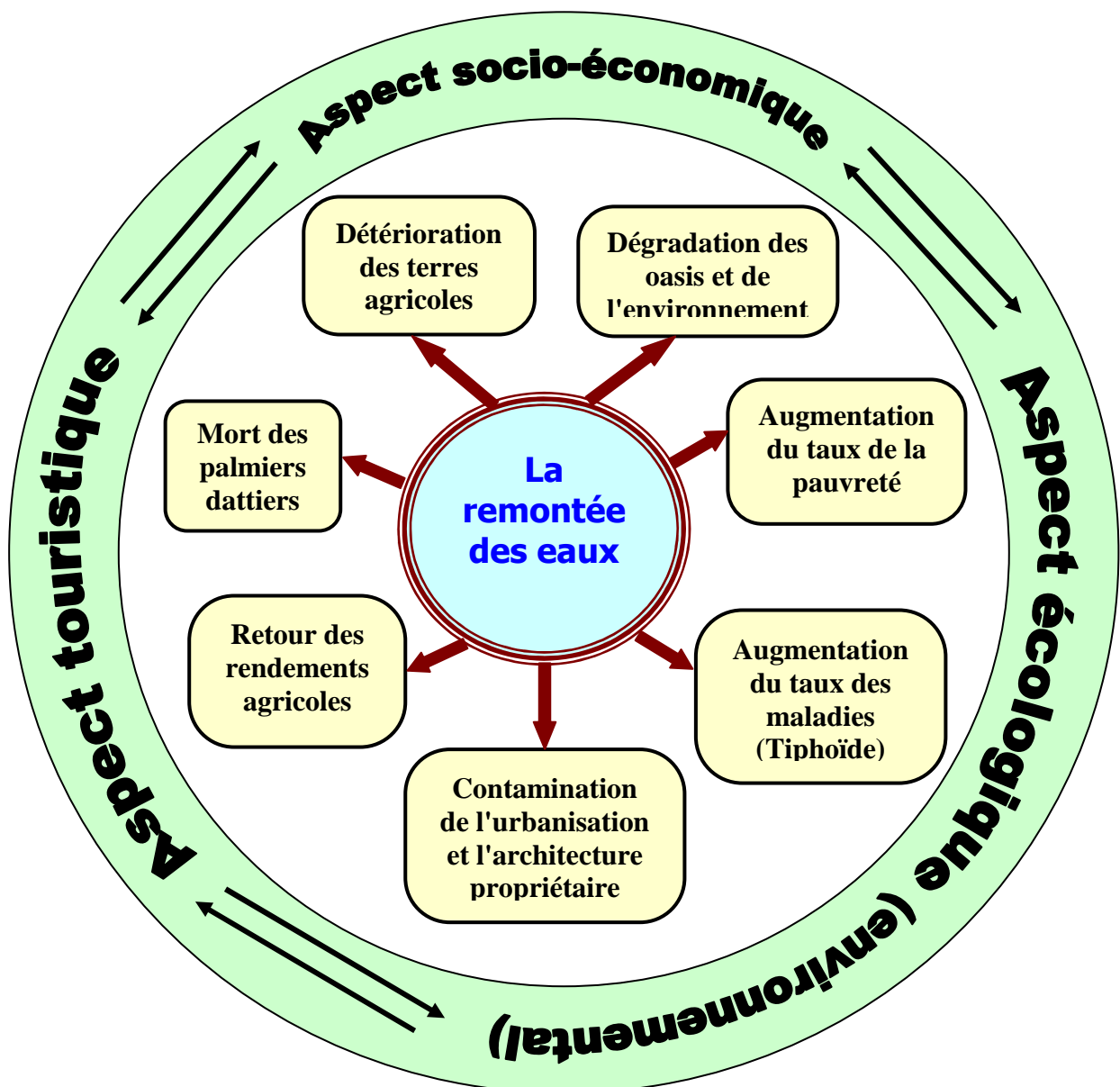


Fig.V.7 : La remontée des eaux : noyau central des obstacles devant les axes de développement durable

III. CONFRONTATION RESSOURCES – BESOINS EN EAUX :

La confrontation entre ressources - besoins est un indicatif révélateur et très significatif qui nous oriente quant à l'avenir de la politique de l'eau que nous menons afin d'atténuer l'effet du déficit ou la surexploitation de la ressource.

Dans la vallée de 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 absente.

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 2006 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, moyen et à long terme.

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 : $0.13 \cdot 10^6$ Milliards hm^3 .
- Nappes profondes : 4.90 Milliards hm^3 (soit 2.7 Milliards hm^3 pour le CT et 2.2 Milliards hm^3 pour le CI).

Total : 4.90 Milliards hm^3 .

L'état actuel de la mobilisation des nappes souterraines est de 470 hm^3 par an à travers toute la Wilaya, mais seulement 405.08 hm^3 sont exploitées réellement (soit 86.19 % des ressources mobilisables).

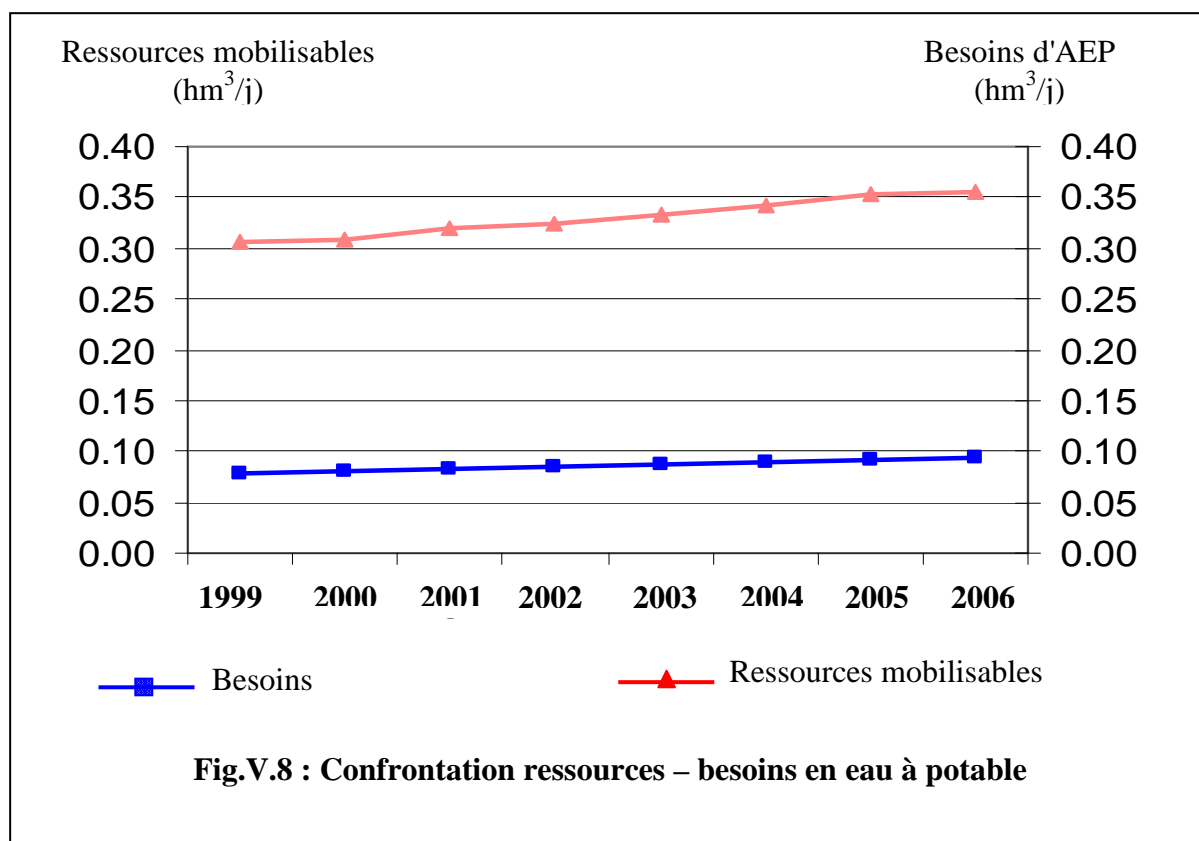
III.1. LES DIFFERENTS USAGES DE L'EAU :

a. L'alimentation en eau potable (AEP) :

Les prélèvements pour l'alimentation en eau potable sont principalement effectués à partir de 120 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 m^3/j qui atteint 355710.71 m^3/j en 2006 où les ressources mobilisables à but d'alimentation en eau potable représente 8.71 % du total de la mobilisation.

Les besoins en eau domestique est évaluée à 78439.29 m^3/j en 1999 qui s'accroît jusqu'à 93855.00 m^3/j en 2006 avec une moyenne d'augmentation annuelle de 2202 m^3/j .

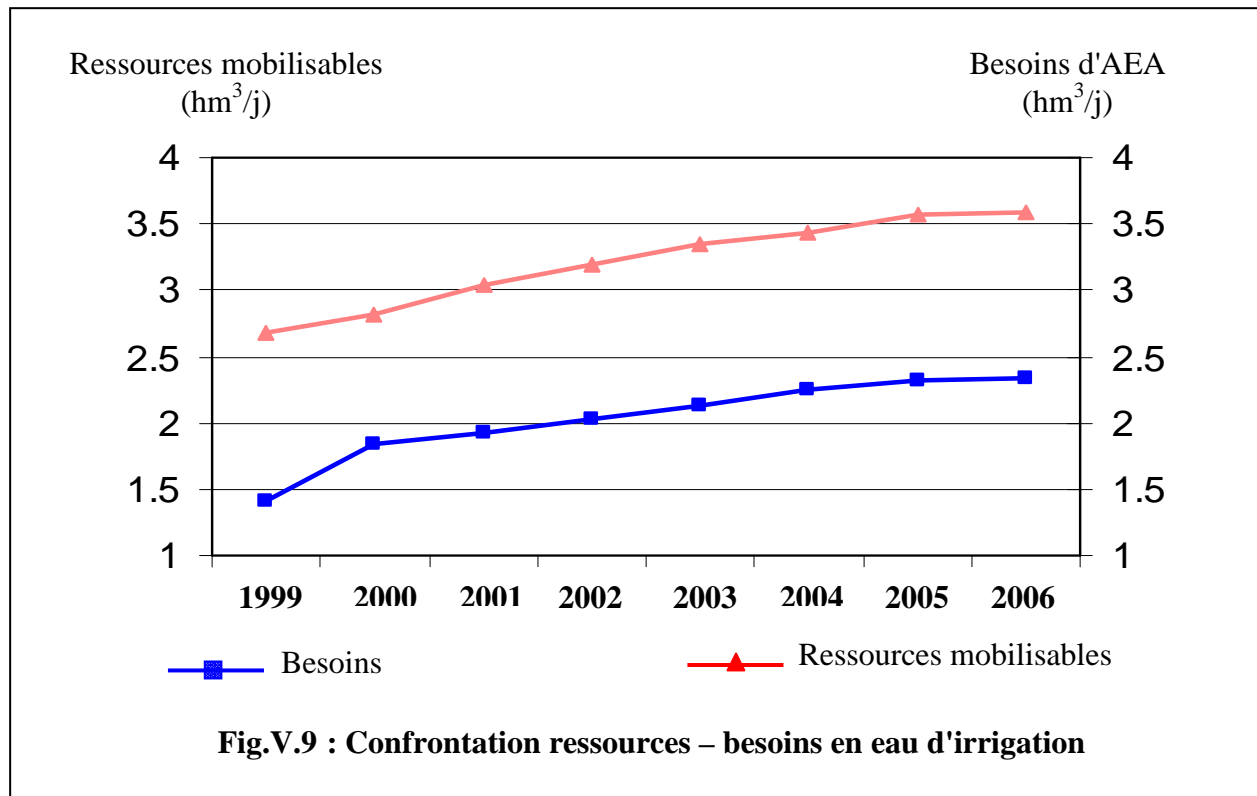


b. Les usages agricoles de l'eau (AEA) :

Dans le Sud algérien, la ressource en eau est fortement exploitée par l'irrigation, la culture de la pomme de terre dans la zone d'étude 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 51456 ha en 2006, sachant que les besoins en eau 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) qui sont en nombre de 575 actuellement (septembre 2007), et surtout de nombreux puits dans la nappe phréatique (autour de 14600 puits).

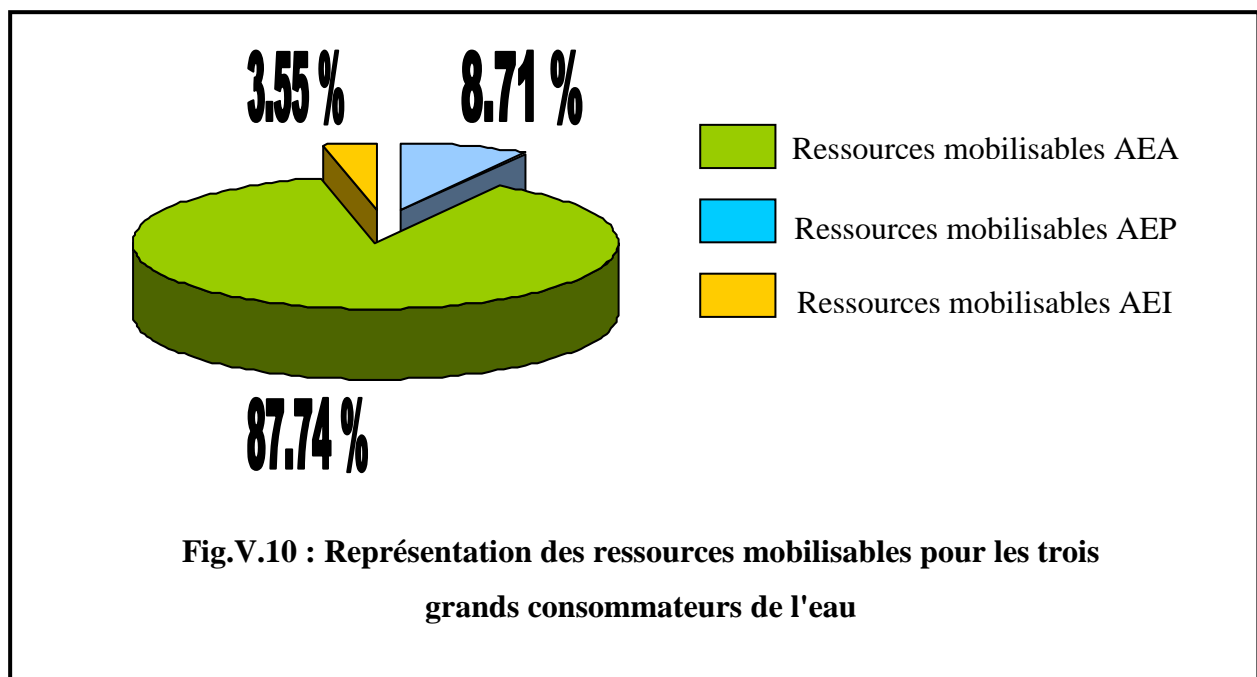
L'agriculture, qui utilise plus de 87 % des ressources en eau mobilisées représente la part du lion (Fig.V.10), augmente de 2679696 m³/j en 1999 à 3354307.2 m³/j en 2003 pour atteindre 3592080 m³/j en 2006. Les besoins en eau de ce secteur sont évalués à 2337651.4 m³/j en 2006.

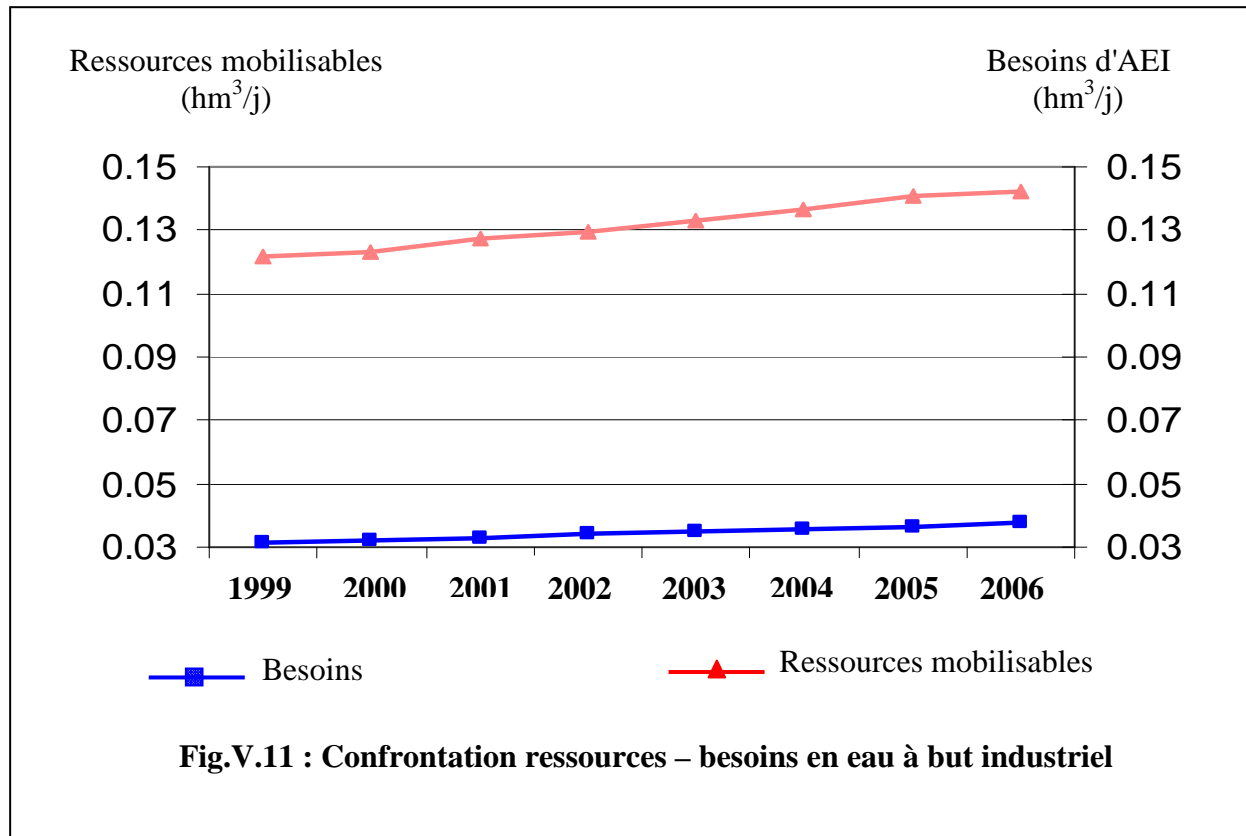


c. Utilisation industrielle de l'eau (AEI) :

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 3.55 % 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 2006 à 37542 m³/j.





III.2. RESSEMBLANCE DES DONNEES RESSOURCES / BESOINS :

a. Ressources :

Les ressources mobilisables pour les différents usagers (domestiques, agricoles et industriels) dépassent 1.13 km³ en 1999 qui atteignent 1.49 km³ en 2006.

Tab.V.5: Récapitulation sur les ressources et les besoins en eaux de différents secteurs en m³/j (1999-2006).

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

b. Besoins :

La population de la vallée de Oued-Souf est de 363110 habitants en 1998, sur la base du taux d'accroissement démographique (3.07 %), le nombre s'accroît probablement à 462484 habitants en 2006 où les besoins ont dépassé 0.9 Milliards m³. Les besoins par habitant de cette année se répartissent comme suit :

- Besoins domestiques : 74.13 m³/an.
 - Besoins industriels : 29.30 m³/an.
 - Besoins agricoles : 1845.18 m³/an.
- Total : 1948.61 m³/an.

Traduisant par une dotation moyenne journalière de 204 l/j/hab.

Mais la consommation réelle ou les ressources exploitables se situent à un état intermédiaire, entre les ressources mobilisables et la demande projetée.

Tab.V.6 : Evaluation des ressources exploitables (en hm³)

Année	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Ressources exploitables (hm³)	978	1023	1095	1145	1202	1233	1281	1287

(Service de l'hydraulique d'El-Oued 2007)

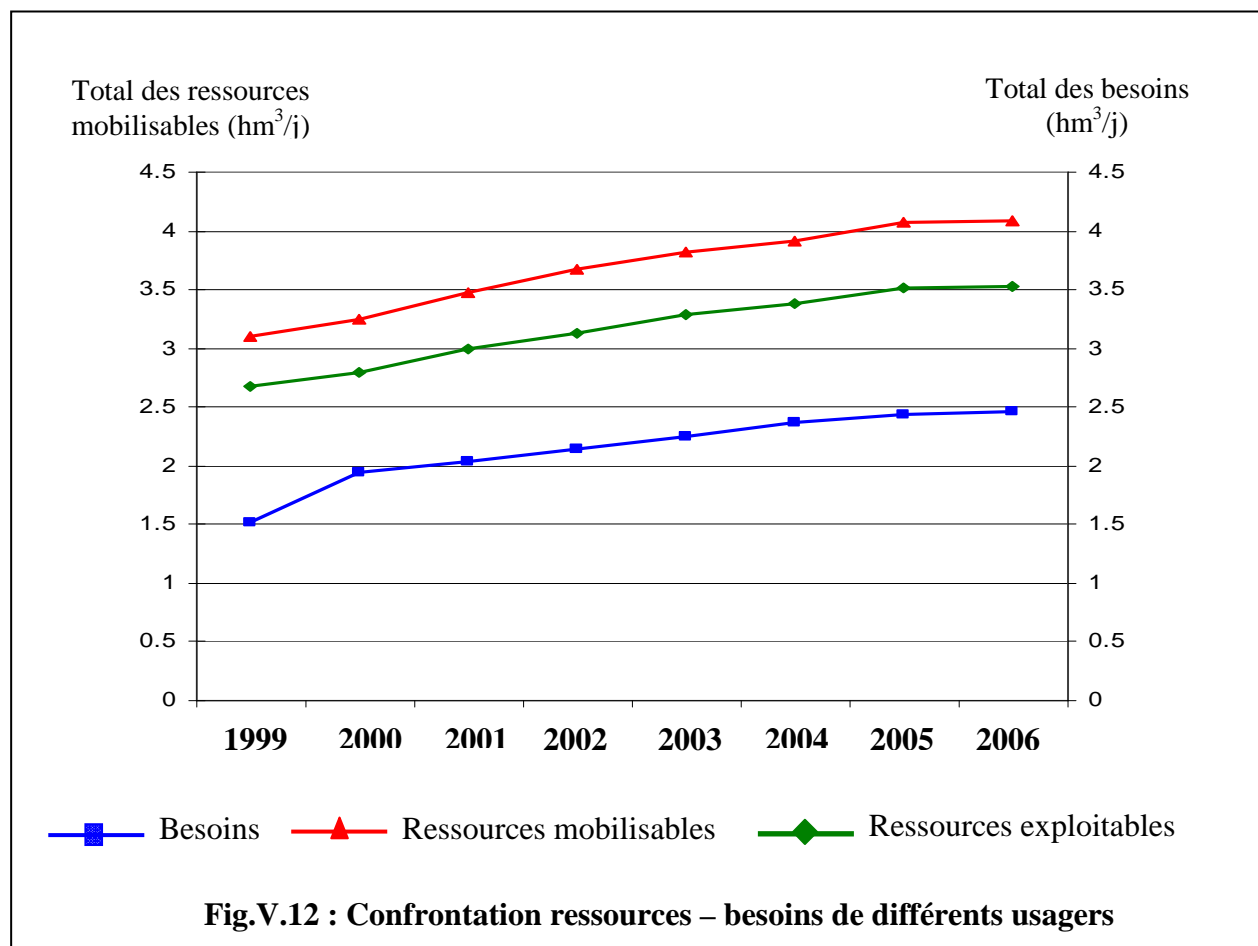


Fig.V.12 : Confrontation ressources – besoins de différents usagers

III.3. PREVISIONS :

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 2010) :

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 38.86 hm³. Sur le plan agricole, le prolongement de la tendance observée au cours des huit années précédentes montre un accroissement de la demande en eau allant jusqu'à 1040 hm³. Le nombre d'établissements industriels se poursuit à la même allure, nécessitant pour satisfaire leurs besoins environ 15 hm³.

b. Scénario 02 (Horizon 2025) :

Sur le plan agricole, toujours dans le scénario de continuité des précédentes années, les exploitations s'agrandissent et, les besoins vont s'accroître à 1760 hm³. L'augmentation de la pression démographique (évaluée à 821504 habitants) générerait une demande de 61.17 hm³ en eau potable. Dans le même scénario, les établissements industriels utiliseraient un volume d'eau qui dépasse les 24.6 hm³.

c. Scénario 03 (Horizon 2040) :

La poursuite des tendances passées aboutit à une croissance démographique globale de 1292986 habitants qui nécessiteront pour satisfaire leurs besoins un volume de 96.27 hm³. Du même, les superficies irriguées auront une demande d'environ 2.48 km³ d'eau pour répondre à leur besoins croissante ainsi qu'à ce temps, la demande en eau industrielle va s'accroître jusqu'à 34.6 hm³.

Tab.V.7 : Résumé des résultats obtenus par la prévision.

N° de scénario	Population	Superficie irriguée (ha)	Besoin d'AEP (hm ³)	Besoin d'AEA (hm ³)	Besoin d'AEI (hm ³)	TOTAL (hm ³)
Scénario 0 (année 2006)	462484	51456	34.26	853.24	13.70	901.20
Scénario 01 (Horizon 2010)	521945.9	63364	38.86	1040	15	901.20
Scénario 02 (Horizon 2025)	821504	10725	61.17	1760	24.6	1093.86
Scénario 03 (Horizon 2040)	1292986	150944	96.27	2480	34.6	1845.77

d. Discussion des résultats obtenus :

Dans le scénario 1, 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.

Au cours du deuxième scénario, l'accroissement démographique et le développement économique conduisent à des demandes supplémentaires d'eau afin d'être satisfaites. En effet, la région contient d'énormes quantités d'eau (mobilisable et exploitable).

Dans le troisième scénario et suite à une demande croissante de l'eau, on obtient un état de satisfaction de la demande des différents utilisateurs de l'eau, malgré une hausse continue de la population et de leurs besoins domestiques, agricoles et industriels.

Cela s'explique par le fait que le bilan ressources – besoins est excédentaire même à long terme (2040), et que les besoins croissants vont être compensés toujours par le volume d'eau exploitable.

Mais le caractère fossile des nappes de la région pose le problème de la durabilité de leur exploitation, d'autant plus que cette région est de plus en plus considérée comme une région de mise en valeur par l'eau, puisque la surface irriguée a plus que doublé en 30 ans atteignant 150944 hectares en 2040.

D'après ces chiffres, le bilan restera positif (volume exploitable est supérieur à la demande). Mais il nous faut 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.

III. LA NECESSITE DE FAIRE APPEL À UNE NOUVELLE STRATEGIE DE GESTION POUR LA LUTTE CONTRE LA REMONTEE DES EAUX :

III.1. LES PREMIERS PAS... VERS UNE GESTION RATIONNELLE DES RESSOURCES EN EAUX :

A l'échelle communale, à partir de l'an 2001, les élus locaux ont pris des mesures concrètes qu'ont été appliquées au début au niveau de la commune de Guemar puis exécutées sur tout le territoire de la wilaya, parmi ces mesures :

- La réduction des horaires d'allocations d'AEP (02 heures/24 heures au lieu de 24 heures/24 heures pour chaque cité);
- La création de nouveaux puits améliorés dans la nappe phréatique pour l'agriculture ;
- L'arrêt d'exécution des nouveaux forages pour l'irrigation dans le CT et le CI remplacés par des puits dans la nappe phréatique;
- Développement de zones agricoles irriguées depuis la nappe phréatique :

Le développement d'exploitations agricoles irriguées depuis la nappe phréatique dans ou aux alentours des zones touchées joue un rôle important pour stabiliser ou inverser la tendance à la remontée, ces exploitations rejetant dans l'atmosphère 10 000 à 15 000 m³ d'eau/ha par an.

- Remblayage des Ghouts:

Le remblayage des Ghouts ennoyés n'est pas une mesure pour inverser le phénomène, mais permet de limiter la prolifération de moustiques et de décharges en milieu urbain. Il évite que l'eau de la nappe se charge en sels par évaporation.



Fig.V.13: Ghout récemment remblayé

La mise en valeur de nouveaux périmètres agricoles (Fig.V.14) (irrigués par les méthodes modernes à savoir l'aspersion et la localité) a eu un impact positif remarquable par une stabilisation ou même une baisse du niveau piézométrique dans certaines des zones affectées comme le cas de la commune de Guemar.



Fig.V.14 : Nouveaux périmètres agricoles autour de la ville d'El-Oued

Il a noter que ces mesures n'étaient pas pu appliquer qu'avec la collaboration des associations des cités et la participation intense des personnels locales dans l'application et les prises des décisions de ces mesures.

III.2. LA GIRE... NOUVELLE VISION VIA LE PROBLEME :

Dans la vallée d'El Oued, c'est donc la frénésie du forage à la recherche d'eau qui a conduit à une catastrophe et seuls les plus optimistes pensent qu'elle est encore réparable aujourd'hui.

Le gouvernement a décidé de s'attaquer sérieusement ce grave problème de remontée des eaux qui affecte la région, pour sauver la vallée au triple plan socio-économique, écologique et touristique, 150 milliards de centimes ont été accordés à la wilaya d'El Oued pour mener 11 opérations urgentes dans le cadre du programme du gouvernement visant à réduire le danger de la remontée des eaux. Entre autres objectifs : bouchage de 200 Ghouts dont se charge le ministère des travaux publics, bouchage de puits et extension du réseau d'assainissement de la ville aux "mille coupes".

A cet effet, les 18 communes représentées la vallée d'Oued Souf, sont concernées par les opérations initiées dans le cadre d'un projet d'assainissement (doté d'une enveloppe financière de 26 milliards de dinars pour un délai de 34 mois) visant à la lutte contre la remontée des eaux.

III.2.1. DIAGNOSTIC DU PROBLEME ET ESTIMATION DE BILAN :

La recharge de la nappe phréatique est assurée par :

- les pluies torrentielles, viennent s'ajouter depuis quelques années;
- les eaux d'irrigation, provenant des nappes profondes (Pontien Barrémien);
- les eaux de rejets dues à l'inexistence d'un réseau d'assainissement et d'un exutoire naturel.

a. Le bilan d'eau :

L'organigramme ci-dessous montre bien l'excès d'alimentation de la nappe phréatique par de nombreuses entrées conduisant à la surcharge et l'affleurement de son niveau à la surface, par contre la seule composante du deuxième côté de l'équation de bilan d'eau est l'évapotranspiration (ETR) voir l'inexistence d'une exutoire naturelle capable d'évacuer les quantités énormes des eaux rejetés dans cette nappe libre et qui sont proviennent des divers usages : domestique, agricole et industriel et d'origine différente (CT et CI et la nappe phréatique eu même).

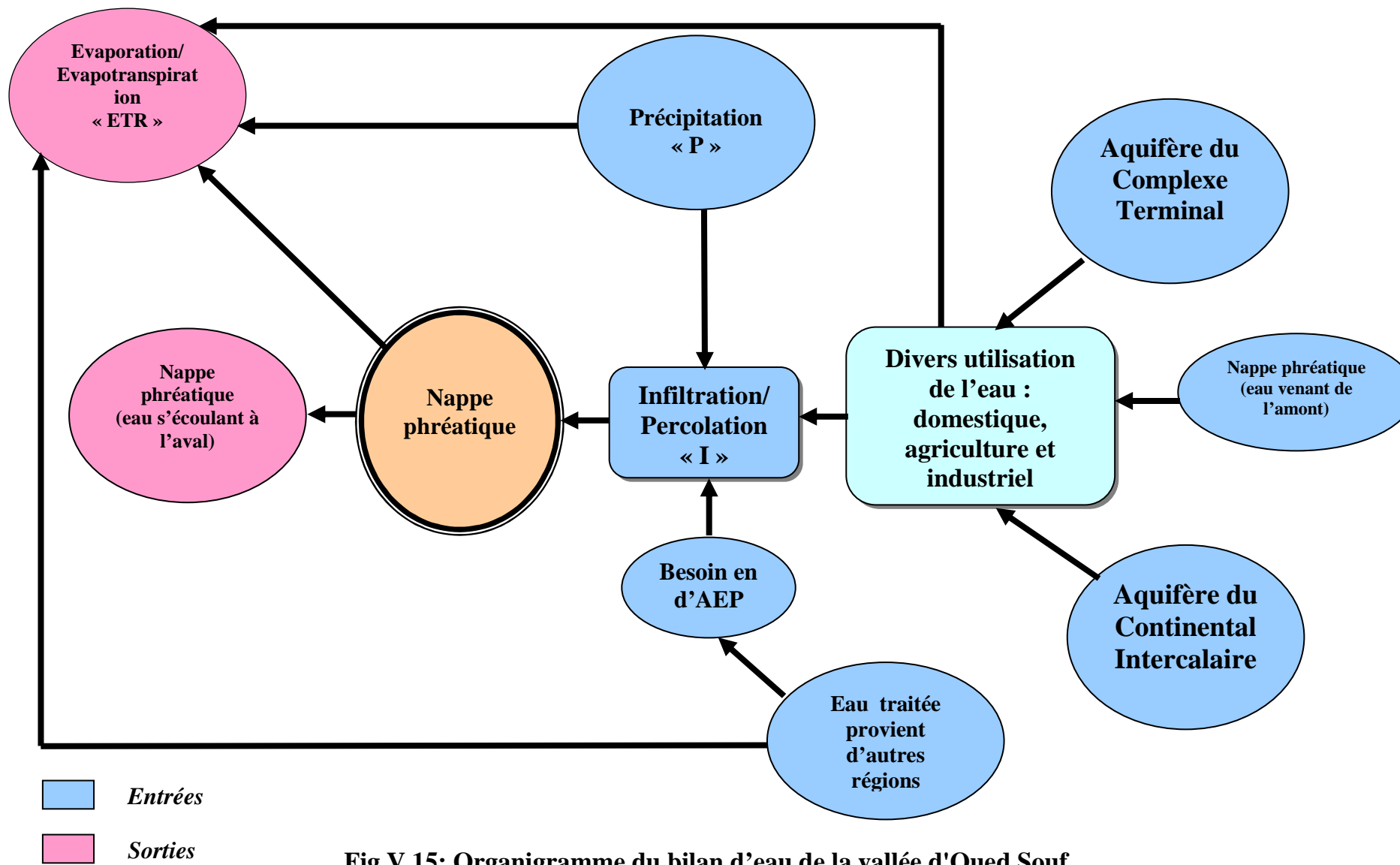


Fig.V.15: Organigramme du bilan d'eau de la vallée d'Oued Souf.

Ce bilan se traduit par le fait que l'eau qui entre dans la zone par l'écoulement naturel, pluviométrie ou débit des forages profonds est évaporée ou s'écoule à l'aval. Le solde positif ou négatif s'accumule dans la nappe ou est prélevé sur ses réserves.

Tab.V.8 : Bilan d'eau de la zone d'étude (en 2001)

	Entrées (m³/jour)	Sorties (m³/jour)
Apport amont	13 700	-
Apport des forages au CT	76 543	-
Apport des forages au CI	28 992	-
Déficit (déstockage de la nappe phréatique)	348 063	-
Écoulement vers l'aval	-	11 322
Évapotranspiration des surfaces cultivées et des Ghouts	-	435 000
Évaporation par les animaux	-	2 651
Évaporation par les habitants et les ménages	-	11 750
Évaporation par les surfaces d'eau libres et humides	-	6 575
Totaux	467 298	467 298

(BG. 2007)

En 2001, le bilan d'eau au niveau de la ville d'El-Oued était le suivant (hors écoulement naturel de la nappe, qui en première approximation peut être considéré comme équivalent à l'entrée et la sortie):

Tab V.9: Bilan d'eau de la ville d'El Oued en 2001

Entrées (m³/jour)		
Forages C.I.	El Oued DHW 101	17 928
	Chouhada DHW 102	8 298
Forages C.T	Chott (Soger Sud)	2 115
	Chouhada	2 145
	Lasnam	1 730
	Sidi-Mestour	555
Total		32 771

Sorties (m³/jour)	
ETR (30 l/j/hab) humain et végétation urbaine	3 427
Drainage provenant de l'hôtel Louss	1 642
Drainage provenant de la station 10	3 840
Eaux usées	1 677
Totaux	10 586

(BG. 2007)

Les entrées qui sont 32771 m³/jour correspondent à une dotation de 287 l/jour/hab (La population de la ville d'El-Oued en 2001 est 114233 habitants)

La comparaison de ces données avec celles relatives à la situation de l'an 2000 permet de mieux voir la destination des eaux mobilisées, ainsi que la demande en eau marquée par l'augmentation du nombre des forages :

- Le nombre des puits réalisés dans la nappe phréatique est 10012, et ils sont destinés à l'irrigation, et rarement pour l'alimentation en eau potable dans les zones rurales.
- 96 forages sont réalisés dans des deux nappes profondes (CT et CI), mais seulement 86 sont exploitées; 71 sont destinés à l'alimentation en eau potable et 15 pour l'irrigation.
- La quantité totale d'eau mobilisée quotidiennement pour l'alimentation en eau potable est de 140000 m³/jour qui correspond à une dotation moyenne journalière de 360 l/j/habitant (Nombre d'habitation est estimé de 385677 en 2000).

On constate que la dotation moyenne journalière en eau potable est très élevée, et qu'elle dépasse de loin toutes les normes reconnues; sachant que la dotation nationale n'excède pas les 150 l/j/hab. Ceci est bien démontré dans le tableau ci-dessous :

Tab.V.10: Dotation moyenne journalière par commune (en 2000)

La commune	Le taux de raccordement au réseau d'alimentation en eau potable (%)	La dotation moyenne journalière (l/j/habitant)
Kouinine	98	464.30
Guemar	100	400.80
Ourmes	100	687.83
Taghzout	91	462.02
Reguiba	82	378.04
Debila	88	486.69
El-Oued	98	462.40
Hassani Abdelkerim	90	387.91
Hassi Khalifa	97	450.87
Trifaoui	73	338.09
Magrane	91	302.12
Sidi Aoun	92	330.73
Robbah	85	219.01
El-Ogla	90	700.38
El-Nakhla	80	270.49
Mih Ounsa	65	227.15
Oued Alenda	45	562.39
Bayadha	75	168.38

(Service de l'hydraulique d'El-Oued 2006)

Il est nécessaire de noter que ces valeurs élevées de ces dotations sont parfois causées par les fuites et les pertes des réseaux de distribution des eaux potables, en raison du mauvais état et la vétusté de certains de leurs tronçons, causant ainsi, le gaspillage inconsidéré d'une source d'eau rare, non renouvelable et d'origine fossile.

b. Quantités d'eau à drainer :

La quantité d'eau à drainer ou, l'eau responsable à la remontée de la nappe est la différence entre les entrées et les sorties soit 22 185 m³/j (8 097 525 m³/an), rapportée à la surface bâtie (980 ha), représente une lame d'eau de 0,8 m (recharge annuelle). Celle-ci s'infiltré dans le sous-sol et fait monter le niveau de la nappe phréatique.

Pour l'éviter, il faudrait éliminer ces 22 185 m³/jour (260 l/s) par drainage ou évapotranspiration. Ce qui correspond à l'évapotranspiration de 600 hectares de superficies agricoles (13000m³/année/hectare) soit à une surface équivalente au 2/3 de la surface de la ville.

L'eau produite par les forages au CT et au CI qui n'a été reprise ni par le réseau d'assainissement, ni par le drainage, ni par l'évapotranspiration s'infiltré sous la ville à raison de 22185 m³/jour (260 l/s). La plus grande part s'écoule dans le sous-sol en direction des points bas et du Chott où elle s'évapore. Le solde, environ 10% qui n'a pas pu s'écouler (à cause de la faible pente et malgré une perméabilité relativement élevée) fait monter le niveau de la nappe de 0,5 m par an.

Une ceinture verte ou des plantations agricoles aux alentours de la ville peuvent contribuer à éliminer une partie de l'eau excédentaire, dans la mesure où ces plantations sont irriguées à partir de l'eau drainée sous la ville.

III.2.2. PLANIFICATION D'UN MEGA-PROJET A DIVERS ASPECTS :

La nouvelle stratégie appliquée dans la vallée d'Oued-Souf est classée dans le concept de la gestion des risques associés aux aspects quantitatifs des ressources en eaux due au surplus d'eau (hydromorphie).

L'ordre de service (ODS) de la première tranche de ce projet a été notifié au mois d'octobre 2005, et cela a été suivi par l'installation des chantiers. Deux entreprises sont à pied d'œuvre pour sa réalisation. Le groupement algéro-chinois, Sinohydro-Cosider TP, s'occupera du réseau de drainage, du réseau d'assainissement, ainsi que du collecteur principal. L'autre entreprise, GCB (génie civil, bâtiment, filiale de Sonatrach), réalisera la station d'épuration. Le suivi des travaux est assuré par un bureau d'étude algéro-suisse BG (Bonard et Gardel).

De cet effet, le projet fondé essentiellement sur deux volets:

- Schéma de drainage.
- Schéma d'assainissement.

a. Schéma de drainage :

Le drainage vertical est constitué d'un réseau de 57 forages de 21 à 40 mètres de profondeur, équipés de pompes submersibles pouvant débiter 6 l/s, à une distance de 500 mètres entre eux, avec un réseau de conduites de 34 km,

Le bilan d'eau sera équilibré en éliminant le surplus par pompage dans ces forages répartis sous la ville d'El-Oued, à condition que:

- Si l'eau est de bonne qualité, elle peut être réutilisée localement pour des périmètres irrigués.
- Le rabattement pourrait être suffisant pour autoriser l'assainissement autonome.
- Le sous-sol peut être utilisé, dans certaines limites, pour stocker l'eau en période de faible demande en saison hivernale, à condition de déstocker en période estivale.

Le drainage horizontal est assuré par des drains horizontaux de tel sorte que:

- L'eau drainée sous la partie haute de la ville est rejetée directement dans le réseau d'assainissement où elle se mélange avec les eaux usées.
- Les eaux de basses parties (Chott et Sidi Mestour) sont salées, leur drainage est collecté dans un réseau séparée et rejetées vers le Nord-Ouest par un conduite distincte de celles des eaux usées.
- L'eau qui ne serait pas utilisée pour l'irrigation devrait être évacuée vers le Nord, par un branchement au-delà de la station d'épuration au prix d'un surdimensionnement de la conduite d'évacuation des eaux d'assainissement et des pompes.
- L'eau collectée est évacuée vers le Nord par la conduite de rejet des eaux assainies par un branchement effectué à la sortie de la station de traitement.

Fig.V.11: Profondeurs des ouvrages de captages des eaux à drainées.

N° de forage	Profondeur (en m)	N° de forage	Profondeur (en m)	N° de forage	Profondeur (en m)
01	32.92	20	20.62	39	36.02
02	26.22	21	26.31	40	40.15
03	26.80	22	24.85	41	39.64
04	62.00	23	33.41	42	33.46
05	27.82	24	32.97	43	38.44
06	28.43	25	28.27	44	38.74
07	28.13	26	35.84	45	39.24
08	28.78	27	34.64	46	30.72
09	28.33	28	32.79	47	39.47
10	28.60	29	33.23	48	37.72
11	28.99	30	26.74	49	32.52
12	24.07	31	31.93	50	40.90
13	29.94	32	32.74	51	30.34
14	18.75	33	21.26	52	30.14
15	25.78	34	31.54	53	32.32
16	31.54	35	32.11	54	32.88
17	32.90	36	30.49	55	30.34
18	23.04	37	34.05	56	32.23
19	19.99	38	32.86	57	30.90

(ONA. 2006)

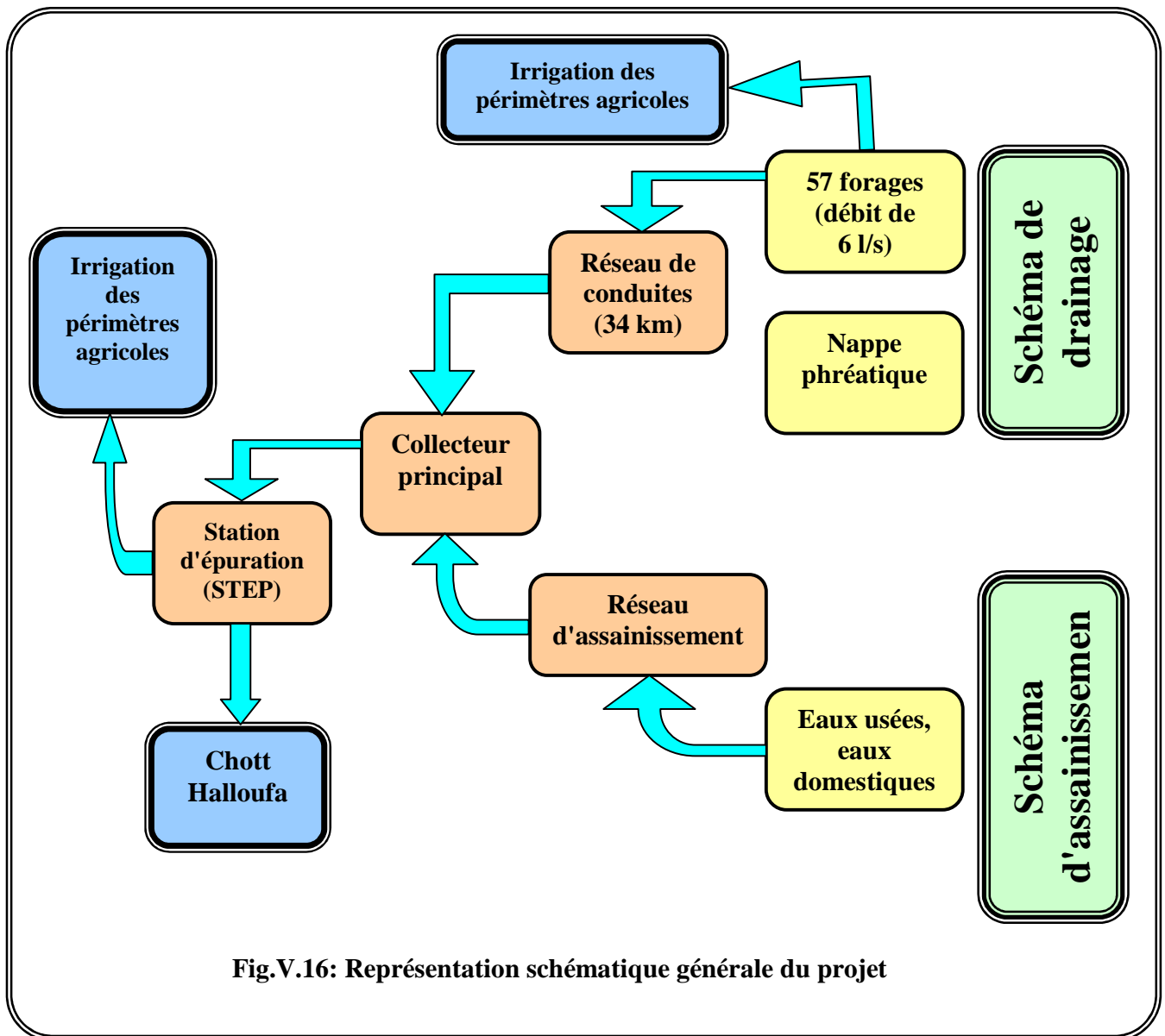
b. Schéma d'assainissement :

Le schéma d'assainissement proposé est constitué par un réseau de canalisations dont l'objectif est de collecter les eaux usées des différentes agglomérations, et de les injecter dans des stations d'épuration (STEP), afin de les rendre exemptes de matières nuisibles à la santé publique et à l'environnement.

Une fois traitées, une partie de ces eaux sera utilisée pour l'irrigation des périmètres agricoles limitrophes aux STEP; l'autre partie sera rejetée dans une zone de Chott située à 70 km au Nord-Ouest d'El-Oued par l'intermédiaire d'un collecteur alimenté par les différentes stations d'épuration.

Dans la première tranche, il s'agit d'installer le réseau d'assainissement de quatre communes (El Oued, Robbah, Bayadha et Kouinine), et de construire une station d'épuration (Step) de 250000 équivalents/habitants. Les eaux usées et celles épurées seront évacuées par le biais d'un collecteur Nord-Sud au Chott Halloufa, à 70 km au Nord Ouest de la vallée.

GCB a donc entamé le 11 janvier 2006 les travaux de réalisation de la Step, dont le délai est de 27 mois. Le réseau d'assainissement des quatre communes (Robbah, Bayadha, El-Ogla et Nakhla) s'étend sur une distance linéaire de 310 kilomètres. La deuxième tranche concerne la mise en place du réseau d'assainissement des 14 autres communes, tâche dévolue au groupement Sinohydro-Cosider TP dans 37 mois; et de la réalisation de 3 Step, dont se chargera une entreprise portugaise, Tixera, durant 33 mois.



III.2.3. DETERMINATION DES 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 du problème qui doit faire 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 des ressources en eaux dans la vallée vise plusieurs objectifs:

a. Rabattre ou stabiliser le niveau de la nappe :

Dans 34 mois, selon l'Office national d'assainissement (ONA) -qui présente le maître d'ouvrage-, c'est-à-dire une fois la première tranche des travaux achevée, et le système mis en service, 4 communes, dont celle d'El Oued, en auront 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 piezométrique permettra de réduire les fluctuations des débits d'une période à l'autre.

b. Réutilisation agricole des eaux drainées :

Le prélèvement, pour la réutilisation, d'eaux de drainage et d'eaux traitées sera possible grâce à l'implantation d'ouvrages de piquage le long de la canalisation.

Entre El Oued (ST10) et la station ET1 (au droit de la STEP1), un piquage sera prévu au niveau de la bifurcation de la canalisation actuelle vers le rejet (3750 m de ST10 environ).

Plusieurs autres piquages pourront être réalisés le long de la canalisation CET, selon un schéma de principe donné dans l'étude d'assainissement.

Des prélèvements pourront aussi être réalisés facilement à partir des stations de refoulement, un robinet de prélèvement pour l'irrigation d'un espace vert est prévu à la sortie du local de protection de chacun des forages implanté dans les endroits publics (écoles, université et administrations publiques), qui permettra de garantir un certain degré d'approvisionnement en eau d'irrigation pour protéger une part important de la production agricole.

c. Augmentation du pouvoir épurateur du sol :

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

d. 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 responsables du projet ont souligné que le site devant servir de point de chute de l'ensemble des réseaux d'assainissement dans le cadre de ce projet, 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 du site entraînera inéluctablement l'apparition, à nouveau, du problème de la remontée des eaux, mais, des associations locales ont été appelées au changement de cet endroit pour des raisons écologiques vers l'erg oriental.

III.2.4. MODELISATION ET PREVISION DES SCENARIOS POSSIBLES :

Chacun des 18 chefs-lieux de commune a fait l'objet d'une modélisation dans le cadre du schéma directeur d'assainissement pour simuler l'évolution du niveau de la nappe phréatique à 30 ans, avec et sans réseau d'assainissement.

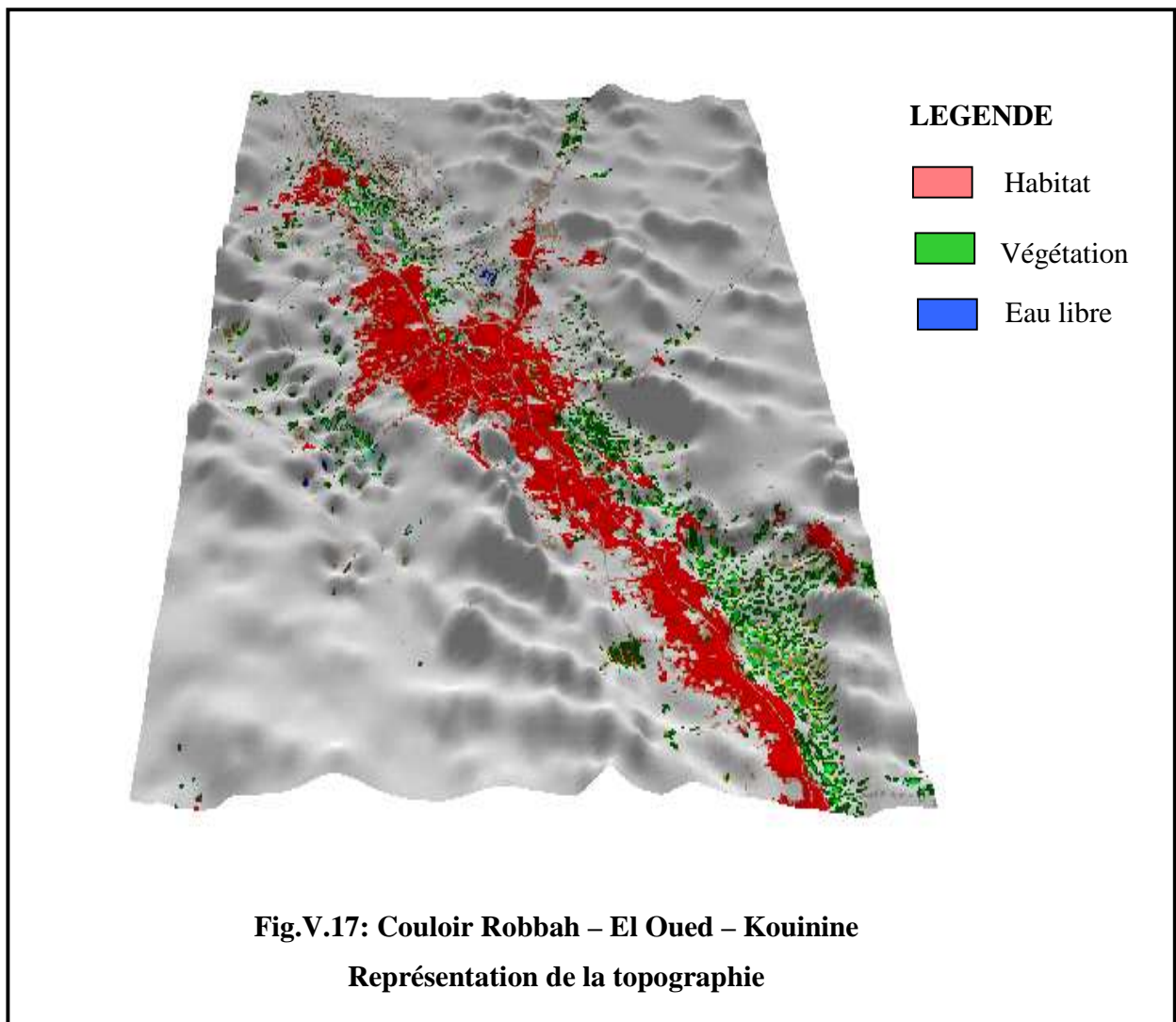
Les agglomérations à risque de mises en évidence par cette première simulation (dans lesquelles la nappe serait peu profonde en 2030, limitant ou interdisant l'assainissement autonome) ont été modélisées avec réseau d'assainissement.

Enfin, le couloir Robbah – El Oued – Kouinine, dans lequel la nappe montait de façon notable malgré le réseau d'assainissement, a été modélisé avec réseau de drainage complémentaire, optimisé pour stabiliser et abaisser le niveau. La carte d'occupation des sols (ODS) et les mesures de débit des forages ont servi de base à la modélisation.

Dans ce couloir, la surface topographique a été interpolée à partir de 14232 points nivelés au sol pour le réseau d'assainissement dans les zones urbaines et par 2341 points pour les zones non urbanisées, soit 16573 points couvrant la zone du modèle.

Les paramètres hydrogéologiques des terrains ont été déterminés par la moyenne des trois essais de pompage effectués sur les stations d'El Oued, Kouinine et Ourmes (Chapitre IV). Ce sont :

- Coefficient d'emmagasinement $S = 9.6 \%$
- Perméabilité horizontale $K_h = 4.2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$.
- La perméabilité verticale retenue est $K_v = 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$



(D'après BG 2006)

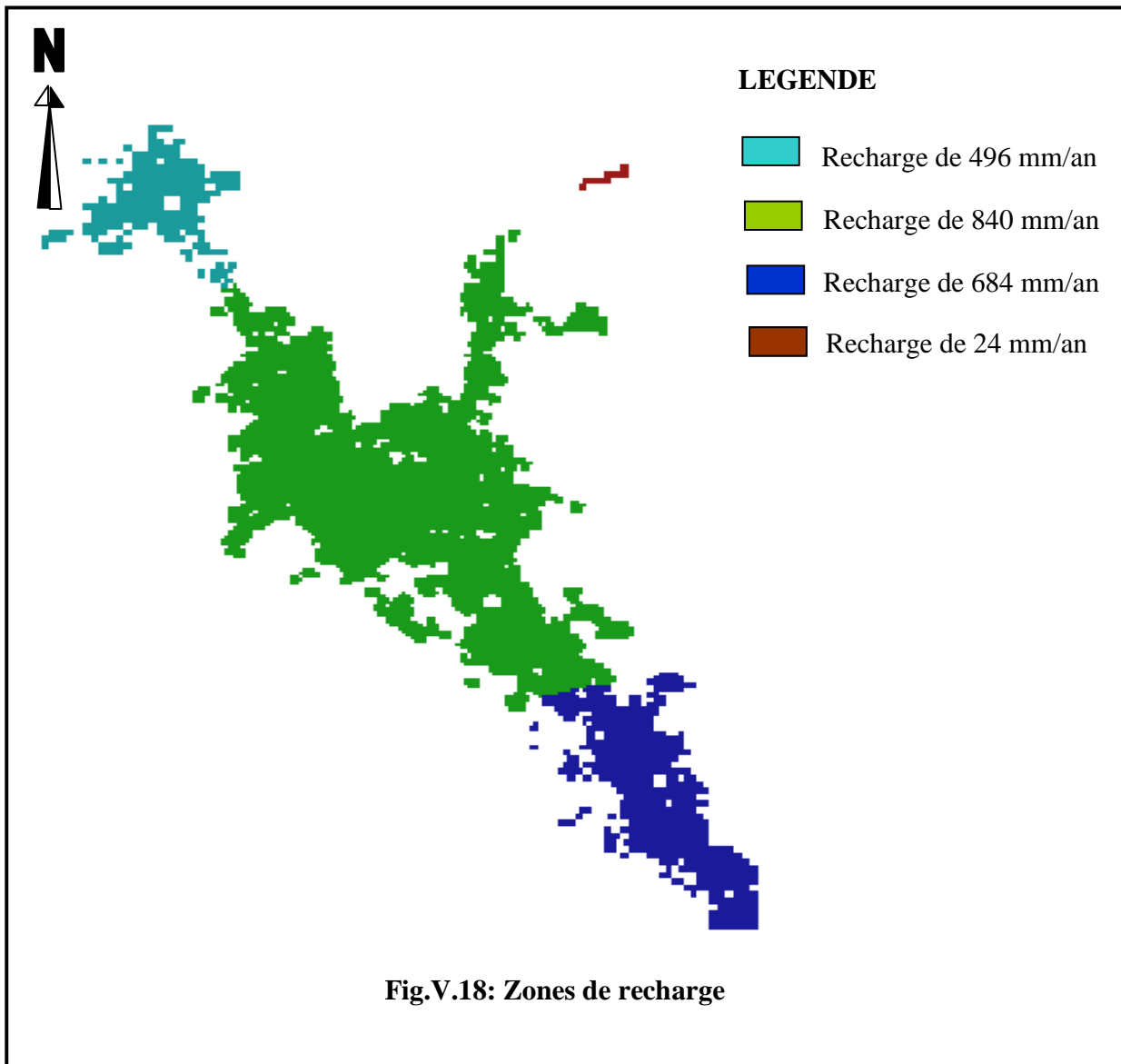
Le niveau piézométrique initial a été interpolé à partir des 12 points de mesure piézométrique de 1993.

Quatre zones de recharge ont été définies à partir de l'interprétation de l'image satellite :

- En bleu la zone urbanisée de Bayadha au Sud, avec une superficie de 392 ha et une recharge de 684 mm/an;
- En vert la zone urbanisée d'El-Oued au centre, avec une superficie de 1426 ha et une recharge de 840 mm/an;
- En vert-bleu la zone urbanisée de Kouinine au Nord, avec une superficie de 196 ha et une recharge de 496 mm/an;
- En rouge la zone du rejet actuel au Nord-Est, avec une superficie de 8,5 ha et une recharge de 24 m/an.

Une évapotranspiration par le couvert végétal de 1500 mm par année a été retenue avec une limite d'action à 1 mètre de profondeur et une décroissance linéaire avec celle-ci.

L'année de départ des simulations est 1993. Des simulations ont été effectuées pour l'année 2030 sans et avec drainage (par pompage au débit unitaire de 6 l/s dans 57 forages répartis dans la ville).



(D'après BG 2006)

a. Résultats de la simulation pour 2030 avec drainage :

En 2030, les effets conjugués du drainage et de l'assainissement collectif ont globalement amélioré la situation. Ils ont abaissé le niveau de la nappe phréatique dans toute la région. Les surfaces inondées ont diminué d'importance, les limites des zones insalubres se sont retirées de la plus grande partie de la ville. Toutefois, la situation des zones les plus basses à l'Est et à l'Ouest reste précaire. Le drainage n'est pas surdimensionné mais juste suffisant pour maintenir une situation saine sous la plus grande partie de la ville.

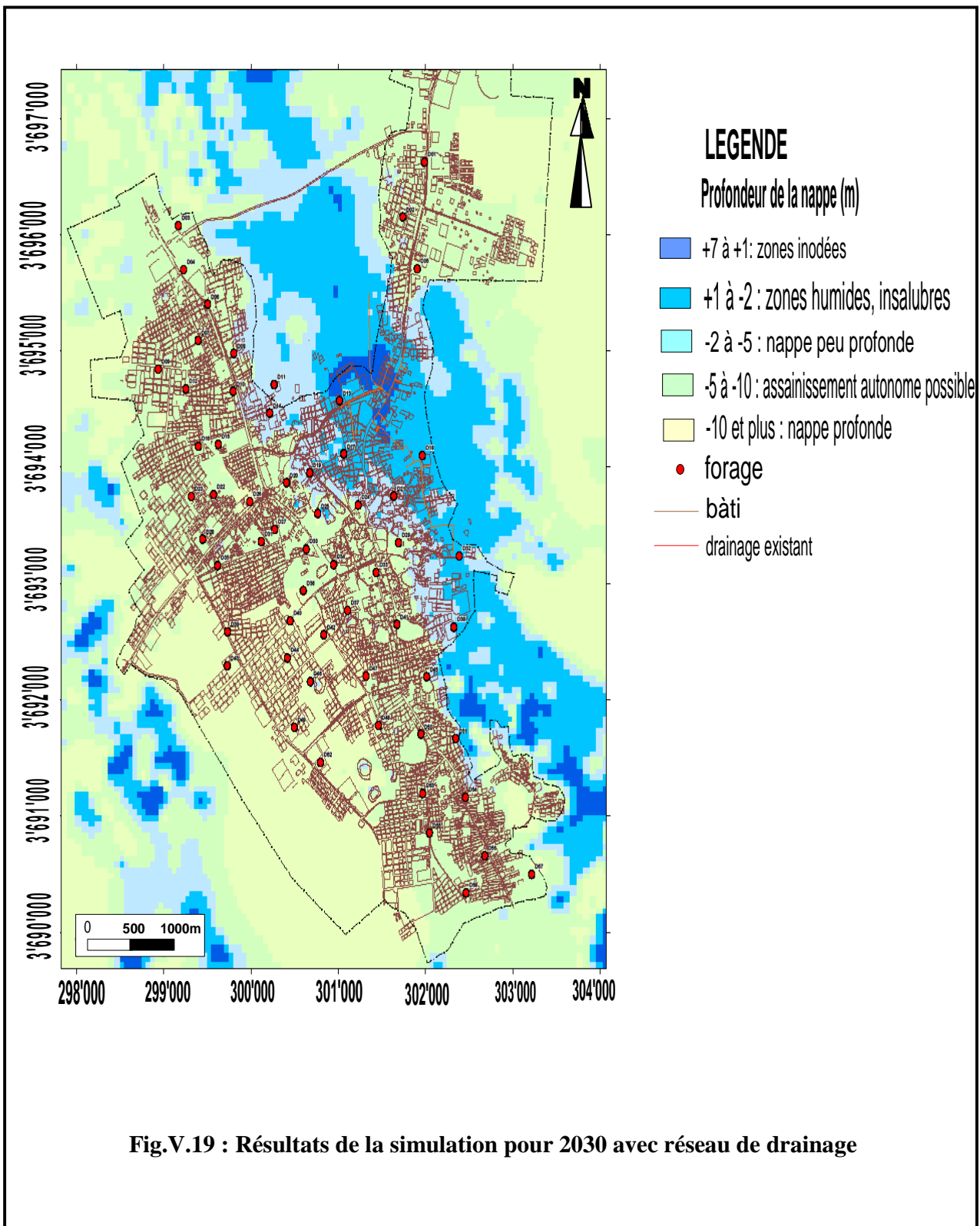


Fig.V.19 : Résultats de la simulation pour 2030 avec réseau de drainage

(D'après BG 2006)

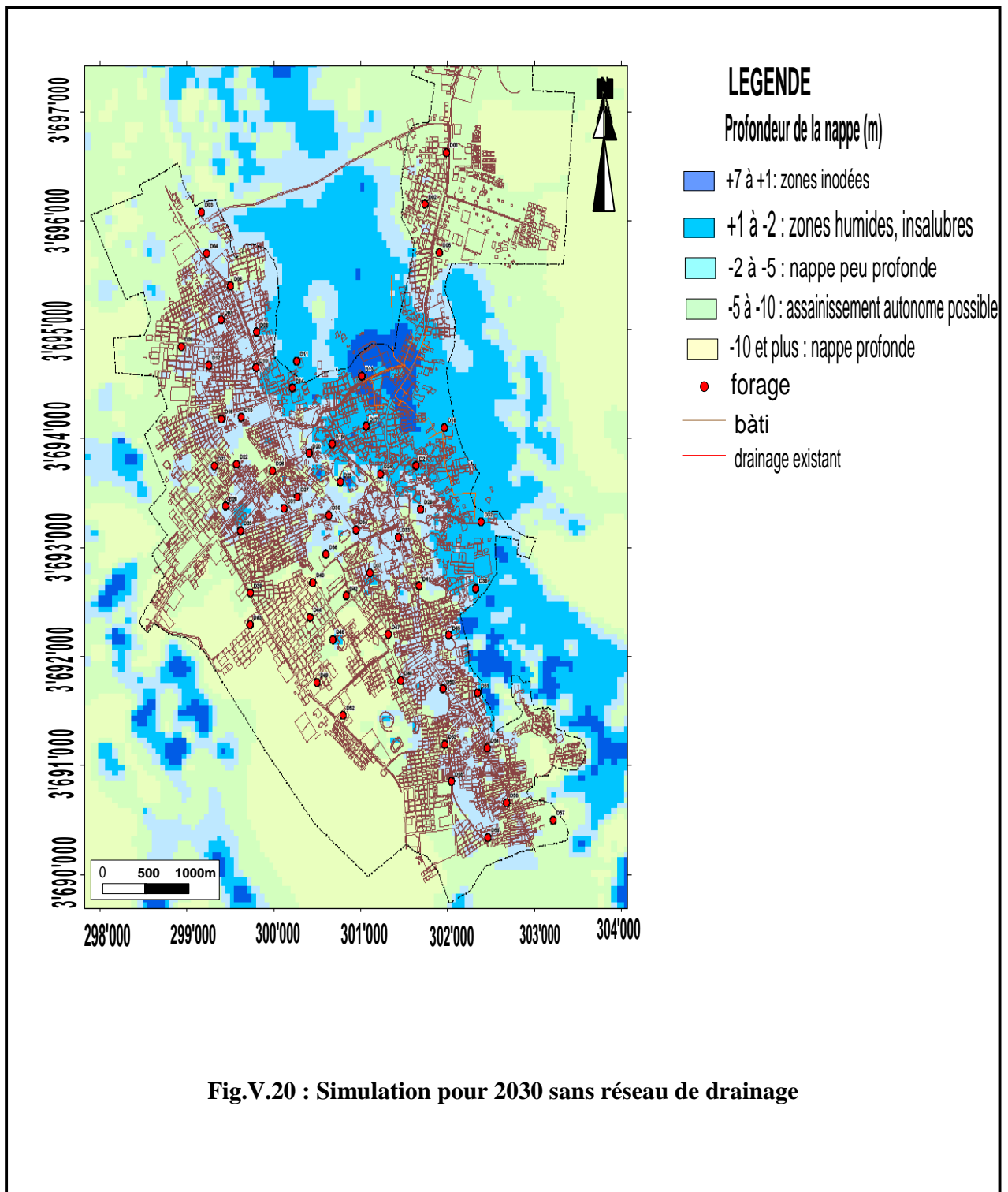
Cette situation met en évidence l'importance qu'il y a :

- De maintenir le drainage horizontal de la station 10 pour améliorer la situation dans ses environs;
- D'assurer le pompage continu dans les 57 puits de drainage prévus;
- De maintenir le développement des surfaces agricoles irriguées à partir de la nappe phréatique à l'Ouest pour abaisser le niveau de la nappe dans cette région.

b. Résultats de la simulation pour 2030 sans drainage :

En 2030, sans réseau de drainage vertical et malgré le développement de l'assainissement collectif, la nappe phréatique est montée dans toute la région. Les surfaces inondées ont en importance, les zones insalubres, humides ont envahi les quartiers bas de la ville et sur les deux tiers de celle-ci, la nappe est à moins de 5 m de profondeur, interdisant ou réduisant l'assainissement autonome.

La modélisation et les projections à l'horizon 2030 de la nappe phréatique de la zone d'étude indiquent qu'en l'absence de réseau d'assainissement la nappe pourrait monter de plus de 6m à El-Oued et que dans cette ville la nappe monterait encore de 2,5 m même avec un réseau d'assainissement. Dans les autres chefs-lieux, la montée est moins importante et il suffit au plus d'un réseau d'assainissement pour stabiliser la nappe.



(D'après BG 2006)

III.2.5. EVALUATION DES COÛTS DU PROJET :

a. Coûts d'investissement :

Tab.V.12 : Récapitulatif des coûts du projet

N° Désignation	Récapitulatif des coûts	Totaux (en DA)
01	Forages	51 603 000
02	Locaux en parpaings	52 200 000
03	Station 10 avec nouvelle conduite 600	85 000 000
04	Collecteurs	115 880 250
05	Pompes	11 270 000
06	Appareillages	20 750 200
Total TTC		435 189 200

(Source : ONA. 2006)

b. Coûts d'exploitation des forages :

L'exploitation des forages comprend essentiellement les coûts d'électricité de pompage et de fonctionnement, dans le cas d'un fonctionnement continu, le coût de consommation annuel est de 3615000 DA (soit 2410 MW/h pour un tarif de 1.50 DA/KWh), ajouté à l'ensemble de coût de fonctionnement (éclairage, démarrage, autres consommations) qui l'on considère à 5%.

Donc, le coût d'électricité va être : $3\,615\,000 \times 0.05 + 3\,615\,000$

$$= 180\,750 + 3\,615\,000 = 3\,795\,750 \text{ DA.}$$

c. Amortissement des pompes et des appareillages :

Les pompes seront amorties sur 10 ans tandis que les appareillages seront amortis sur 15 ans. Le coût d'amortissement annuel global s'évaluera de 1 791 000 DA (soit: 11 270 000 DA/10 ans pour les pompes et 9 960 000 DA/15 ans pour les appareillages).

Les collecteurs seront amortis sur 30 ans d'où le coût annuel sera de: 3 862 675 DA soit 115880250 DA/30 ans.

Le projet est doté d'une enveloppe monétaire de 27 milliards de dinars algériens pour un délai de 5 ans (jusqu'à l'an 2010).

VI. CONCLUSION :

Au cours de ce chapitre, on fait une description du problème par un diagnostic analysant les causes directes générant le problème de la remontée des eaux de la nappe phréatique qui fait partie des problèmes liées aux aspects quantitatives des ressources en eaux, puis, leurs conséquences et impacts sur les différents secteurs: socio-économique, environnemental, sanitaire et touristique souvent inter reliées les uns aux autres et ce problème considéré comme le noyau central des obstacles devant les axes de développement durable, ce qui nécessite l'appel à une nouvelle stratégie de gestion de cette ressource, c'est l'introduction du concept de la gestion intégrée des ressources en eaux (GIRE). La confrontation ressources – besoins nous permet de constater que le rythme de mobilisation actuelle sert à répondre aux différents besoins future en eau, même à long terme (2040) où la population de la vallée s'accroît à 1.3 millions habitants et la surface irriguée s'augmente à 1509 km².

Les premiers pas effectués sur terrain vers une gestion rationnelle commence par la mise en œuvre de certains mesures concrètes: remblayage des Ghouts inondés, réduction des horaires d'allocation en eau potable, développement de zones agricoles irriguées depuis la nappe phréatique, l'arrêt d'exécution des nouveaux forage dans le CT et le CI et remplacé par d'autres dans la nappe phréatique ... Ces mesures n'ont pas été pour inverser le niveau d'eau mais ils permettent de limiter le danger de ce problème (la prolifération de moustiques, les décharges en milieu urbain, la charge des eaux de la nappe en sels...)

Le gouvernement a décidé de s'attaquer ce grave problème par la planification d'un méga projet à divers aspects comprend deux principaux volets: schéma de drainage et schéma d'assainissement.

La simulation des résultats et la prévision des scénarios possibles à l'an 2030 nous permettent de ressortir les bénéfices attendus de ce projet qui sont:

- Rabattre ou stabiliser le niveau de la nappe;
- Réutilisation agricole des eaux drainées;

- Augmentation du pouvoir épurateur du sol;
- Maintient écologique et sanitaire du site de rejets.

L'application de cette nouvelle politique de gestion sur la vallée d'Oued Souf n'est pas adéquate, car elle se peut cours des risques d'échec : la planification n'est pas prise en considération le facteur humain qui joue un rôle très important dans la mise en œuvre de cette stratégie comme il peut être aussi une source de blocage et de conflits. Sur ce plan, il est nécessaire d'intégrer et de prendre en compte toutes les acteurs et les composantes (autorité, élus locaux, citoyens, ONG, agriculteurs....) ayant un effet ou un avis sur la procédure de gestion de cette ressource rare, ce ci par la programmation des concertations entre ces différents acteurs sur la base d'une approche collaborationniste.

Sur le plan de l'agriculture, la création des nouveaux périmètres agricoles irrigués par des méthodes modernes (aspersion et localité) sert à réduire le champ du danger de la remontée des eaux, contre face au système d'irrigation traditionnel qui consiste à noyer le sol et par conséquent l'augmentation du taux d'infiltration et d'alimentation des eaux souterraines.

L'organisation des campagnes de formation et de sensibilisation du personnel local sur :

- le danger de ce grave problème;
- le risque qui peut entraîner le gaspillage de l'eau surtout celle d'irrigation;
- l'importance de la gestion intégrée;
- les bénéfices pouvant gagner de ce projet à divers aspects, permettra de donner des bons résultats.

Enfin, le financement du projet doit être assuré continuellement et à long terme (les sources d'énergie, l'entretien et la maintenance d'équipements...), à ce stade, il est recommander de faire appel aux exploitations des énergies renouvelables notamment l'énergie solaire et éolienne et de faire participer les agriculteurs (qui constituent l'important bénéficiaires) à un part de financement de ce projet par l'application du principe : utilisateur / payeur. Ceux-ci pour assurer que les futures générations soient bénéficiaires encore et que ce projet ailler loin dans le trajet du développement durable.

CONCLUSION GENERALE

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 363110 habitants (soit 185484 masculins et 177626 féminins)

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 de 22.23°C) et un faible taux de précipitation (73.97 mm), d'une évaporation importante et d'un rayonnement solaire excessif. L'ajustement statistique des précipitations annuelles présente une bonne adéquation à la loi de Galton.

L'examen de la carte piezométrique montre que le sens d'écoulement général des eaux souterraines est Sud-Ouest vers le Nord-Est. L'interprétation des essais de pompage par paliers et à longue durée qui a été effectué au niveau des 06 stations nous permet de définir les différents paramètres hydrodynamiques.

La région d'étude possède une réserve d'eau souterraine très importante : la nappe phréatique, la nappe du Complexe Terminal (CT) et l'Albien (CI). Les résultats des analyses chimiques effectuées en avril 2002 montrent bien que les eaux de la nappe phréatique ne sont pas potables et sont impropres pour l'irrigation.

Dans cette étude, le diagnostic de la remontée des eaux visé a décrit les causes, les conséquences et les impacts de ce problème sur les différents secteurs.

La confrontation entre ressources et besoins nous indique que le bilan actuel est excédentaire et sa projection au futur reste encore, ce qui nous s'explique par l'engagement massif de l'Etat pour la mobilisation des ressources en eaux au cours des ces dernières années en vue de subvenir aux besoins des différents secteurs. La gestion future des ressources devrait tenir compte, en plus des aspects techniques, les aspects institutionnels et économiques. Sur le plan institutionnel, la gestion de la demande exigera dans l'avenir de déterminer le rôle de tous les acteurs des usagers, en les

Conclusion générale

responsabilisant. A cet égard, les associations d'usagers, devraient jouer leur rôle dans la gestion de l'eau d'irrigation, d'AEP et de de l'AEI, particulièrement par la maîtrise de sa consommation. Enfin, sur le plan économique, l'application d'une nouvelle tarification de l'eau notamment en agriculture est indispensable.

L'application du concept de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée d'Oued Souf vient à résoudre ces problèmes d'ordre quantitatif affectés tous les activités qui sont souvent inter reliés. Commencant par la mise en œuvre de certaines mesures préliminaires permettre à un certain degré de réduire le danger. La collaboration avec les associations des cités et la participation intense des personnels locales dans l'application et les prises des décisions étaient des facteurs principales de succès de ces mesures.

Le gouvernement algérien a décidé de s'attaquer sérieusement ce problème par la planification d'un projet de gestion dont le but est de : rabattre la nappe, ce qui permettra au sol d'augmenter son pouvoir épurateur, réutilisation agricole des eaux drainées et maintien écologique et sanitaire du site de rejets.

Ce que nous constatons lors de la réalisation du présent mémoire c'est que la conscience du personnel local et son degré de participation (intégration) dans la mise en œuvre de cette politique de gestion sont les deux facteurs primordiaux dans l'exécution et le succès de cette nouvelle stratégie.

Le projet d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation pour la lutte contre la remontée des eaux de la nappe phréatique d'Oued Souf contribue à la mise en place d'un système de drainage et d'assainissement pour évacuer les quantités d'eaux responsables à la remontée afin d'optimiser les effets des rejets sur la qualité environnementale ainsi que la qualité des eaux restaurées sur le développement de l'agriculture locale.

Afin de mettre un terme pour la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée d'Oued Souf, on a recommandé de:

- prendre en compte les tenants et les aboutissants du développement durable par la compréhension des enjeux économiques, sociaux et culturels afin d'optimiser de manière équitable le mode de vie des habitations.
- La création des nouveaux périmètres agricoles irrigués à partir de la nappe phréatique avec l'introduction des nouvelles techniques d'irrigation (goutte à goutte, aspersion et capillarité...)
- Intégrer tous les composants de cette unité de ressource hydrique et n'ignore aucun des intervenants même dans le stade de planification;

Conclusion générale

- Organiser des campagnes de vulgarisation et de sensibilisation des citoyens sur le risque multiple de la remontée des eaux, sur les conséquences qui peuvent entraîner le gaspillage de l'eau et sur les avantages d'appliquer le concept de la GIRE.
- Contrôle sévère et régulier du débit d'exploitation des forages destinés à l'AEP et l'irrigation.
- Vérifier la fiabilité et l'efficacité de la gestion intégrée, en premier pas, par la mise en place des Limnigraphes sur les piézomètres afin d'observer systématiquement la fluctuation de la nappe phréatique.
- Assurer, en permanence, un milieu budgétaire favorable pour le financement des différents étapes de projet (études, travaux, et suivi) et toutes les dépenses envisagés.

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.

ABHS (Agence du Bassin Hydrographique Sahara Wilaya de Ouargla). Rapports et bilans sur les missions et les campagnes réalisées par l'ABHS,

ADE (Algérienne Des Eaux Wilaya de El-Oued). Rapports sur l'alimentation en eau potable (AEP), 10 p.

ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya de Ouargla). Rapports et campagne des mesures.

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.

Bonard et Gardel (Bureau d'étude algéro-suisse) Rapport et campagnes des mesures, 161 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.

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

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.

Références bibliographiques

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), 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). Rapports et canevas (1999-2006). 07 p.

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

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

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.

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.

Références bibliographiques

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.

MHIRIT O et BENCHEKROUN F (2006). Les écosystèmes forestiers et periforestiers: situation, enjeux et perspectives pour 2025.

Naser I. Faruqi. (2005). L'Islam et la gestion de l'eau : principes généraux.

Nicolas FERRATON. (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 et de Touggourt, données climatiques.

OULEMOUHOU 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.

Pénurie d'eau, risque et vulnérabilité. Rapport mondial sur le développement humain 2006.

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

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

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.

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.

Tab.1 : Récapitulatif des mesures des débits sur les forages au CT de la vallée du Oued-Souf

Nom du forage	Appartenance administrative (commune)	Coordonnées		Heures de pompage par jours	Débit extrait (m ³ /h)	Usage
		X UTM	Y UTM			
Bayadha	LABAMA	304454	3687417	24	90	AEP
	SOUALAH	306177	3689779	16 et 1/2	76	AEP
	EL FTAHZA	303174	3689452	24	56	AEP
Ogla	B. LEGHDAMSI	304576	3686844	?	97	AEP
	OGLA 02	308308	3680319	24	56	AEP
	EL AGUILA 01	309879	3681706	?		AEP
	EL AGUILA 02	310006	3681422	8	89	AEP
Robbah	LAOUACHIR	304758	3686005	19	79	AEP
	BEGHAZLIA	305930	3683556	12	74	AEP
	ROBBAH 02 BIS	305076	3684110	18	89	AEP
Nakhla	NAKHLA 01	309199	3683676	19	91	AEP
	KHOBNA	307193	3685550	11 et 1/2	86	AEP
	GHENABZIA	307820	3681898	6	63	AEP
Kouinine	KOUININE 01	298395	3697036	8	96	AEP
	KOUININE 02	297832	3697819	24	43	AEP
	KOUININE 03	298848	3698209	10	84	AEP
Trifaoui	TRIFAOUI 01	307875	3698992	14 et 1/2	46	AEP
	KHOBNA LIZERG	309983	3698001	14 et 1/2	79	AEP
Ourmes	OURMES 01	293413	3698172	8	49	AEP
	OURMES 02	293747	3699822	7 et 1/2	114	AEP
	OURMES 03	293154	3697111	7 et 1/2	48	AEP
	SOUIHLA S,A,01	304191	3711777	8	61	AEP
	SIDI AOUN 02	305464	3712179	6	102	AEP
Sidi Aoun	DJDEIDA S, A, 03	300685	3713583	13	97	AEP
	LADOUAOU	304980	3710079	7	72	AEP
	DJDEIDA S, A,	301186	3719510			IRR
Magrane	MAGRANE	307844	3715237	14	114	AEP
	BELILA AYACHA	309715	3716666	15 et 1/2	102	AEP
	MENANAA	308869	3717143	5	121	AEP
	HAMADINE 1 Bis	307446	3716272	14	85	AEP
Mih-Ouensa	OUED EL MALAH	308425	3721682			IRR
	MIHOUENSA 01	286613	3675431	13	46	AEP
	MIHOUENSA0 2	286795	3676176	13		AEP
Debila	AKFADOU 01	309328	3704888			IRR
	DEBILA CENTRE	308458	3708994	17	123	AEP
	AKFADOU 03	309118	3705550			IRR
	DJEDEIDA	309837	3714901	17	120	AEP
	DRIMINI	308065	3712293	17	38	AEP
	AKFADOU 04	309092	3707571	11	124	AEP
	AKFADOU 02 Bis	309778	3705005			IRR
	DEBILA EST	310073	3710461	6	109	AEP
Hassani Abdelkrim	BEHIMA	304759	3706387	20	38	AEP
	Z'GOUM 02	304956	3705671	18	132	AEP
	DOKKAR	304601	3707826	11	47	AEP
	EL GHARBIA	303532	3705355	5	155	AEP
	S, EL GUEBLAOUI	306645	3704242	5	93	AEP

Guemar	GHAMRA 01	292804	3716995			IRR
	GUEMAR 02	295866	3707123	18	120	AEP
	GUEMAR 03	295226	3707752	13	136	AEP
	FOULIA 02	288154	3727837	5	209	IRR
	GHAMRA 02	294433	3714117	16	136	AEP
	DEMITHA	292310	3713280	8	144	AEP
	FOULIA 04	287773	3728968		52	IRR
	GHARBIA	294448	3707387	8	127	AEP
	F, AEROPORT	294142	3709322	6	140	AEP
	DAHRAOUIA	297126	3708994	7	80	AEP
Reguiba	HOBBA 01	290845	3720621		193	IRR
	BIR ROUMI	288684	3724609			IRR
	HOBBA 03	289455	3720709		156	IRR
	HOBBA 04	291276	3719180	8	36	AEP
	FOULIA 01	287558	3727585			IRR
	REGUIBA 02/BIS	288341	3716585	8	112	AEP
	HOBBA 05	290496	3719771		174	IRR
	FOULIA AEP 03	288638	3726153	6	52	AEP
	KHOBNA, AOUISSA	288511	3712827	5	108	AEP
	EL ARFDJI	282496	3710395	4	48	AEP
	FOULIA 05	289170	3725306			IRR
	HOBBA 02 BIS	289857	3719605	20	169	IRR
	REGUIBA 1 BIS	287371	3716415	20	90	AEP
Hassi Khalifa	SAHN BERRY 01	322014	3714521			IRR
	SAHN BERRY 02	321385	3715575			IRR
	SAHN BERRY 03	322332	3715813	6	42	AEP
	LI BERS 01 DEBICH	337289	3727962			IRR
	LIBERS 02	336385	3727854			IRR
	H - KHALIFA 01	314005	3714990	24	41	AEP
	H - KHALIFA 02	313174	3714881	24	128	AEP
	MERZAKA	317289	3719677	6	56	AEP
	LABAIDA	316180	3716213	12	77	AEP
	EL ADHEL	332284	3725416	4	64	AEP-IRR
	MENCHIA	317208	3724914	4	36	AEP
	CHEOYHA	316329	3717332	8	95	AEP
	CHOUCHET HMADI	320446	3723208			IRR
Taghzout	TAGHZOUT 01	296536	3701396	11	92	AEP
	TAGHZOUT 02	295809	3705511	24	38	AEP
	BAGOUZA	289199	3707831		37	AEP
Oued El-Alenda	O, EL ALENDA 01	291035	3679598	17	99	AEP
	O, EL ALENDA 02	291066	3681725	5 et 1/2	56	AEP
El Oued	TEKSEBT 02	299250	3694670			AEP
	CHOTT(Soger Sud)	301963	3696617	24	88	AEP
	MEHRI-DJILALI 01	295298	3691488		98	AEP
	CHOUHADDA	302109	3690638	24		AEP
	LASNAM	300840	3692550	24		AEP
	SIDI-MESTOUR	302400	3693241	14	43	AEP
	BOUHMID 01	304464	3693828			IRR
	BOUHMID 02	303734	3693049			IRR
	MEHRI-DJILALI 04bis	295951	3691739		28	IRR
	MEHRI-DJILALI 05	295186	3692197		112	IRR
	MEHRI-DJILALI 06	296073	3692635		115	IRR
	MEHRI-DJILALI 07	294416	3692398		109	IRR
	MEHRI-DJILALI 08bis	294946	3693643		113	IRR
	MEHRI-DJILALI 09	293842	3693469			IRR
SAHAN-MERT, 02	302758	3700110	7 h 1/2	86	IRR	

Tab.2: Les Normes Applicables Aux Eaux Destinées à L'Alimentation Humaine, selon (O.M.S).

Substance	Concentration Maximale Acceptable (mg/l)	Concentration Maximale Admissible (mg/l)
Résidu Sec	500	1500
PH	7 à 8.5	6.5 à 9.2