

Ecole Nationale Polytechnique

Département d'Hydraulique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état
en Hydraulique

Thème

*Synthèse hydrogéologique de la dépression
d'Ouargla*

Proposé et dirigé par :

M^r A.SEMMAR

Etudié par :

R.ALIANE
B.GUERAD

∫ Promotion : juin 1999 &

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département d'Hydraulique



المدرسة الوطنية المتعددة الفنون
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة الفنون
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état
en Hydraulique

Thème

*Synthèse hydrogéologique de la dépression
d'Ouargla*

Proposé et dirigé par :

M^r A.SEMMAR

Etudié par :

R.ALIANE
B.GUERAD

Promotion : juin 1999 &

E.N.P.10, Avenue Hassen-Badi, EL-HARRACH, ALGER.

Dédicaces

Je dédie ce modeste
travail :

A toute ma famille

A tout mes amis

A tout les fidèles de ce pays

BENHALIMA

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A ma grande mère et mon grand père,
A mes très chers parents : à ma mère et à mon
père*

A tout mes frères et sœurs

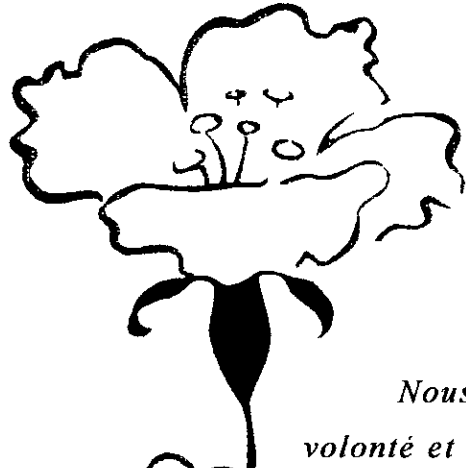
A toute ma famille

A tout mes amis :

*Boualem, Amirouche, Yacine, Et Hadj,
Fateh, Amar, Khalil, Hatim*

Pa. A. L. A. N. E





Remerciements

المكتبة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Nous remercions Dieu de nous avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à réaliser ce modeste travail

Nous tenons à exprimer vivement notre profonde gratitude à notre promoteur Monsieur : A.SEMMAR pour son suivi et pour ses conseils avisés et ses encouragements qu'il a apporté pour l'achèvement de ce projet.

Tout nos sincères remerciements à M^{elle} S.BENMAMMAR pour ses conseils.

Nous remercions également tous les enseignants chacun de son nom et particulièrement ceux du département de Génie Hydraulique, qui ont contribué de près ou de loin à notre formation et à cette thèse.

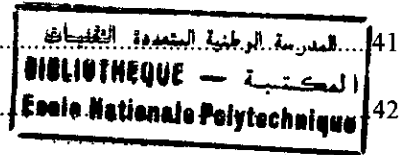
Nous tenons également à remercier l'ensemble de membres de jury qui nous ont fait l'honneur de juger notre travail.

Nous exprimons nos sincères remerciements à toute l'équipe de la bibliothèque de l'E.N.P.

Nos amis(es) sont vivement remerciés pour leur disponibilité et l'aide qu'ils nous ont apportée.

Introduction général	1
Chapitre I : Hydroclimatologie	
I.1.Introduction	2
I.1.1situation géographique.....	2
I.2 Caractéristiques climatiques	2
I.3 Etudes des précipitations	3
I.3.1 Précipitations moyennes mensuelles.....	6
I.3.2 précipitations moyennes annuelles	6
I.3.2.1 Paramètres statistiques :	7
I.3.2.2 Ajustement des précipitations annuelles allant de 1968 à 1998 :	8
I.3.2.2.1 Ajustement des précipitations annuelles à la loi normale	8
I.3.2.2.2 détermination des périodes de retours	12
I.3.2.3 conclusion.....	13
I.4 Les Températures	14
I.4.1.Les Températures moyennes mensuelles.....	14
I.4.1.1.Comparaison de données de températures	15
I.4.2 L'évaporation	17
I.4.2.1.Evapotranspiration réelle	17
I.4.3 Evapotranspiration potentielle	18
I.4.3.1Formule de Serra	18
I.4.3.2Formule de Thornthwaite.....	19
I.4.4 :Analyse des résultats :	21
I.4.5. Essai du bilan hydrologique :	22
I.4.5.1. Ruissellement :	22
I.4.5.2.l'infiltration :	23
I.5.Conclusion :	24
Chapitre II : Géologie et Géomorphologie	
II.1. Introduction	25
II-2 Géomorphologie	25
II-3 Géologie régionale	25
II-4 Interprétation des coupes géologiques	29
II-5 Géologie locale	33
II-5-1 Introduction	33
II-5-2 Lithostratigraphie :	33
II-5-3 Interprétation des coupes géologiques	37
II-5-4 Evolution spatial.....	39
II-5-5 Paleageographie et thermique paleographie	39

II-6 Tectonique.....	41
II-7 Conclusion	42



Chapitre III : Hydrodynamisme

III.1 Introduction	42
III.2 Etude des coupes hydrogéologiques	45
III-2-1 Les coupes transversales orientées (E-O).....	45
III-2-2 Les coupes orientées (N-S)	48
III-2-3 Conclusion	50
III.3 Propriétés hydrodynamismes des eaux de l'aquifère Mio-pliocène	51
III-3-1 Piézométrie.....	51
III-3-1-1 Interprétations des cartes piézométriques.....	51
III-3-1-2 Le gradient hydrolique.....	55
III-3-2 Fluctuation de la nappe Mio-pliocène	56
III-3-3 Alimentation de la nappe Mio-pliocène	58
III-3-4 Les transmissivité	58
III-3-4-1 Méthode de Jacob	58
III-3-4-2 Méthode de Theis	63
III-3-4-3 Méthde d'approximation de Chow	66
III-3-4-4 Caractéristique technique des forages	70
III-3-5 Interprétations des résultats	71
III-3-5-1 Essais de pompage dans le forage F1, F5, F7	71
III-3-5-2 Résultats.....	72
III-3-5-3 Indices	74
III.4-Conclusion	75
Conclusion générale et recommandation.....	76

Annexe

Bibliographie

يتمثل عملنا في إنجاز دراسة حوصلية لحوض ورقلة عن طريق استخلاص نتائج الدراسات السابقة ومقارنتها بالدراسة الحالية قصد معرفة الخصائص الهيدرولوجية لهاته المنطقة.

الكلمات المفتاحية :

النفذية، الانتقالية

Résumé :

notre objectif à faire une synthèse hydrogéologique de la dépression d'Ouargla à l'aide d'une comparaison du cas présent avec d'autre étude précédentes, et aussi l'interprétation et l'exploitation de ces études afin d'atteindre notre objectif.

Mots clés :

perméabilité, transmissivité

Abstract :

Our objective is an study hydrogeology of the Ouargla in order to realised an syntheses of data hydrogeology.

Key words :

perméabilité, transmissivité

INTRODUCTION GENERALE

L'objectif de notre travail, est de faire une synthèse hydrogéologique de la région d'Ouargla qui a fait l'objet de beaucoup d'autres études. Ceci est justifié par la remontée des eaux souterraine, et des sels. De ce fait on a exploité et consulté le maximum des données concernant cette région en interprétant les résultats établis antérieurement à fin de pouvoir connaître le comportement de l'eau, et de pouvoir réaliser une synthèse des données des résultats.

Afin de réaliser cette synthèse hydrogéologique, on se propose de suivre les démarches suivantes :

- L'hydroclimatologie, portera sur l'étude des distributions des précipitations annuelle et mensuelle de deux périodes différentes, ainsi que des températures. L'évaluation de l'évapotranspiration potentielle et de l'évapotranspiration réelle par différentes formules approximatives est réalisée avec la comparaison des résultats du cas présent avec d'autres résultats ; L'interprétation des principaux facteurs climatologiques peut estimer le bilan hydrogéologique.

- La géologie, portera sur la description de la géologie régionale et de la géologie locale de la zone d'étude ainsi que l'interprétation des coupes géologique afin de connaître la description lithostratigraphique du continental intercalaire qui est la formation sur laquelle repose le complexe terminal.

- L'hydrogéologie portera sur l'interprétation des cartes piézométrique de 1989 à 1997.

Elle portera aussi sur l'analyse des résultats des essais de pompage où on a calculé les valeurs de transmissivité et de la perméabilité par différentes méthodes de la nappe Mio-Pliocène.

Ainsi, le calcul du gradient hydraulique et la détermination des fluctuations piézométriques entre 1989 et 1997 dont le but est de savoir le sens d'écoulement des eaux de la nappe Mio-Pliocène.

Enfin, on terminera par une conclusion générale et des recommandations.

CHAPITRE I
HYDROCLIMATOLOGIE

I.1 Introduction

La synthèse hydrogéologique de la région d'Ouargla portera sur l'évaluation du bilan hydrologique, en l'interprétant les principaux facteurs climatiques telle que la température, l'évaporation, le ruissellement et l'infiltration ainsi que la pluviométrie ; on tirera les caractéristiques climatiques de la région étudiée, afin de comparer nos résultats à d'autres résultats antérieures.

Le manque des données de débit des cours d'eau ne permet pas de calculer le bilan. Nous l'avons estimé à partir des formules empiriques et nous avons aussi interprété et comparé les résultats trouvés avec ceux de la bibliographie.

A titre de comparaisons nous avons aussi considéré les données de précipitations des régions avoisinantes.

L'étude du cas présent portera sur deux périodes différentes, une de 31 ans allant de 1968 à 1998, l'autre de 11 ans allant de 1988 à 1998

I.1.1 : Situation géographique et économique

La région d'Ouargla qui fait l'objet de notre étude est située à 800Km au sud est du gouvernera d'Alger, à 31°57' de latitude Nord et à 5°20' longitude Est. D'une longueur de 45Km direction sud-ouest , Nord-Est et d'une largeur de 2 à 5Km, elle s'étend sur une superficie de 140Km². La dépression d'Ouargla est la plus grande oasis du Sahara regroupant cinq palmeraies (palmeraie des Beni-uissine, palmeraie de Beni-Brahim, palmeraie de Mekhadmas, palmeraie des Beni-Thoure, palmeraie chott-Adjadja) . Au milieu desquelles s'enfuit la ville d'Ouargla(fig I.1, figI.2). Ses limites sont :

- Au sud, la commune de Rouissat ;
- Au Nord, la commune N'goussa ;
- A l'Ouest, la commune de Zelfana ;
- A l'est, la commune de Sidi Khuled ;

Elle distante de :

- 160km de Tougourt au Nord ;
- 186Km de Ghardaïa à l'Ouest ;

- 86km de Hassi Messaoud de L'Est ;
- 1440 km de Djanet au Sud ;

L'activité principale de la population d'Ouargla est l'agriculture du fait de la disponibilité des ressources en eau, aussi bien de la surface que renfermées dans les nappes souterraines, ces ressources en eau constituent l'une de principales richesses sur lesquelles repose la prospérité d'Ouargla . Parmi les variétés cultures on note la prédominance de la culture en palmier dattier, qui occupe 200 hectares irrigués par 660l/s, les cultures maraîchères sont peu développées. Le secteur de l'industrie est faiblement représenté.

I.2 Caractéristiques climatiques

Les études antérieures établies sur la région d'Ouargla (Djedda.A, Djettou.R ; 1991, Haddadi.H ; Zayed.D ;1994, Bendrissou.M ;1998), ont montré que cette région est caractérisée par un climat aride, des températures constantes entre le jour et la nuit, un pouvoir évaporant de l'air très important et une insolation excessive.

I.3 Etudes des précipitations

L'étude des précipitations mensuelles et annuelles est réalisée dans le but de connaître la régularité ou l'irrégularité des précipitations .

Le tableau I.1 présente les caractéristiques des stations pluviométriques avec leur période d'observation.

station	Code A.N.R.H	Longitude	Latitude	Altitude (m)
El-Oued	13.04.09	05°05'12''	37°07'40''	70
Tougourt	13.04.14	04°14'38''	36°77'77''	69
Ghardaia	13.04.07	01°47'71''	36°09'25''	526
El-Golea	13.03.52	00°60'67''	33°65'74''	380
Ouargla	13.04.02	03°32'90''	35°50'00''	154

Tableau I.1 Caractéristiques des stations pluviométriques

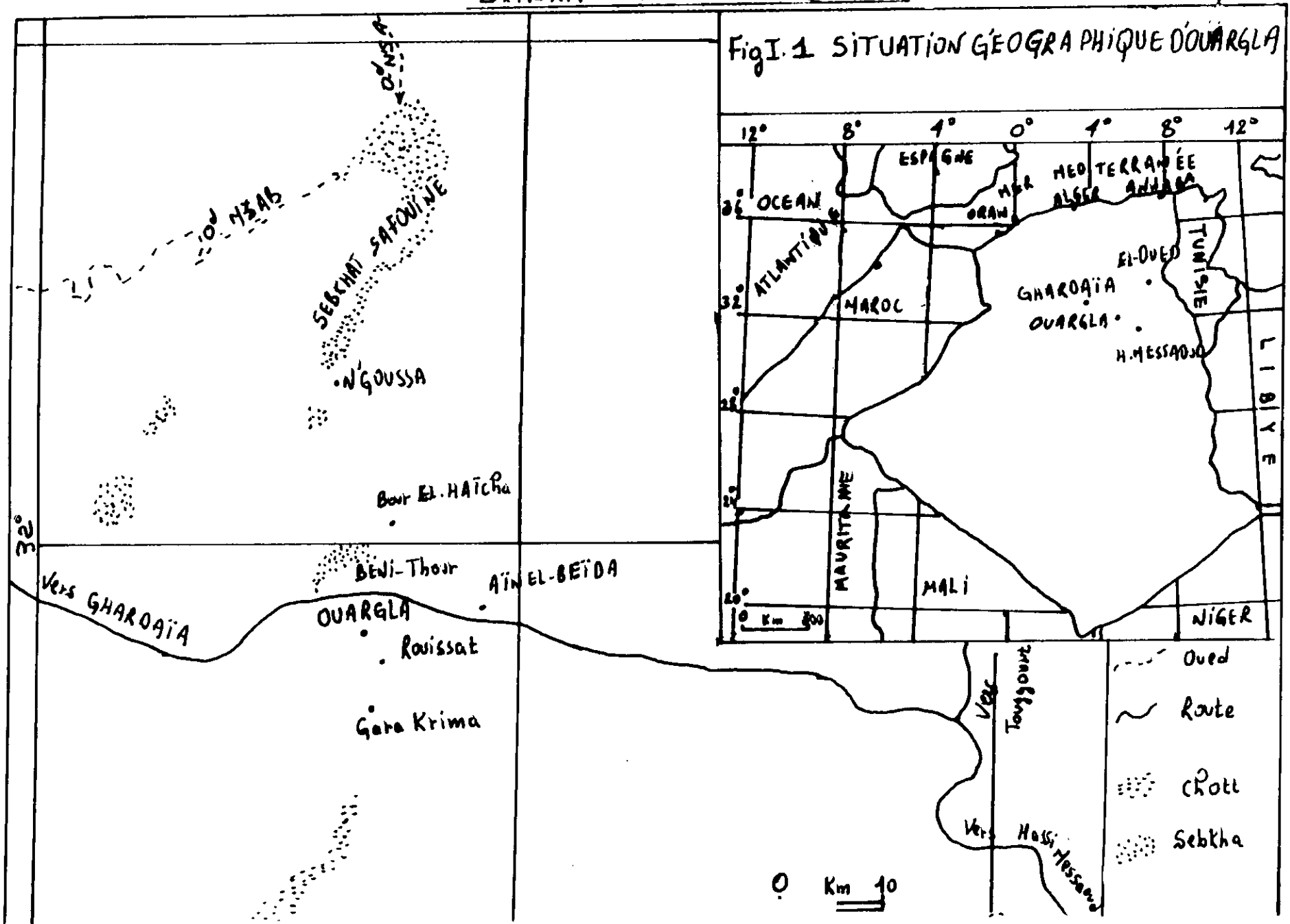
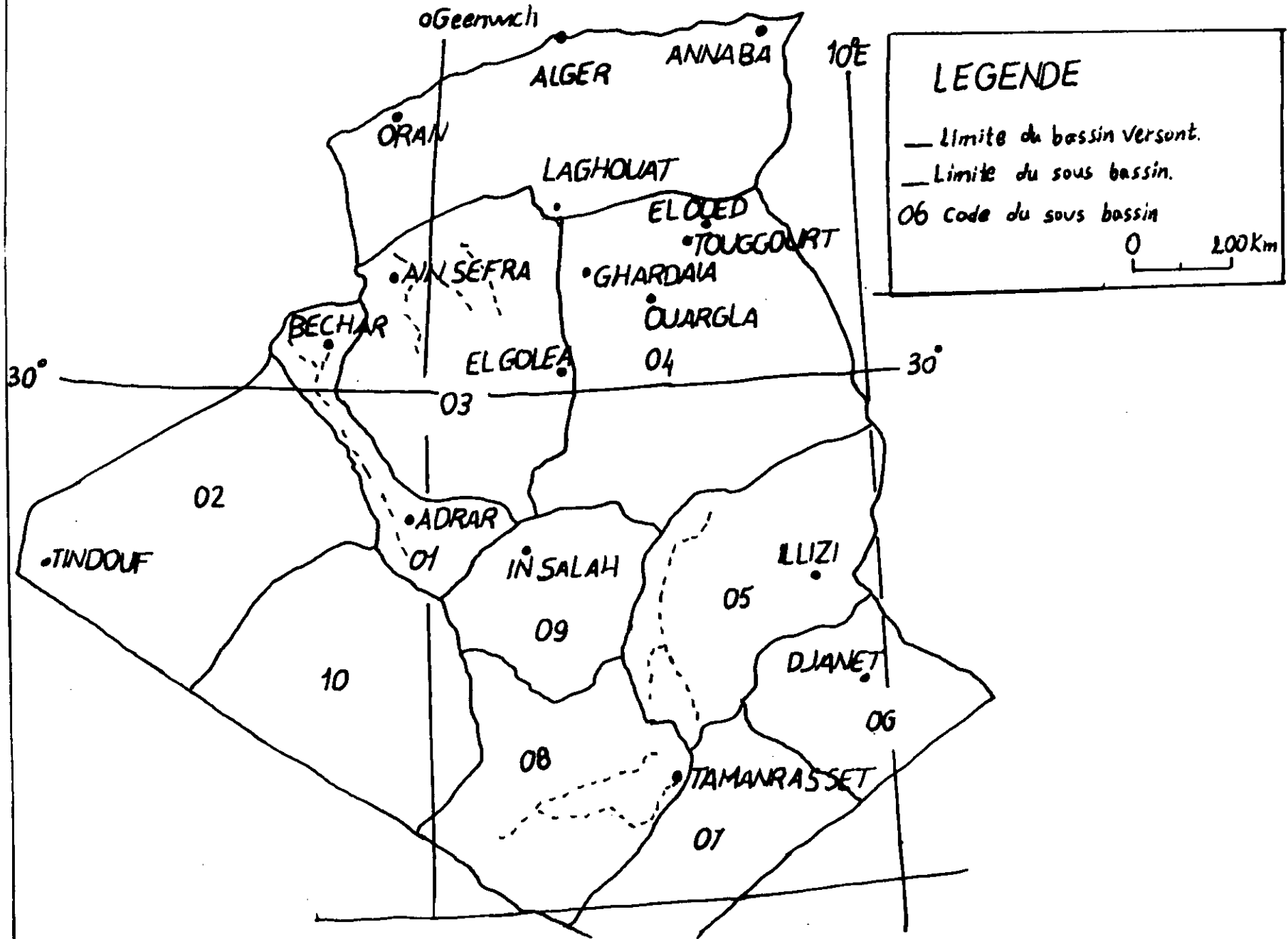


FIG I.2 CARTE DES SOUS BASSINS DU SAHARA



I.3.1 Précipitations moyennes mensuelles

Les précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ouargla sont présentées en histogramme (Fig. I.4).

La distribution des précipitations moyennes d'Ouargla montre :

- Une période pluvieuse allant du mois de septembre au mois d'avril avec un maximum de 6.1mm au mois d'octobre. Cette valeur est supérieure aux valeurs trouvées aux autres stations .
- Une période sèche s'étendant sur le reste de l'année avec un minimum au mois de juillet pour toutes les stations.

I.3.2 Précipitations moyennes annuelles

Les précipitations moyennes annuelles d'Ouargla porte de 1968 à 1998, ces précipitations sont représentées en histogramme (Fig I.5).

Nous avons classé nos résultats des précipitations maximales et des précipitations minimales par rapport aux études antérieures, (tableau I.2).

Ce tableau présente les apports de précipitations maximales et minimales de la station d'Ouargla établies par des études antérieurs pour des différentes périodes ; Elles montrent le grand écart entre les précipitations maximales et les précipitations minimales, ce qui justifie l'irrégularité des précipitations. Les moyennes annuelles varient dans un intervalle de [36mm-40mm].

Pour le cas présent, la moyenne annuelle des précipitations calculées est de 34.14mm. Cette valeur est proche de l'intervalle cité ci-dessus ; Ce qui confirme que la région d'Ouargla est caractérisée par une irrégularité des précipitations et par un climat aride et sec.

Etudes	périodes	P Max(mm)	P Min(mm)
Djedda.A,Djettou R.en 1991	1942-1960	106.0(1958)	8 (1938)
Haddadi .H, zayed.D en 1994	1931-1984	106.0(1958)	8 (1938)
Bendrissou. Med en 1998	1977-1996	102.7 (1990)	6.7 (1989)
Cas présent	1968-1998	96(1975)	5.4 (1998)

Tableau I.2 : précipitations maximale et minimale des études antérieures au niveau de la station d'Ouargla.

I.3.2.1 Paramètres statistiques

Nous avons résumé les résultats des paramètres statistiques : la moyenne (\bar{X}) l'écart type (σ), le coefficient de variation (C.V). Des différentes études .

Le tableau I.3 présente les résultats des calculs des paramètres statistiques de la station d'Ouargla , le tableau I.4 présente les paramètres statistiques des stations voisines.

étude	Période d'étude	\bar{X} (mm)	σ (mm)	C.V (%)
Dubief	1926-1950	40.00	*	*
Djeddo.A,Djettou.R ; 1998	1931-1984	35.58	24.78	62.61
Bendrissou.M ; 1998	1977-1996	36.73	39.58	65.83
Slimani.F, Daoudi.Z ; 1997	1991-1995	37.5	5.436.73 8	14.61
Cas présent	1968-1998	34.14	23.72	69.48
	1988-1998	37.14	26.28	70.76

Tableau I.3 résultats des calculs des paramètres statistiques

stations	Période	\bar{X} (mm)	σ (mm)	C.V(%)
El-Oued	1975-1994	70.28	41.24	58.68
Tougourt	1988-1997	80.22	24.12	42.53
Ghardaïa	1988-1998	80.88	47.08	58.21
El-Goléa	1988-1998	42.8	24.27	56.71

Tableau I.4 résultats des calculs des paramètres statistiques des régions voisines d'Ouargla.

On voit bien que le coefficient de variation est toujours supérieur à 50 % dans toutes les stations et particulièrement les résultats concernant la station d'Ouargla , ce qui exprime encore bien l'irrégularité des précipitation dans la région étudiée.

I.3.2.2 Ajustement des précipitations annuelles période : 1968 - 1998

Le test χ^2 montre que le meilleur ajustement est celui de la loi normale. Il consiste à faire une comparaison entre une distribution naturelle divisée en un nombre de classe (n) d'égale probabilité. Le calcul de ce test est représenté au tableau :I.5

Loi	\bar{X} (mm)	C.V	χ^2
Loi Normal	34.14	0.6	1.73
Loi Racine carrée Normale	5.55	0.34	4.44
Log Normal	34.14	0.69	8.32

Tableau I.5 test de χ^2 .

I.3.2.2.1 : Ajustement des précipitations annuelles à la loi Normale

L'ajustement a pour but de trouver les périodes de retours. Cet ajustement par la loi normale se fait sur une période de 31 ans allant de 1968 à 1998 .

◆ Loi Normal :

La loi Normale est la distribution que suit un phénomène aléatoire résultant de la somme d'un grand nombre de facteurs aléatoires indépendants et de même importance, il est utilisé pour calculer les moyennes .

◆ Droite D'HENRY :

Le test par la droite d'HENRY consiste à reporter dans un papier à probabilité ; en ordonnées les valeurs de précipitations moyennes annuelles et en abscisses les probabilités P en %, L'équation de la droite d'HENRY est donné par : $x_p = \bar{X} + \sigma u_p$.

Il nous suffit de connaître au moins deux (02) points pour tracer ce graphe. On prend les valeurs du tableau ci dessous qui comporte les valeurs de probabilités (P) et les points correspondants. Le tableau I.6 présente les probabilités et leur points x_p correspondantes

p	u_p	x_p
0.50	0	34.14
0.025	-1.96	2.352
0.90	1.28	64.5
0.6	0.25	40.07

Tableau I.6 probabilités et leur points x_p correspondantes

L'équation précédente s'écrit comme suivant : $x_p = 34.14 + 23.72u$ (u est déduits de la table de Gauss).

Le tableau I.7 indique les précipitations moyennes annuelles et les calculs des probabilités telle que l'expression de la formule de la fréquence de WUNDAIT est :

$$P = \frac{R}{N+1},$$

N: taille de l'échantillon, elle est égale à 31 ans.

La répartition des précipitations à la dépression d'Ouargla donne des points alignés par la droite d'Henry (Fig I.3). Cette droite nous permet de calculer les précipitations qui correspondent aux périodes de retours de 10ans, 100ans, 1000ans.

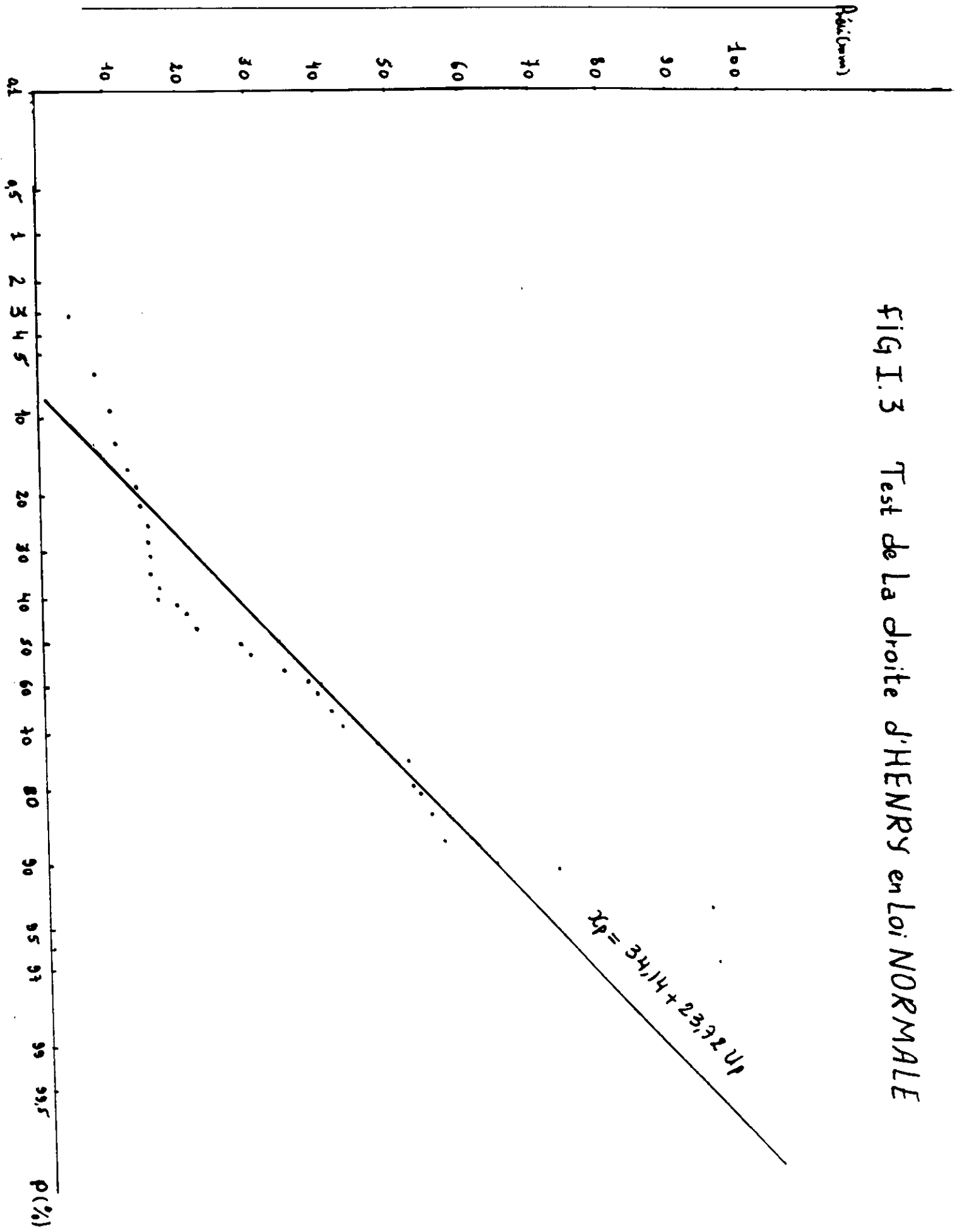


FIG I. 3 Test de La droite d'HENRY en Loi NORMALE

Années	Rang	Pre(mm)	P en %	Années	Rang	Pre(mm)	P en %
1988	1	5.4	3.13	1997	17	29.9	53.13
1991	2	8.9	6.25	1986	18	34.9	56.25
1971	3	10.6	9.38	1995	19	37.9	59.38
1985	4	11.1	12.5	1983	20	38.8	62.5
1970	5	13	15.63	1982	21	41.5	65.63
1972	6	14	18.75	1988	22	43.1	68.75
1981	7	14.5	21.88	1996	23	47.5	71.86
1973	8	15.6	25	1994	24	51.9	75
1993	9	15.6	28.13	1971	25	53	78.13
1989	10	15.9	31.25	1969	26	53.6	81.25
1968	11	16	34.88	1987	27	55.4	84.38
1978	12	17.2	37.50	1992	28	57.2	87.5
1984	13	19.3	40.63	1976	29	73	90.63
1980	14	21	43.75	1990	30	95.2	93.75
1977	15	22.5	46.88	1975	31	96	96.88
1979	16	28.5	50				

Tableau I.7 : valeurs des précipitations annuelles classées par ordre croissant et leur probabilités correspondantes

I.3.2.2.2 Détermination des périodes de retours

La formule de calcul de la période de retour est **comme suit** :

$$T = \frac{1}{1 - P}$$

avec :

P : précipitations correspondantes au période de retour en mm

T : période de retour en année.

Les résultats des calculs des précipitations sont illustrés dans le tableau I.8

T(ans)	Probabilité	Précipitation(mm)
10	0.9	64.49
100	0.99	89.41
1000	0.999	105.6

Tableau I.8 calcul des précipitations des périodes de retour de(10,100,1000)ans

Ainsi nous avons déterminé les précipitations correspondantes aux périodes de retour correspondantes aux années 1975,1990,1976,1991,1998 ayant respectivement 96mm,95.2mm,73mm,8.9mm,5.4mm.

Les résultats sont résumés dans le tableau I.9.

Années	P(mm)	Probabilité	T(ans)
1975	96	0.9949	196.08
1990	95.2	0.9949	196.08
1976	73	0.9495	19.8
1991	8.9	0.1446	1.17
1998	5.4	0.113	1.13

Tableau I.9 : calcul des périodes de retours

D'après les résultats précédents où la probabilité du dépassement meilleur est celle qui correspond au test correspond à la loi normale. Cette loi nous permet de tracer la droite d'HENRY afin de connaître les précipitations correspondantes aux différentes périodes de retours ou l'inverse.

I.3.2.3 Conclusion

L'étude des précipitations moyennes annuelles et mensuelles durant une période de 31 ans et de 11 ans (de 1968 à 1998 et de 1988 à 1998 respectivement) a donné des apports faibles de précipitations (un moyen annuel de 37.14mm durant la période de 1988 à 1998 et avec une moyenne annuelle de 34.14mm durant la période 1968-1998). Les études antérieures ont aussi trouvé des apports faibles (Dubief; une moyenne de 40mm durant la période de 1926 à 1950, Djedda. A, Djettou. R; 1991 une moyenne de 39.58mm de 1931 à 1984, Bendrissou. M; une moyenne de 36.73mm de 1977 à 1996).

Les calculs des paramètres statistiques en l'occurrence des coefficients de variation ce dernier est supérieur à 50% pour les précipitations moyennes annuelles, et il est supérieur à 100% pour les précipitations moyennes mensuelles), ce qui confirme les résultats établis antérieurement qui considère que la région d'Ouargla se caractérise par des précipitations irrégulières et que son climat est sec et aride

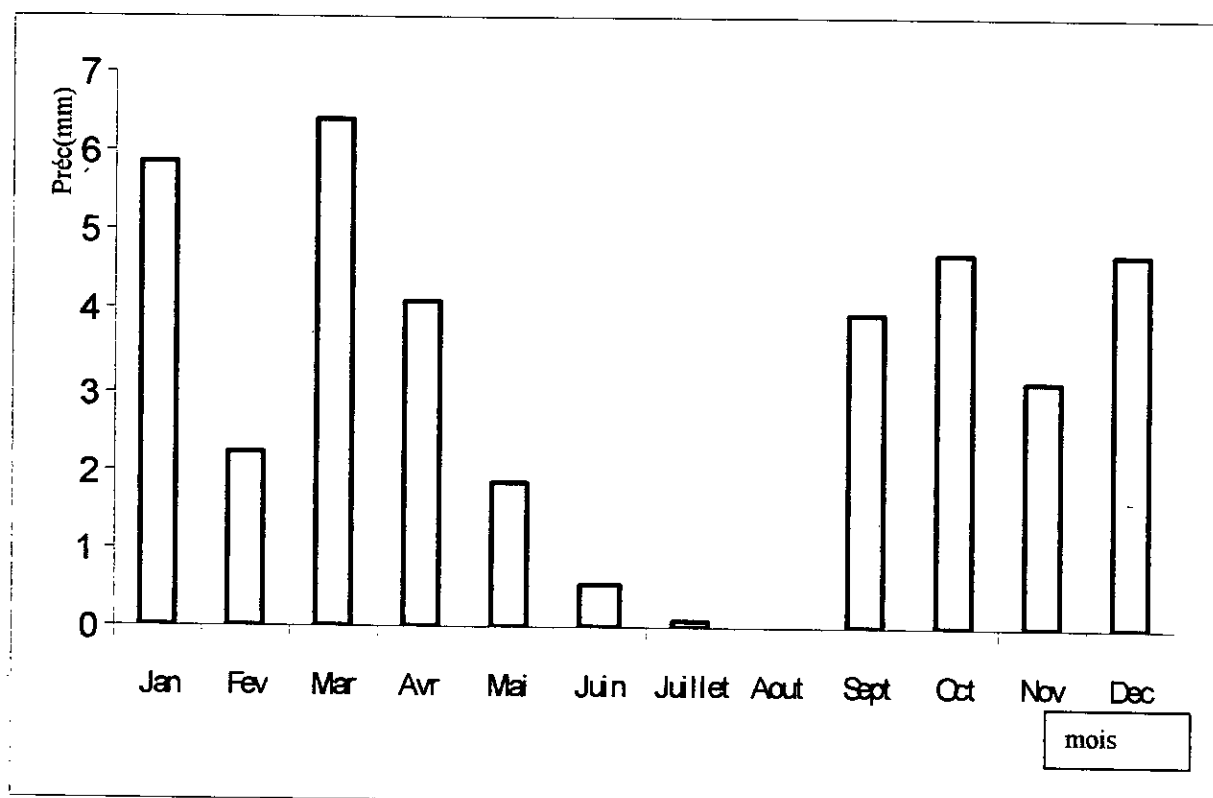


Fig. I.4. précipitations moyennes mensuelles à Ouargla (1988-1998)

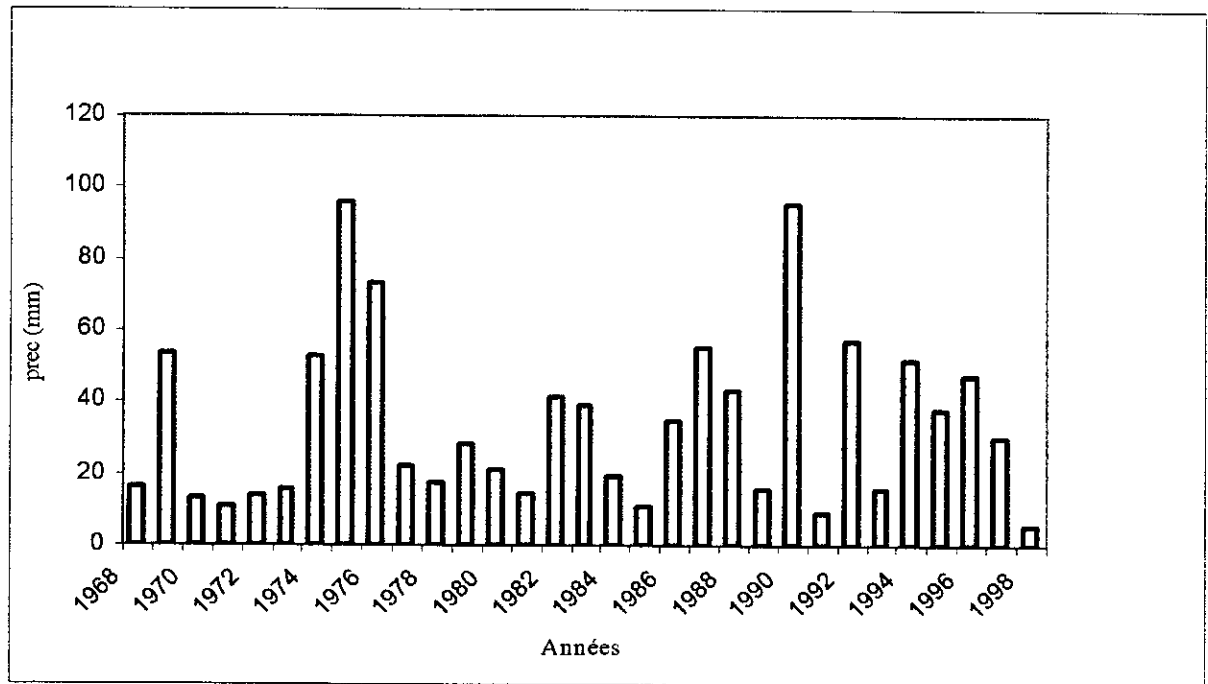


Fig.1.5.précipitations moyennes annuelles à Ouargla

I.4 Les Températures

La température est un facteur fondamental qui conditionne l'hydroclimatologie de toute la région. Elle est indispensable pour le calcul de l'évapotranspiration potentiel (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

Nous allons exploiter les données concernant la période 1988-1998 puis on fait une comparaison avec les études précédentes établie pour différentes périodes.

I.4.1. Les Températures moyennes mensuelles

Les courbes de variations **moyennes mensuelles**, maximales et minimales pour la période 1988-1998 et pour la période 1951-1970 sont reportées aux figures (I.6) et fig.(I.7).

La période de 11 ans allant de 1988-1998 se caractérise par une période froide allant du mois de novembre au mois d'avril avec des valeurs variants entre 11.65°C et 21.1°C même

même remarque pour la période de 20 ans allant de 1951 à 1970 ; le mois de janvier étant le mois le plus froid.

I.4.1.1. Comparaison de données de températures

La température moyenne annuelle de la station d'Ouargla (1951-1970) est de 22.33°C et elle est de 23.02°C pour la période 1988-1998, on constate que malgré les deux périodes sont différentes, il n'y a pas un grand écart entre les deux moyennes.

La température maximale correspond au mois de juillet avec 36.15°C et avec un écart de 5.6°C entre la température maximale et la température minimale du même mois (1951-1970), Elle est de 36.5°C du mois du juillet avec un écart de 4.4°C entre la température maximale et la température minimale (1988-1998).

Le tableau (I.10) présente les valeurs de température moyenne, maximale et minimale des différentes périodes :

	Période	T _{max} (°c)	T _{min} (°c)	T _{moy} (°c)
Dubief	1926-1950	43.9(juillet)	4.4(janvier)	22.81
Djedda. A, Djettou. R ; 1991	1931-1984	42.0(juillet)	4.5(janvier)	22.3
Haddadi. H, Zayed ; 1994	1958-1968	41.8(juillet)	5.1(janvier)	22.2
Bendrissou. M ; 1998.	1991-1996	36.5(juillet)	9.4(janvier)	22.7
Cas présent	1951-1970	36.15(juillet)	9.2(décembre)	22.3
	1988-1998	36.5(juillet)	9.3(janvier)	23.02

Tableau I.10 comparaisons des valeurs des températures

Les valeurs des températures moyennes, maximales et minimales (tableau I.9) montre que l'écart entre elles ne varient pas beaucoup et il est presque constant . Les courbes des figures I.6 et I.7 reproduisent les variations mensuelles moyennes montra une croissance des températures de l'air, de janvier à juillet pour les températures moyennes et maximales et de janvier à août pour les températures minimales.

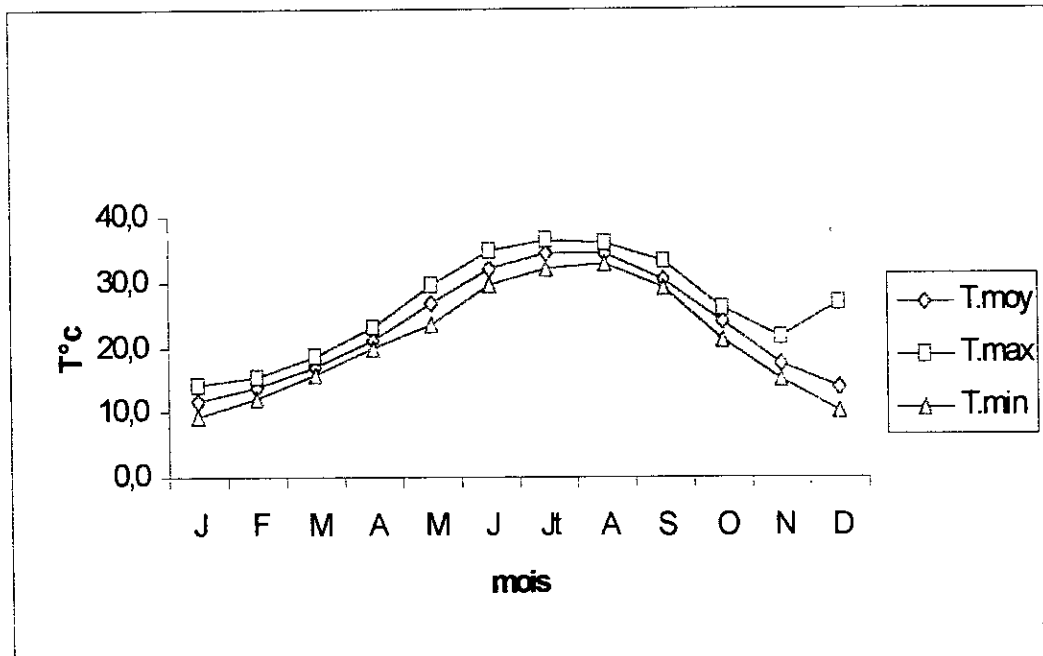


Fig I.6 Courbes des températures moyennes mensuelles à Ouargla (1988-1998)

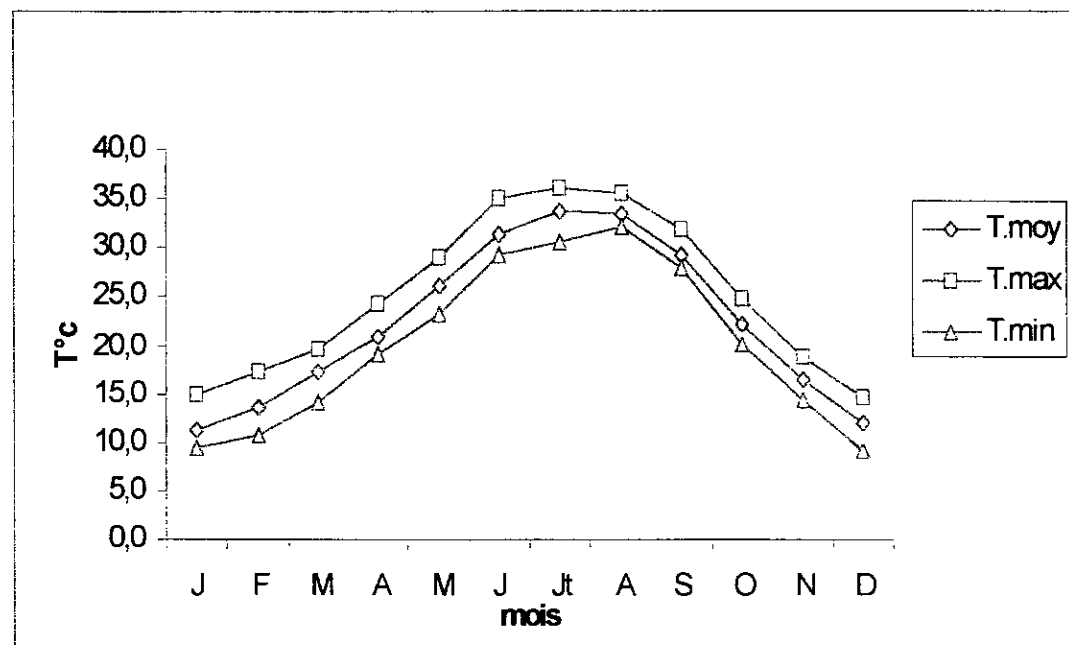


Fig. I.7 Courbes des températures moyennes mensuelles station d'Ouargla (1951-1970)

I.4.2 L'évaporation

L'évaporation est le processus physique au cours duquel un liquide se transforme en vapeur, elle est sans doute l'une des données climatologiques le plus difficile à approcher.

Ce terme représente la restitution de l'eau de la surface terrestre (sols, végétaux, nappes, l'eau libre) sous forme de vapeurs, à l'atmosphère et sous des conditions climatiques et physiographiques données (précipitations, vents, températures, textures des sols, végétation et relief). On distingue :

- ✓ L'évapotranspiration réelle (ETR) qui correspond à la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée
- ✓ L'évapotranspiration potentielle (ETP) qui correspond à la quantité d'eau qui pourrait être évaporée et transpirée si les sols contenaient en permanence une quantité d'eau suffisante, elle est donc supérieure ou égale à l'évapotranspiration réelle ($ETP \geq ETR$)

I.4.2.1. Evapotranspiration réelle

La formule de TURC c'est une formule empirique qui s'applique à tous les climats son expression est la suivante :

$$ETR(m/an) = p / \sqrt{0.9 + (p^2/L^2)}$$

Avec :

ETR : évapotranspiration réelle annuelle en mm

P : précipitations moyennes annuelles en °C

L : pouvoir évaporant ($L = 300 + 25T + 0.05T^3$)

T : température moyenne annuelle en °C

La température moyenne annuelle est de 23.02°C avec une hauteur annuelle de précipitation de 37.14mm (période 1988-1998)

L'application numérique donne pour la station d'OUARGLA une valeur de 39.14mm (période 1988-1998)

I.4.2.1.1. Formule de COUTAGNE

La formule de l'ETP est la suivante :

$$ETP = P - \lambda P^2$$

avec

P : précipitation moyenne annuelle en mm

T : température moyenne annuelle en °C

$$\lambda = 1 / (0.8 + 0.14T)$$

La formule de COUTAGNE n'est pas applicable que si les précipitations sont comprises entre $1/8\lambda$ et $1/2\lambda$. pour le cas étudié $T_{moy} = 23.02^\circ\text{C}$, $P = 0.03714\text{m}$ donnent $\lambda = 0.25$ et $1/8\lambda = 0.5$ et $1/2\lambda = 2.01$ et $0.03714 \notin [0.5, 2.01]$. Donc les précipitations sont inférieures à $1/8\lambda$ par conséquent la formule de COUTAGNE n'est pas applicable.

I.4.3 Evapotranspiration potentielle

I.4.3.1 Formule de SERRA

$$ETP = 16(10T/I)^a$$

Avec :

$$I = \sum i, i = 0.09T^{3/2}$$

$$a = 1.6 \frac{I}{100} + 0.5$$

I : indice thermique annuel.

I : indice thermique mensuel.

Le tableau I.13 donne les valeurs de l'ETP en (mm) de la station d'Ouargla

$$I = 124.77, a = 1.6 \frac{I}{100} + 0.5 = 2.5.$$

K : représente le facteur de correction, il est en fonction du mois et de latitude

Nous obtenons ainsi une évapotranspiration potentielle annuelle de 1215.28 mm pour un indice théorique annuelle $I = 124.77$.

le tableau (I.11) présente les valeurs des ETP corrigées.

Paramètre mois	T°C	i	ETP non corrigé (mm)	K	ETP corrigé (mm)
Septembre	30.22	14.95	146.07	1.03	150.41
Octobre	23.65	10.35	79.14	0.88	77.56
Novembre	17.40	6.53	36.75	0.88	32.34
Décembre	13.90	4.66	20.96	0.87	18.23
Janvier	11.65	3.58	13.48	0.89	11.99
Février	13.62	4.52	19.92	0.86	17.13
Mars	16.96	6.29	34.47	1.03	35.50
Avril	21.1	8.72	59.50	1.08	64.26
Mai	26.7	12.42	107.18	1.19	127.55
Juin	32.04	16.32	169.07	1.19	201.20
Juillet	34.51	18.25	203.57	1.21	246.32
Août	34.43	18.18	202.39	1.15	232.75
Moyenne annuelle	23.02	124.77	1092.5		1215.28

Tableau I.11 ETP moyennes mensuelles et annuelles calculées par la formule de L.Serra à la station d'Ouargla(1988-1998)

I.4.3.2 Formule de THORNTHWAITE

Elle très employée en hydrologie car sa résolution nécessite la connaissance de la température moyenne mensuelle de l'air.

$$ETP=16((10T/I)^a)$$

Avec :

$$I= \sum i \text{ ou } i=[\frac{T}{5}]^{1.514}$$

Avec $a=6.75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1.79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0.49$.

I : indice thermique annuel.

i : indice thermique mensuel.

T : température moyenne mensuelle du mois considéré en °C.

Le tableau (I.12) résume les valeurs obtenues d'ETP par la formule de THORNTHWAITE qui a été mise au point les zones tempérée et arides, il est évident qu'elle tendra à surestimer les valeurs de l'ETP

. $I=191.34$ $a=2.898$

	T(°C)	i	ETP non corrigée(mm)	K	ETP corrigée
Septembre	30.22	15.24	198.21	1.03	204.16
Octobre	23.65	10.51	97.36	0.98	95.41
Novembre	17.40	6.61	39.98	0.88	35.14
Décembre	13.90	4.70	20.85	0.87	18.14
Janvier	11.65	3.59	12.49	0.89	11.12
Février	13.62	4.56	19.65	0.86	16.89
Mars	16.96	6.35	37.12	1.03	38.23
Avril	21.1	8.85	69.94	1.08	75.53
Mai	26.7	12.63	138.41	1.19	164.71
Juin	32.04	16.65	234.85	1.19	279.47
Juillet	34.51	18.63	291.29	1.21	352.46
Août	34.43	18.56	289.33	1.15	332.73
Moyenne Annuel	23.02	126.88	14449.48		1623.96

Tableau I.12 : ETP moyennes mensuelles et annuelles calculées par la formule de THORNTHWAITE à la station d'Ouargla(1988-1998).

K :représente un facteur de correction, il est en fonction du mois et de la latitude

La valeur de l'évapotranspiration potentielle annuelle trouvé est de 1623.96 mm/ans pour un indice thermique annuel, $I=126.88$

I.4.4 :Analyse des résultats

Afin d'établir des comparaisons entre les études antérieures et nos résultats, nous avons regroupé les valeurs de L'ETP et de L'ETR dans le tableau I.12 :

	Période	ETR(mm)		ETP(mm/ans)	
		Turc	Coutagne	Serra	Thorntwaite
Djedda. A, Djettou.R en 1991	1931-1984	43.13	Non applicable	1174.00	1558.00
Haddadi.H Zayed.D en 1994	1988	80.4	-	-	1869.6
	1989	6.6	-	-	2154.7
	1990	106.8	-	-	1772.4
Bendrissou. M en 1998	1977-1996	40.78	Non applicable	1224.9	1612.6
Cas présent	1988-1998	39.14	Non applicable	1215.28	1623.96

Tableau I.12 : résultats des valeurs de l'ETP et de l'ETR (différentes périodes)

Le calcul de l'ETP par la formule de Thorntwaite et par la formule de Serra ne donnent pas le même résultats que soit pour la période de 1988 à 1998 ou autre périodes.

La comparaison des valeurs d'ETP calculées seulement par la formule de SERRA pour trois études antérieures (1988-1998), (1931-1984), (1977-1996), donne des valeurs annuelles très proches entre elles et supérieurs aux valeurs trouvées par la formule de Thorntwaite, et que les valeurs de l'ETP et de l'ETR sont supérieurs aux précipitations moyennes annuelles que soit ses valeurs calculées par la formule de TURC ou SERRA ou Thorntwaite. Ce qui signifie que les quantité d'eau apportée par les précipitations atmosphérique à la surface du sol sont reprises par l'évapotranspiration.

Il reste à dire que tout résultats soit en fait à discuter car les formules de calcul sont des formules empiriques qui donne des résultats approximatives.

I.4.5. Essai du bilan hydrologique

La formule classique du bilan hydrologique est la suivante :

$$P=E+R+I+ \Delta W.$$

Avec :

P : précipitation moyennes annuelles en mm.

E : évapotranspiration réelle moyen annuel en mm.

R : ruissellement moyen annuel en mm

I : infiltration moyenne en mm.

ΔW : variation des réserves en mm considérer nulle.

Nous estimons le bilan moyen correspondant à une période de 11 ans allant de 1988 à 1998 et en exploitant les résultats de Djedda A, et Djettou R. ; 1991 on estime aussi le bilan moyen correspondant à une période de 53 ans allant de 1931 à 1984 puis on fait une comparaison entre les deux bilans.

I.4.5.1. Ruissellement

Il existe beaucoup de formules empiriques qui estime le ruissellement, on choisit la formule de TIXERON –BERKALOFF, elle nous permet de faire le calcul du ruissellement car elle est en fonction de l'évapotranspiration réelle et de la précipitation mais il reste à discuter les résultats trouvés.

D 'après la formule de TIXERON –BERKALOFF le ruissellement est estimé approximativement :

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

Avec :R : ruissellement en mètre .

P : précipitation moyenne annuelle en mètre .

ETP : évapotranspiration potentielle en mètre .

I.4.5.2. Infiltration

L'équation du bilan hydrologique est donnée par :

$$P=E+R+I.$$

Ça donne $I= P-E-R$.

Le tableau I.13 : présente les résultats de ruissellement et de l'infiltration pour deux périodes différentes :

	Période	P(mm)	ETP(mm)	ETR(mm)	R(mm)	I(mm)
Djettou.R,Djedda.A ;1991	1931-1984	39.58	1538	43.13	0	0
Cas présent	1988-1998	37.14	1623.96	39.14	0	0

Tableau I.13 : calcul de ruissellement et de l'infiltration

Le tableau ci-dessus montre que les apports des ruissellements pour les deux périodes sont nuls aussi que l'infiltration ; L'évapotranspiration est supérieure aux précipitations moyenne ; en réalité on ne peut rien conclure car les résultats trouvés par des formules empiriques restent à discuter.

La surface de la dépression d'Ouargla est de 140 Km² ce que signifie que l'impluvieau reçoit en moyenne $5.1996 \cdot 10^6$ m³/ans (cette valeur est déduite par la multiplication de la surface par la précipitation moyenne).

Il y a lieu d'étudier les crues de la région qui peuvent constituer un réel apport en eau.

I.5. Conclusion

L'étude hydroclimatologique à porté sur une période de 31 ans et 11 ans, la comparaisons des résultats de la pluviométrie des études antérieures de Djedda.A ,Djettou.R ; 1991, et de Haddadi.H ,Zayed.D ;1994,Bendriessou.M ;1998, avec notre étude ont montré bien la sécheresse et l'aridité du climat ainsi que l'irrégularité des précipitations moyennes mensuelles. Les précipitations moyennes annuelles comparées aux précipitations des stations voisines varient entre 34.14mm et 80.88mm.

Les valeurs trouvées de l'ETR et de l'ETP sont supérieures aux précipitations moyennes ce qui signifie que toutes ces précipitations sont évaporées

L'estimation du bilan hydrologique montre que 100% des précipitations sont reprises par évaporant, avec une lame d'eau de 37.14mm.

Le calcul de l'infiltration donne des valeurs nulles, la formule empirique utilisé ne permet pas de l'évaluer avec précision. Neau moins l'étude des crues constituerait un apport d'eau par infiltration non nuls.

Puisque les précipitations sont irrégulier et que l'établissement du bilan annuelle donne une ETP supérieure largement aux P, il serait fort intéressant d'étudiés les intensités d'eau de pluie, ce qui constituerait un apport d'eau par ruissellement et par infiltration.

CHAPITRE II
GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE

II.1. Introduction

La géologie algérienne est caractérisée par quatre grands ensembles structuraux. Nous distinguons du Nord vers le Sud :

- Le domaine des massifs primaires Kabyles;
- Le domaine tellien;
- Le domaine présaharien qui regroupe les hauts plateaux et l'Atlas saharien;
- Le domaine de la plate-forme saharienne.

II-2 Géomorphologie

La zone étudiée est située sur le lit de la vallée de l'Oued M'Ya, actuellement occupée par le ruban discontinu des Sebkhass. Le relief de la zone d'étude est caractérisé par des pentes légèrement inférieures à 1%, c'est à dire que sur le terrain, il est constaté une dénivelée de 52m sur une distance de 55000m, toute fois ce palier de pente n'est pas constant.

Les pentes de 2% se localisent au pied Dedjabel Abbad à la rive de Sebkhha d' Ouargla.

Les pentes de 1,18%, sont situées au Nord de la Sebkhha d' Ouargla jusqu'à la palmeraie de N'goussa.

Après le seuil de N'goussa, la topographie devient pratiquement plane jusqu'aux rives de Sebkhhet Safouine ou la pente est réduite à 0.6%.

La topographie du site constitue par l'absence des pentes, des contraintes majeure pour l'évacuation des eaux excédentaires de l'irrigation et des eaux usées domestiques et industrielles.

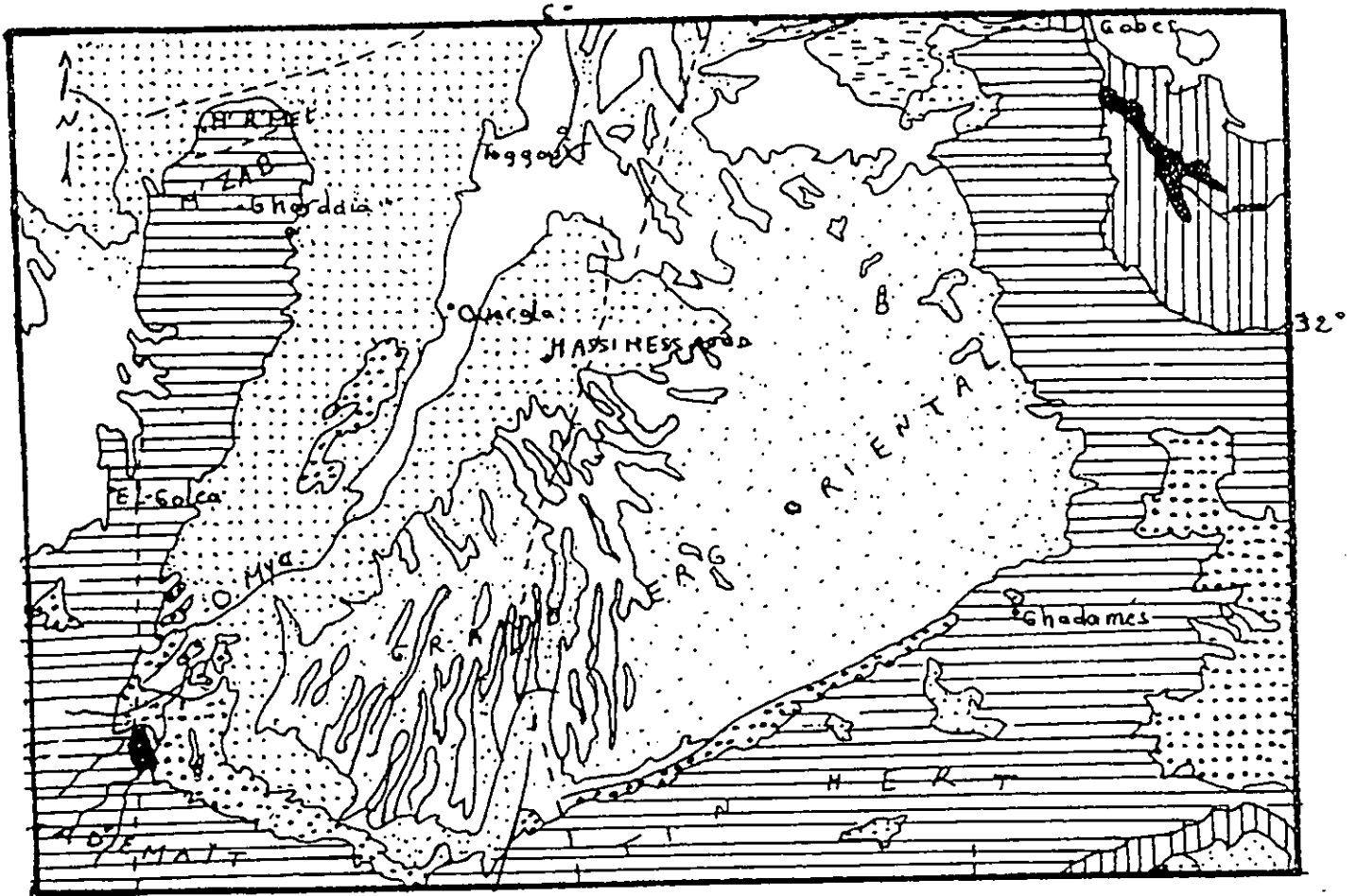
II-3 Géologie régionale

La cuvette d' Ouargla fait partie du bassin Algéro-Tunisien dit bassin mésozoïque saharien, mis en évidence par BUSSON en 1970, celui ci appartenant à la plate forme saharienne. Le bassin mésozoïque est composé de deux grands ensembles de terrains paléozoïque et mésozoïque séparés par une discordance assez générale d'âge hercynien.

EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE DU NORD-OUEST DE L'AFRIQUE

Fig II.1

ECHELLE : 1/5.000.000



LEGENDE

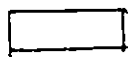


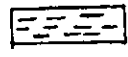
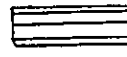
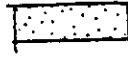



- | | | | | | |
|---|---------------------|---|------------|---|--------|
|  | Quaternaire |  | Eocènes |  | Faille |
|  | Sebkha - Lac |  | Crétacé | | |
|  | Dunes |  | Jurassique | | |
|  | Neogène + Oligocène |  | Trias | | |

Fig II.2

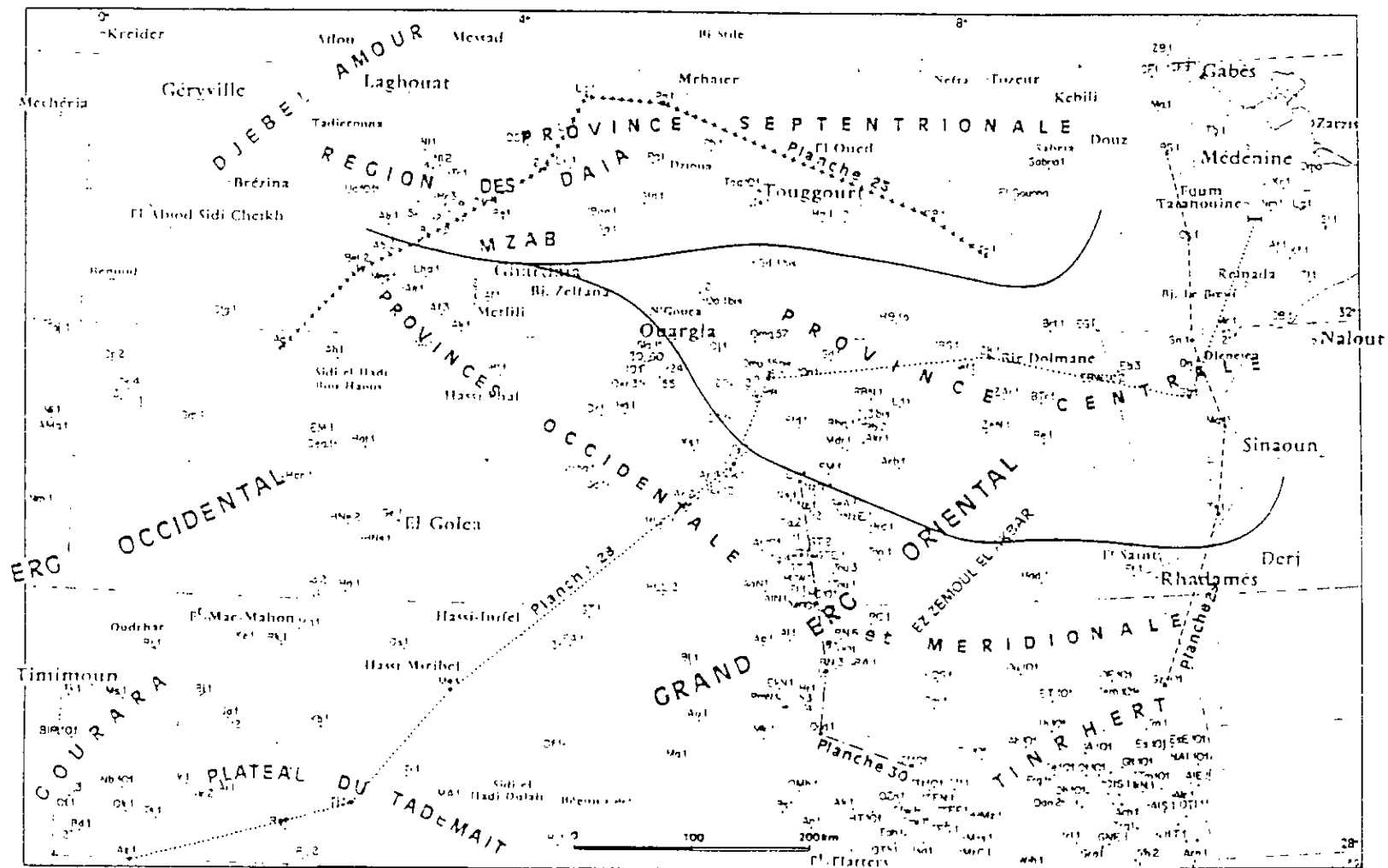


Fig. 2 — Carte des limites des provinces adoptées pour la description du Callorien-Oxfordien-Kimmeridgien (intervalle E6-E8) et implantation des coupes au 2 500' (planches 25, 28, 29 et 30).

G. BUSSON : SYNTHÈSE DES DONNÉES DE SONDAGES (I, II)

LOG SYNTHETIQUE D'OUARGLA

(Fig II.3)

ETAGES			LITHOLOGIE		HYDROGÉOLOGIE
TERTIAIRE	Mio-Pliocène	10	Alternance de: calcaire, gypse, argile et sable		Aquifère du MIO-PLIOCÈNE
	Eocène	160	Calcaire		Aquifère du SENONO-EOCÈNE
CRÉTACÉ	SENONIEN	280	Calcaire fissuré		Carbonaté
		500	Anhydrite massive, dolomie, argile		Imperméable
	900	Sel argile, gypse			
	1100				
	Turonien	1160	Calcaire marneux fissuré		Semi perméable
	Cénomane	1520	Dolomies, argiles Marnes, anhydrite		Imperméable
	Vraconien	1450	Argile, Dolomie		
	Albien	1460	Sable Argiles sableuses		Aquifère du CONTINENTAL
	1660				
	1680				
1680		Dolomites		INTERCALAIRE	
Barrémien		Sable, Grès			

l'ossature ante cambrienne et infracambrienne de ce bassin affleure surtout dans deux importants endroits ; Les boucliers Reguibat et de l'Ahaggar (Fig II.1)

Le bassin mésozoïque est limité :

- Au Nord : par l'accident sud-atlasique
- A l'Est : l'amincissement et biseautage des séries mésozoïques dans la tripolitaine
- A l'ouest : par le bouclier reguibat, paléozoïque d'Ouargla et abelbala et le bassin de Bechar
- Au sud : par le bouclier Ahaggar constitué de terrains infra et antécambriens, repris par plusieurs cycles orogéniques, bordé au Nord par la ceinture paléozoïque du Tassili

II-4 Interprétation des coupes géologiques

La coupe NE-SO

On peut remarquer que les terrains allant du continental intercalaire au Pliocène continental sont pratiquement horizontaux dans la région d'Ouargla. De bas en haut, on distingue une formation massive de grès parfois argileux correspondent au continental intercalaire, cette formation constitue un important réservoir aquifère au-dessus : Du Cénomaniens à l'Eocene moyen on a une intercalation de calcaires dolomitiques et marnes, : figII.4 et figII.5

Le Mio-Pliocène est constitué de sables et d'argiles formant un réservoir aquifère assez étendu, surmonté par endroit de calcaires lacustres(pliocène continental).

La coupe N-S

Concernant la coupe N-S du Bas-sahara, (Fig II.6), on voit que les terrains antérieurs à l'Eocene moyen, se présente sous forme d'un grand synclinal allant de la bordure sud-Atlasique du Nord vers le sud d'Ouargla, avec un axe situé aux environs de Bordj Chegga alors que les terrains allant de l'Eocene moyen au Mio-Pliocene correspond aux dépôts de remplissage. De bas en haut, on distingue ; les marnes jurassiques, surmontée d'un biseau d'évaporante ensuite apparaît le continental intercalaire constituée des sables, grès et argiles avec la barre aptienne qui constitue la base de la plupart des forages albiens. Du Cénomaniens à l'Eocene inférieure, on a une

alternance de carbonates et évaporites, au-dessus de l'Éocène moyen lagunaire, on a des dépôts des sables et graviers du Mio-Pliocène

FIG. II.4 Coupe Géologique.
Sud-Ouest-Nord-Est

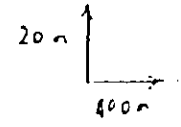
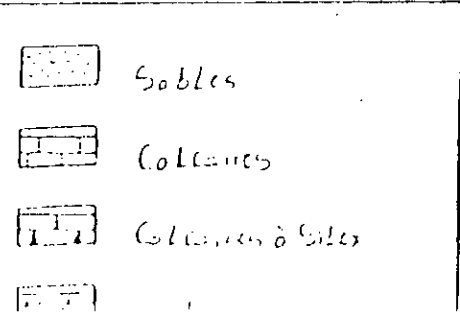
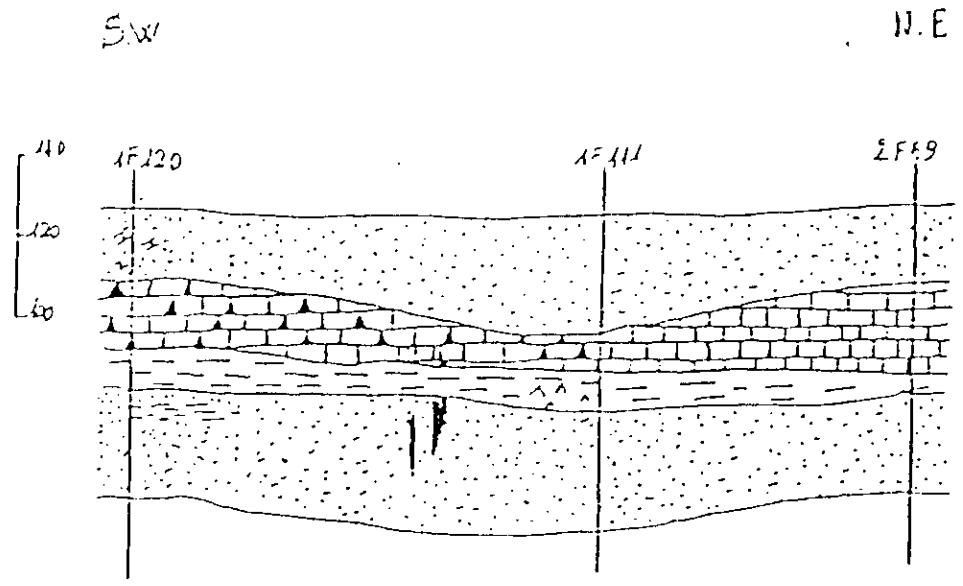
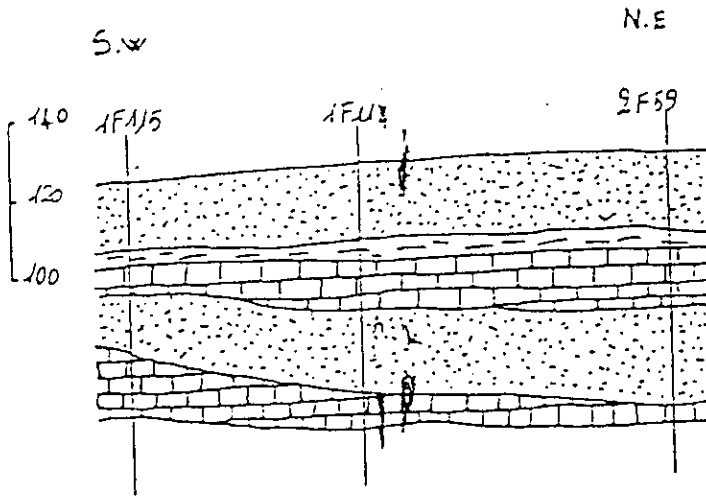



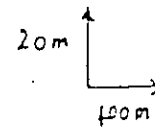
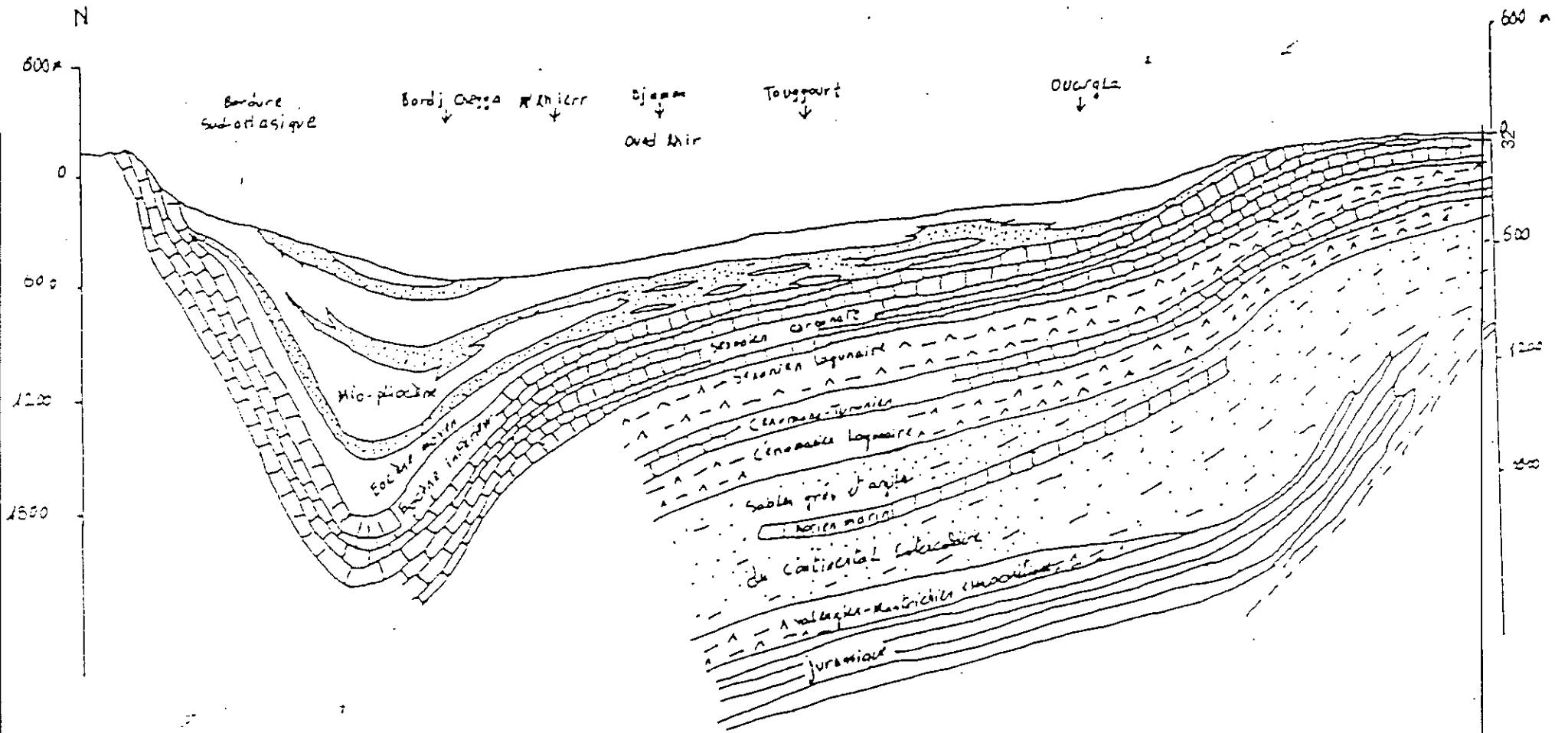


FIGURE II.5 Coupe Géologique
Sud-Ouest - Nord-Est



-  Sables
-  Argiles
-  Calcaires





- | | | |
|--|--|--|
| | | |
| | | |
| | | |

(FIG N° II.6) COUPE SCHEMATIQUE (N-S) DU BAS SAHARA EN PARTIE D'APRES A. CORNET. 1961.

II-5 Géologie locale

II-5-1 Introduction

La région d'Ouargla fait partie de la province centrale (BUSSON.G, 1970). A l'affleurement seul les terrains Mio-Pliocènes sont visibles, recouverts par endroits de sables de dunes, d'alluvions d'oueds et d'évaporites de sebkhas et Dayas d'âge quaternaires.

II-5-2 Lithostratigraphie :

L'étude lithostratigraphique se base sur l'étude de (BUSSON.G, 1970) (fig.II.3)

a) le mésozoïque

1-Aptien :

Nommé «barre aptienne » elle est caractérisée par des teneurs des carbonates compris entre 50% et 75%. Ces carbonatés constituent presque exclusivement de dolomie, les épaisseurs y sont d'une grande régularité puisque comprise entre 20 et 26 mètres.

L'aptien est considéré comme imperméable dans son ensemble.

2-Albien :

Il correspond à la partie supérieure du continental intercalaire. L'albien n'étant défini que par la limite par la barre Aptienne.

La décroissance est relativement régulière vers le Sud avec une épaisseur qui varie de 296m à 465m. Il est formé par les sables et grès qui représentent plus de 70%, et fréquemment même plus de 90%, avec l'intercalation d'argiles sableuses.

L'importance de carbonaté dans cet Albien décroît rapidement.

3- Vraconien :

Il est formé de niveau argileux dolomitique et d'argile sableuses Les épaisseurs y sont inférieures à 100m le Vraconien constitue un terme de passage entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argileux.

4-Cénomaniens :

Il est formé de deux séries (Fig. II.7) :

- a) **La série inférieure** : conductrice est épaisse de 65 à 80m selon les puits. Elle est surtout argileuse, ce sont des argiles dolomitiques et des marnes grises avec quelques passées de calcaire dolomitique.
- b) **La série supérieure** : résistante, elle est épaisse de 60 à 70m. Elle est formée par une alternance d'argiles et de marnes dolomitiques grises, avec de quelques alternances de calcaire dolomitique dans certains puits.

5- Turonien :

Nommé « barre turonienne » se caractérise comme un intervalle très conducteur et surtout très uniformément conducteur.

Les épaisseurs atteignent et dépassent 100m, il s'agit d'une série essentiellement calcaire ; à calcaire crayeux blanc avec quelque passée d'argile à 5% (Fig. II.8).

6- Senonien :

IL est Formé de deux ensembles très différents du point de vue lithologique :

- Le Sénonien lagunaire à la base ;
- Le Sénonien carbonaté au-dessus.

➤ *Le Sénonien lagunaire* :

Le Sénonien lagunaire y est particulièrement épais de l'ordre de 400m ou même plus.

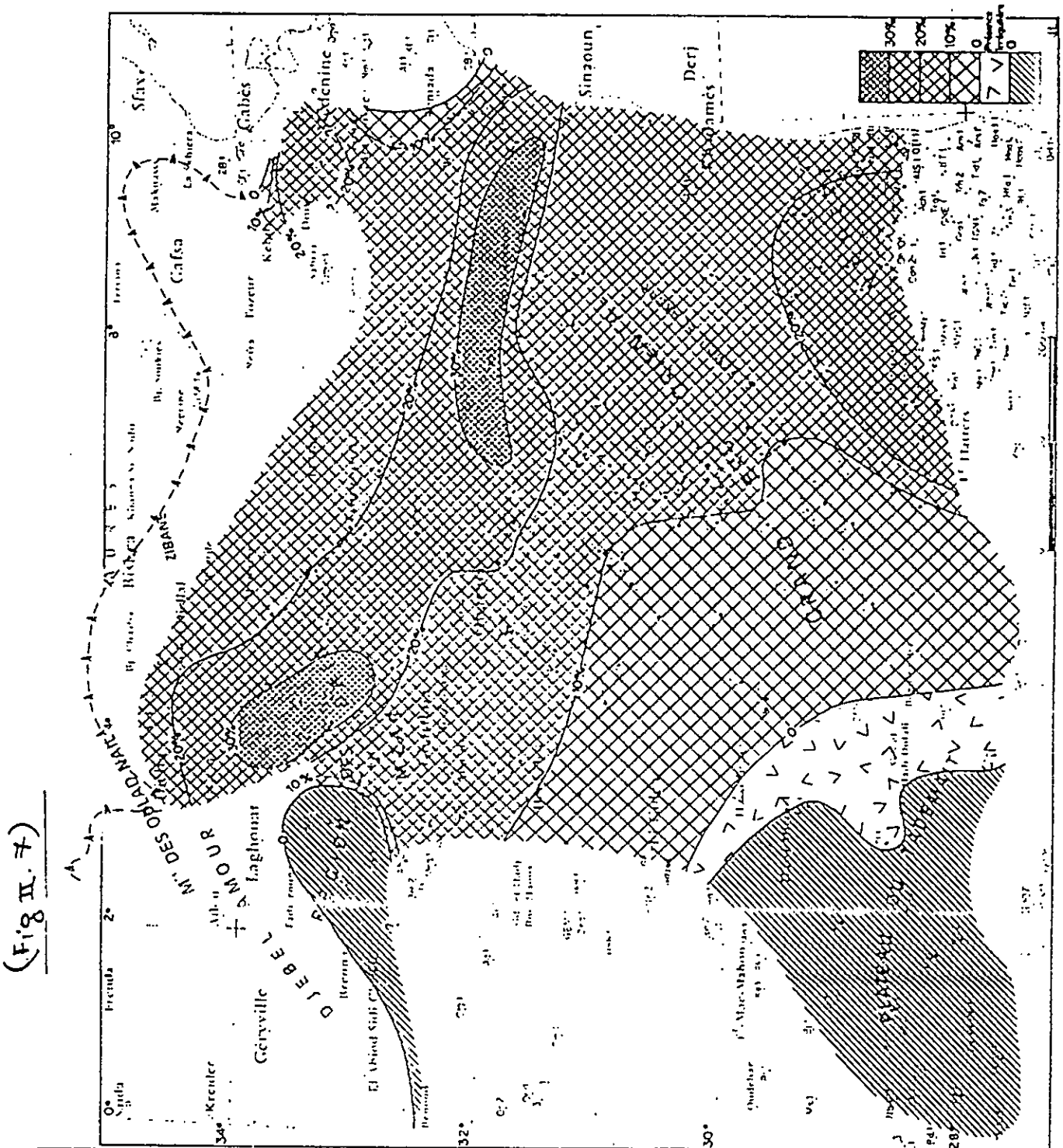
Il est, formé d'anhydrite, de calcaréo-argileux et de salifère.

- Anhydrite inférieure avec une épaisseur comprise entre 40 à 50m.
- Anhydrite moyenne avec des épaisseurs supérieures à 100m.
- Calcaréo-argileuse : son épaisseur varie entre 50 à 70m.
- Salifère : compris entre l'anhydrite inférieure et l'anhydrite moyenne. Il s'établit entre 151 à 158m.

➤ *Le Sénonien carbonaté* :

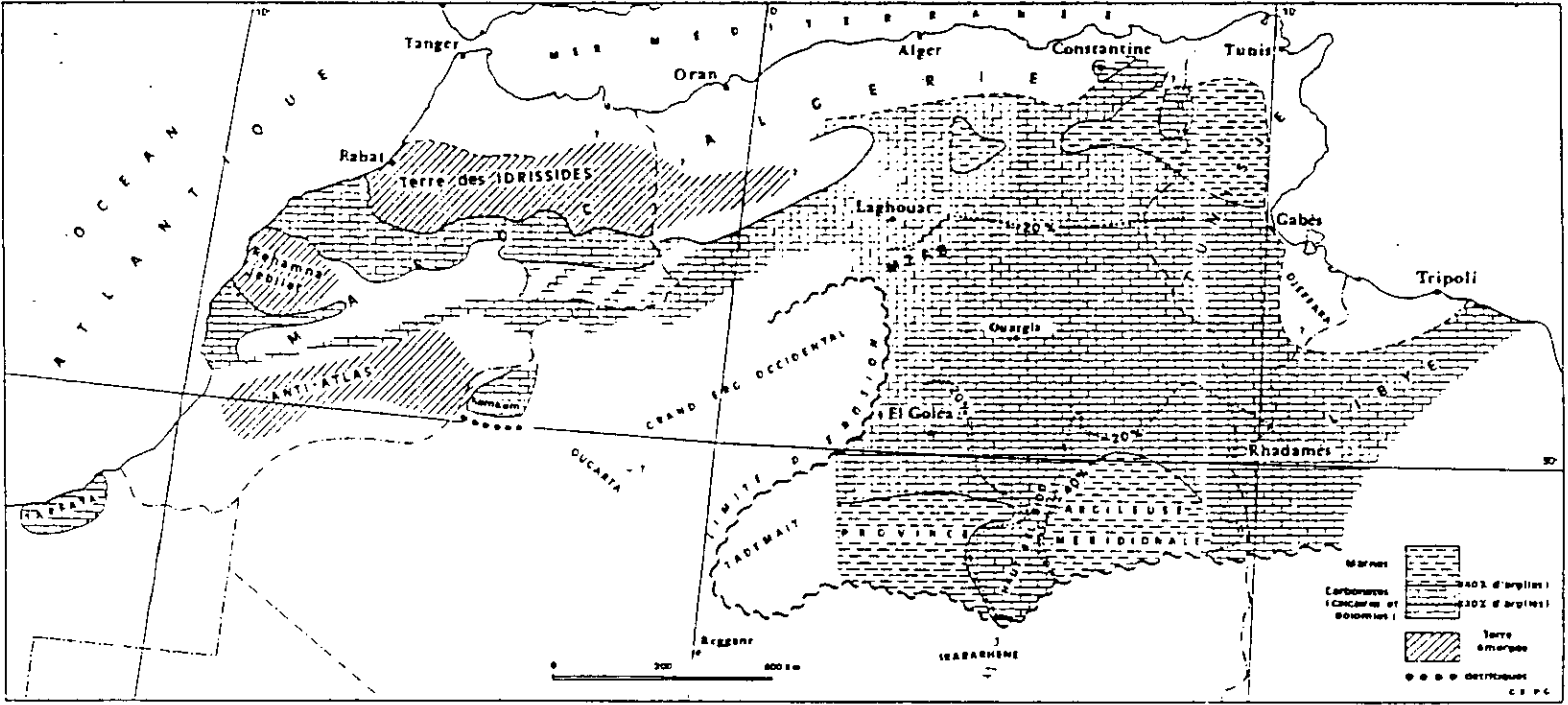
D'une épaisseur de 150 à 200 m. ce niveau, est formé essentiellement de dolomies et de calcaires dolomitiques fissurés, avec des intercalations marneuses et argileuses et plus rarement d'anhydrite.

G. HUSSON : SYNTHÈSE DES DONNÉES DE SONDAGES (I. II)



— Carte en pourcentages de l'anhydrite (et du gypse) contenus dans le « Cénomanién ». Les forages dont les données lithologiques ont été utilisées sont marqués d'un point. La ligne de gypses, dessinée en Berberie, correspond à la limite approximative d'extension septentrionale de ce composant.

(Fig II.8)



— Carte schématique des faciès du Turonien du Nord-Est de la plateforme saharienne et de Berbérie. Sur la plateforme saharienne, il s'agit en général de Cénomaniens supérieur-Turonien.

b) le Tertiaire :

1-Maestrichtien et Eocène

« Le Sénonien carbonaté » il est impossible ici de le distinguer du maestrichtien et de l'Eocène, son épaisseur est régulière.

L'Eocène est carbonaté, épais de 200 à 150m lithologiquement les carbonates forment la quasi-totalité de l'intervalle ; calcaire dolomitique. Les faciès argileux apparaissent quelque fois avec quelque passée de gypse et d'anhydrite.

2-Mio-Pliocene

Il est formé essentiellement par le sable, parfois argileux et carbonaté. Il repose en discordance sur le Sénonien et l'Eocène. Son épaisseur moyenne atteint 100m, il correspond à la limite supérieure de la série du complexe terminal.

3-Le Quaternaire

Il est formé d'argilo-gréseux à la base correspondant aux produits remaniant des terrains Mio-Pliocène, et d'une série supérieure constituée de sable parfois gypseux. Son épaisseur varie de 0 à 20 m.

II-5-3 Interprétation des coupes géologiques

Le Mio-Pliocène est constitué essentiellement de 05 niveaux, de bas en haut, on distingue :

Niveau 1 :

Une couche d'épaisseur de 1 à 2 m formé de marnes.

Niveau 2 :

Il est formé essentiellement d'éléments non argileux : sable fins, grossier, graviers parfois une intercalation d'argiles, marnes et gypses. C'est le niveau aquifère capté par la plupart des forages Mio-Pliocène. Il a une épaisseur de l'ordre de 1 à 42 m.

Niveau 3 :

Il est parfois confondu avec le 2^{ème} niveau, Il est constitué de marnes, argiles et gypses formant des lentilles et rarement en couches continues. Ces dépôts indiquent le passage de dépôt détritique vers le dépôt carbonaté qui surmonte cette couche. Ce niveau a une épaisseur moyenne de 4 à 11 m.

Niveau 4 :

Ce sont des calcaires qui se déposent directement sur les sables du 2^{ème} niveau parfois sur le 3^{ème} niveau. Ce niveau est présent dans tous les forages avec une épaisseur de 20m. Parfois. On note aussi la présence du silex.

Niveau 5

:

Il est essentiellement formé de sable fin gypseux ou argileux. Ce niveau indique le retour au dépôt détritique qui se fait dans la plupart des coupes directement sur les calcaires du niveau 4. L'épaisseur moyenne est de 18m. donc, on peut constater que le Mio-Pliocène est constitué d'intercalation de sables, calcaires et d'argiles.

II-5-4 Evolution spatiale

1-du Sud au Nord

Les sables aquifères gardent une épaisseur constante (30m) plus importante que celle des sables superficiels (16m), dans lesquels le gypse disparaît vers le Nord, ainsi le silex dans les calcaires font apparaître le 1^{er} niveau argileux ainsi que le 3^{eme} niveau .

2-de l'Est vers l'Ouest

Le silex apparaît dans les calcaires et le 2^{eme} niveau devient plus épais (27m) ; on note la présence du gypse dans les sables superficiels (fig.6) .

3-les calcaires

Ils ont une épaisseur variable du S.W au N.E (D1F120 : 16m, D1F11 : 08m, D2F59 : 25 m). le silex apparaît au S/W :

Concernant les sables aquifères du 2^{eme} niveau, on remarque la présence de deux cas :

- Des sables épais (27m) parfois argileux
- Des sables moins épais (19m) et limité vers le bas par des calcaires

II-5-5 Paléogéographie

L'étude paléogéographique a été tirée des travaux de CORNET.A, BUSSON.G

Après les dépôts des formations marines du primaire, le Sahara subit des mouvements tectoniques hercyniens verticaux et horizontaux, puis des mouvements post-triasiques, où le Sahara oriental s'affaisse.

- ❖ Le Trias se caractérise essentiellement par des dépôts d'argiles et de calcaires marquant une vaste transgression. un régime lagunaire s'installe sur l'ensemble de la région :
- ❖ Au Jurassique et au Crétacé Inférieure, les sédiments accumulés à cette époque sont des sables éoliens et fluviaux et des argiles continentales, Les ensembles de ces dépôts transformés en grès

poreux appelés : « continentale intercalaire » dans lequel on a sa partie supérieure dite la nappe albiennne.

❖ Au Crétacé Supérieure et à L'Eocene :

- Au Vraconien : un régime de lagunes de lacs et de lagunes apparaît. Il engendre des dépôts alternés d'argiles, de dolomies, d'argiles sableuses et de grès à ciment calcaire.

- Au Cénomanienn inférieur : une mer peu profonde s'avance vers le Sud jusqu'aux Tassili, mais elle connaît plusieurs phases de régressions. Ces dépôts se composent ainsi d'une alternance d'argile et d'anhydrite.

- Au Cénomanienn supérieur : le régime est franchement marin avec des dépôts de dolomies et de calcaires dolomitiques disposés en bancs de quelques mètres d'épaisseur.

- Au Turonien : un régime marin continue d'exister, responsable du dépôt de calcaires et de dolomies sur l'ensemble du Sahara. A la fin du Turonien, un retour au régime lagunaire est nettement prononcé par des dépôts présentant une alternance irrégulière de bancs d'anhydrite, de dolomie, d'argile et de sel. L'ensemble de ces dépôts appartient au Sénonien lagunaire (inférieur).

- Au Sénonien supérieur : Une nouvelle transgression marine se manifeste ; elle est responsable de dépôts de dolomies, de calcaires dolomitiques et d'intercalation de marne, d'argile quelque fois d'anhydrite.

- A l'Eocène : la mer s'étendait à l'ensemble du bassin, tandis que se poursuit au Nord un mouvement de subsidence révélé par un accroissement des épaisseurs des dépôts carbonatés du Senonien et du l'Eocène de 160m près d'Ouargla.

Après l'Eocène inférieur la mer n'occupe qu'un golf très réduit au Nord de la cuvette ; il s'agit d'une mer résiduelle où se dépose alternativement des calcaires, des argiles, des marnes et de l'anhydrite.

◆ *Tertiaire Continental :*

Quatre niveaux peuvent être distingués dans le tertiaire continental du Bas-Sahara. A la base des dépôts argileux peu épais recouvre dans la partie centrale de la cuvette, suivant une bande Nord-Sud les formations du Sénonien, de l'Éocène carbonaté et de l'Eocène évaporatique. Il est recouvert par des dépôts grésosableux qui devient argileux vers le sommet à proximité supérieure, un deuxième niveau sableux apparaît, la sédimentation continentale s'achève, après la mise en place des formations lagunaires discordantes (Pliocène) assurant le dépôt d'une dalle calcaire sur une grande partie des affleurements antérieurs.

II-6 Tectonique

La région d'Ouargla fait partie du Bas-Sahara, elle est située entre les dépressions de l'oued M'Ya à l'Ouest et Ghadamés à l'Est

Le Bas-Sahara est structurellement divisé en deux parties par les failles hercyniennes du Hoggar s'avancant loin vers le Nord et passant à l'est d'Ouargla, elle est connue sous le nom d'Amguid El-Biod. L'origine atlassique semble avoir une conséquence sur l'ensemble du Sahara.

❖ Les calcaires crétacés du M'zab sont soulevés en forme d'une dorsale, ceux de Tadmaït en forme d'une cuvette.

❖ Les bancs rigides de la couverture sédimentaire saharienne, celui du Turonien, du Sénonien et de l'Eocène sont affectés de nombreuses diaclases, de fractures et de failles. D'importantes pertes de boues ayant été constaté lors des forages, il n'est pas impossible qu'une karstification se soit développée à la faveur de ces fractures au moins sur les affleurements des bancs Sénoniens et Eocènes avant leur recouvrement par les formations du tertiaire terminal.

A la fin du Pliocène, une phase tectonique intervient, fléchant et failant même la bordure de la dépression d'Ouargla, où vont pendant le Quaternaire, s'écouler les oueds M'ya, Igharghar et Righ, et se former les grandes dunes de l'Erg oriental.

II-7 Conclusion

L'étude lithostratigraphique de la dépression d'Ouargla nous a montré que :

l'Aptien : de 20 à 26m d'épaisseur, essentiellement constituée de dolomie.

l'Albien : de 400m d'épaisseur, il est formé de grès, sables et d'argile.

Le Vraconien : de 100m d'épaisseur formée d'une intercalation des niveaux argileux et dolomitique.

Le Cénomaniens : de 130 à 150m d'épaisseur, constituée par une alternance de dolomies, calcaire dolomitique, des marnes, d'argiles et d'anhydrite.

Le Turonien : de 100m d'épaisseur formée de calcaire crayeux et d'argiles.

Le Sénonien : de 100m d'épaisseur, formé d'anhydrite et de calcaréo-argileuse.

Le Sénonien Carbonate : avec une épaisseur de 150 à 200m, formé de dolomies et de calcaire.

Le Mio-Pliocène : avec une épaisseur moyenne de 80m caractérisé par une série sédimentaire.

Enfin, le Quaternaire : Son épaisseur allant de 20 m. il est représenté par des sables gypseux et argileux.

CHAPITRE III
HYDRODYNAMISME

III-1 Introduction

L'étude lithostratigraphique des logs des forages atteignant les différentes formations nous permet de mettre en évidence plusieurs horizons aquifères dont la succession de haut en bas est la suivante :

- ◆ Les nappes du complexe terminal.
 - la nappe phréatique (quaternaire)
 - la nappe du Mio-Pliocène
 - la nappe du Sénonien – Eocène
 - la nappe du Turonien

Plusieurs forages captent les séries sédimentaires du Mio-Pliocène celui-ci exploité au centre du bassin d'oued M'ya (surtout dans la région de'OUARGLA).

- ◆ Les nappes du continental intercalaire :

- **La nappe albienne** : dont les niveaux aquifères se situent à 1120 m avec un écoulement général du sud vers le Nord. Son alimentation trouve son origine dans l'infiltration des eaux de L'Atlas saharien et des eaux circulant sous la Hamada sud Oranienne et sud L'Erg occidental (CORNET.A 1964).

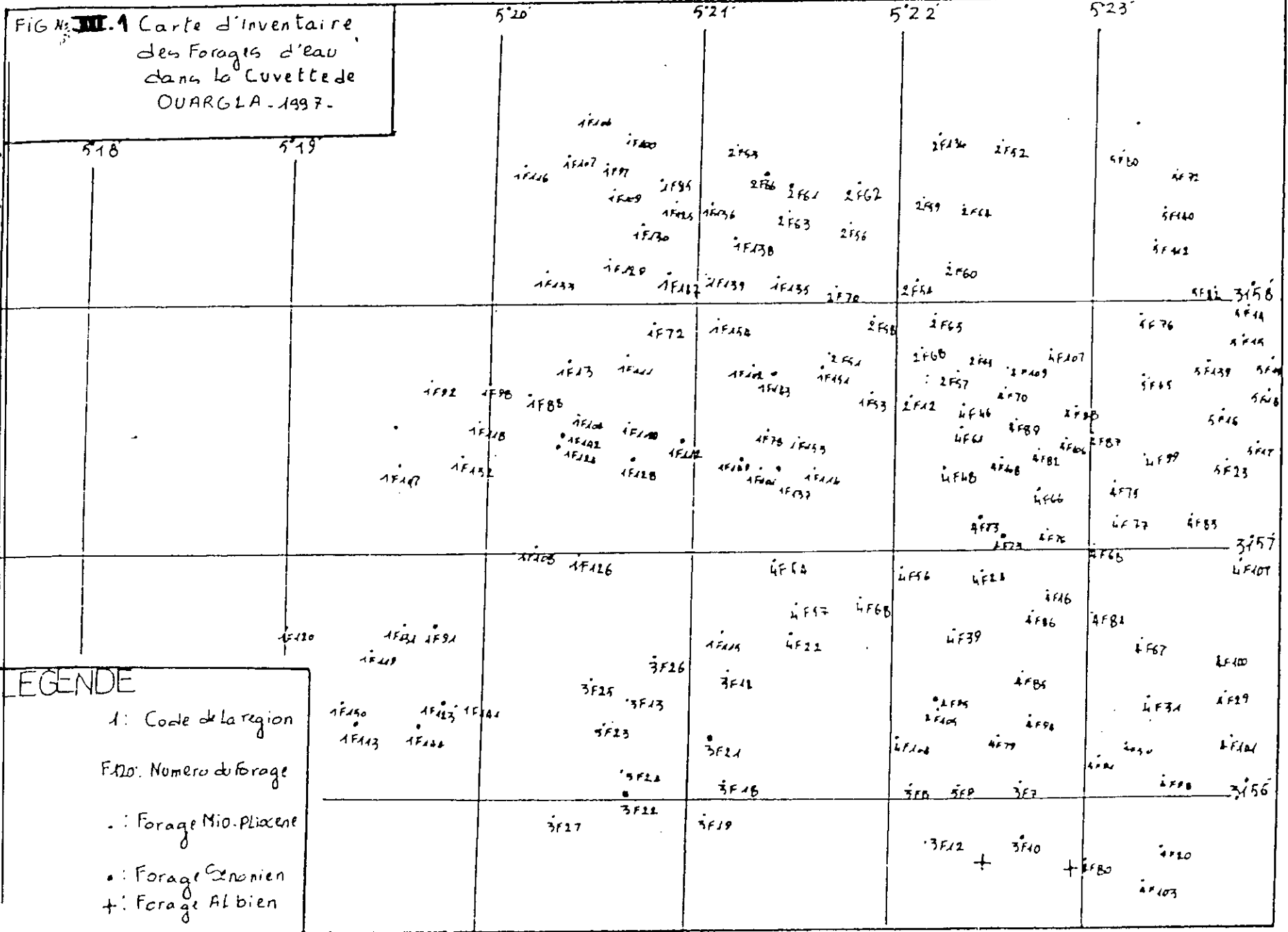
- **La nappe sénonienne** : cette deuxième nappe dont le niveau aquifère se localise entre 140 m et 200 mètres. Son exploitation a débuté en 1957 avec l'exécution de cinq forages destinés à l'alimentation en eau potable. Son débit d'exploitation est de 540 l / mn

- **La nappe phréatique** :

(Non exploité) contenue dans les sables alluviaux (0 à 10 m). Elle tire son origine d'alimentation par les eaux d'irrigation et exceptionnellement par les pluies torrentielles.

La forte salinité de cette nappe a des incidences néfastes sur les cultures.

FIG. N° III.1 Carte d'inventaire des Forages d'eau dans la Cuvette de OUARGLA - 1997 -



Les cartes des coupes hydrogéologiques réalisées et interprétées par (SLIMANOU F. DAOUDI Z., 1997), nous permet de remarquer la superposition des aquifères et de visualiser la géométrie.

De nature alluvionnaire, l'aquifère Mio-Pliocène présente une grande hétérogénéité lithologique. Il est constitué de niveau sableux fins à grossiers, qui sont traversés par endroits, par des lentilles de gypse, des sables argileux très fins, d'alternances de marnes plastiques et sableuses de calcaire dur avec silex, de calcaires friables et gypsifères et de calcaire marneux. Cette formation Mio-Pliocène repose sur les marnes et calcaires du Sénonien.

III-2-1 Les coupes transversales orientées (E-O)

Les coupes (Fig. III. 2, Fig. III. 3) montrent que :

–**Le Mio-Pliocène** : dont l'épaisseur moyenne est de l'ordre de 70 m, constitue essentiellement de sable avec des passés d'argile et de calcaire.

Son épaisseur diminue progressivement vers le Sud-Ouest le cas de (EHA, SDA-1).

–**Le Sénonien carbonaté** : il est représenté par des calcaires, calcaire dolomitique, dolomie, avec quelque passées d'argiles et de marnes et d'anhydrite, s'étend sur une épaisseur moyenne de l'ordre de 170 m.

–**Le Turonien** : il est de 80 m d'épaisseur moyenne, représenté par une alternance de calcaire et de dolomies, avec quelque passée d'argiles.

–**L'Albien** : il est généralement constitué de grès avec quelque passé de sable et d'argiles et de calcaire dolomitique. L'Albien s'étend sur une épaisseur moyenne de l'ordre de 350 m.

Fig III . 2.

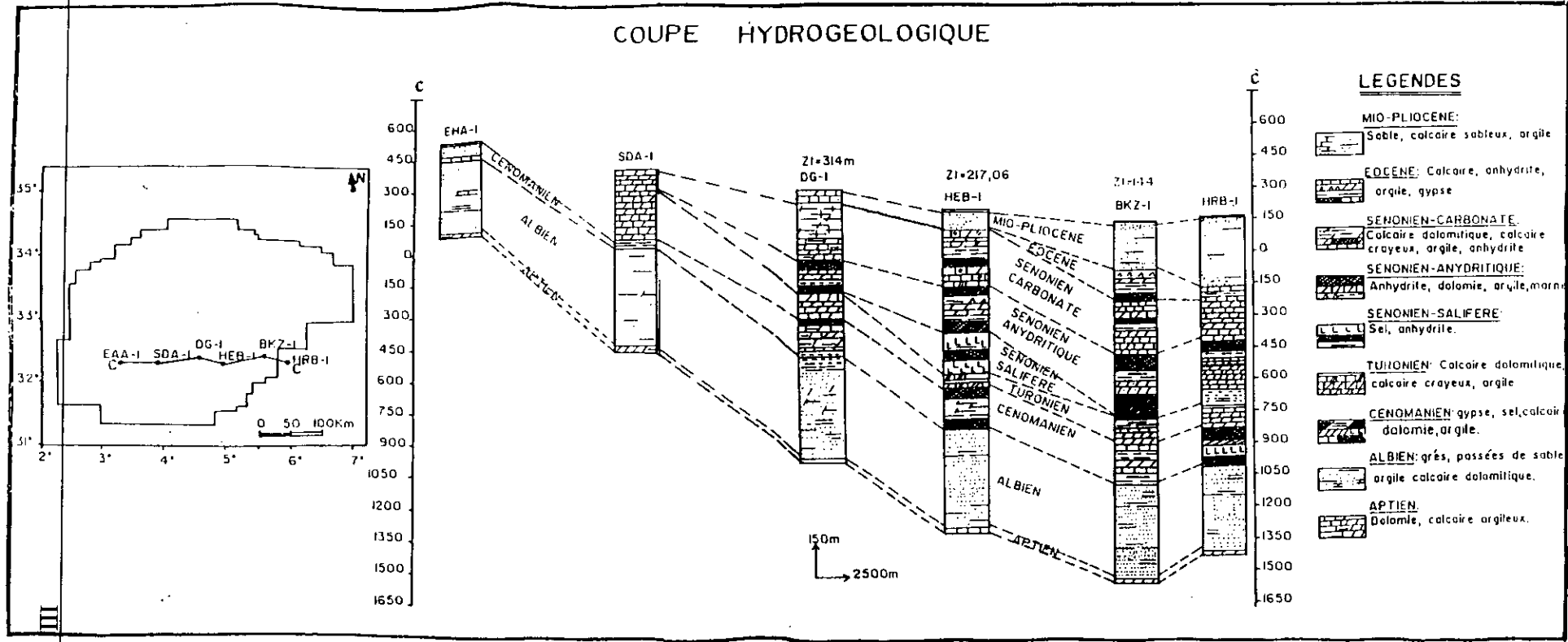
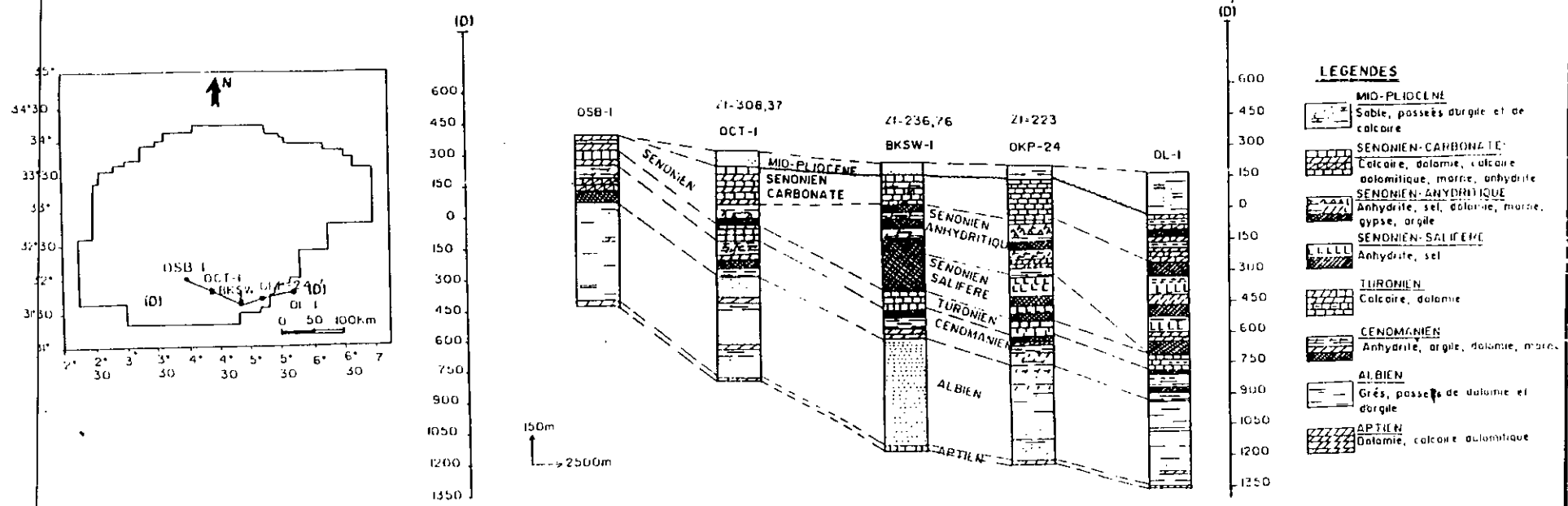


Fig III.3

COUPE HYDROGEOLOGIQUE



– **Le Mio-Pliocène** : ayant une épaisseur moyenne de 80 m (EBR, E = 190 m, KGN = 107 m, OKP = 21 m), constitué de sable avec des passées de gypse, d'argile et de calcaire.

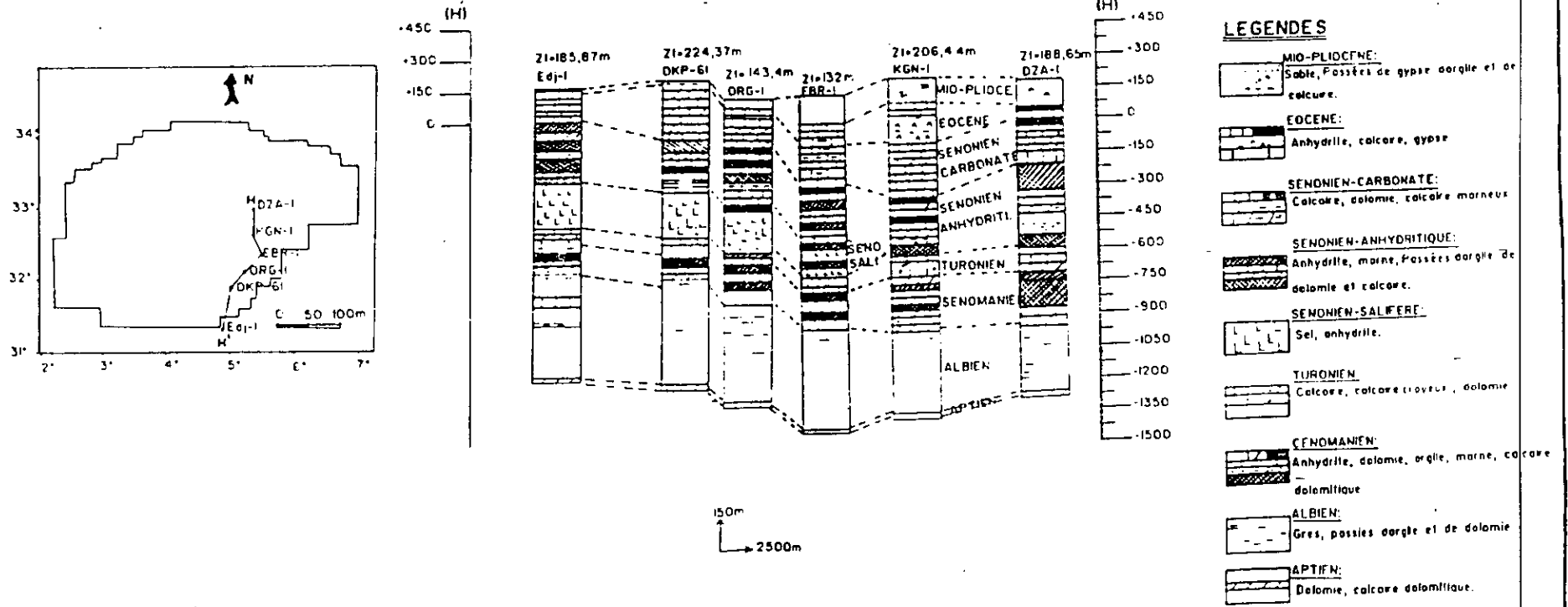
On remarque d'après la coupe (N-S) que l'épaisseur de l'aquifère Mio-Pliocène diminue progressivement pour disparaître au Sud, cas du forage (Edj-1 et OKP 61).

– **Le Sénonien carbonaté** : formé essentiellement de calcaire, calcaire crayeux et de dolomie, son épaisseur varie autour de 60 m.

– **l'Albien** : il est le réservoir le plus important avec une épaisseur de l'ordre de 350 m, il est formé essentiellement des grès avec des passées d'argiles et de dolomie. Notons que l'Albien devient plus important au Sud avec des épaisseurs allant de 350 à 450 m.

Fig. III.4.

COUPE hydrogéologique



III-2-3 Conclusion

L'étude des coupes hydrogéologiques (N – S) et (E – O), nous permet de déduire que les principaux aquifères sont :

- L'Albien : essentiellement sableux, argileux et gréseux correspond à l'unité lithologique supérieure du grand aquifère du continental intercalaire avec une épaisseur de l'ordre de 350 m.
- Le Turonien : calcaéro-crayeux, de 60 m d'épaisseur, il consiste en un réservoir important atteint et exploité par forage.
- Le Senonien Carbonate : dont l'épaisseur moyenne est de 170 m, formé de calcaire marneux, est un bon aquifère en raison de la fissuration de calcaire.
- Le Mio-Pliocène : constitue un bon aquifère de 80 m d'épaisseur, c'est une série sédimentaire où alternent des niveaux sableux, argileux et calcaire. Son exploitation est la plus fréquente dans la région.

Dans la région d'Ouargla, trois nappes sont exploitées :

1. *Nappe Albiennne* : dont le niveau aquifère situe à 1200 m, son alimentation trouve son origine dans l'infiltration des eaux de l'Atlas Saharien.

«L'une des principales zones d'alimentation des grès du crétacé intérieur continental est l'Atlas Saharien », (CORNET.A, 1961).

2. *Nappe du Sénonien* : le niveau se situe entre 140 à 200 m, son exploitation début en 1957 avec l'exécution de 05 forages.

3. *Nappe du Mio-Pliocène* : dont le niveau est de 10 à 65 m, il constitue l'aquifère le plus exploité dans cette région.

De ce fait, on va s'intéresser uniquement de la nappe du Mio-Pliocène en raison de son importance de point de vue exploitation et d'autre part, les problèmes qui lui associés, du point de vue salinité et remonté des eaux.

III-3 Propriétés hydrodynamiques des eaux de l'aquifère MIO-PLIOCENE

III-3-1 Piézométrie

Introduction : la piézométrie est un facteur très important qui, nécessite une étude soignée pour connaître l'évolution de la surface d'eau dans le temps.

III-3-1-1 Interprétation des cartes piézométriques

L'examen de la carte piézométrique de 1968, nous a permis d'identifier une ligne de partage d'eau orienté (SE-NO), au sud de la ville d'Ouargla, permettant l'écoulement des eaux vers NE et SO.

D'autre part l'examen de la carte piézométrique de 1989 montre la diminution de la charge hydraulique du SO vers le NE avec un sens semblable à celle de la carte 1968.

Notons l'existence d'une ligne de partage d'eau dans le centre de la dépression. :

La carte piézométrique de 1997 (BENDRISSOU, 1998) a été établie à partir de 45 forages. Cette carte fait apparaître une cote piézométrique moyenne de 124.68m à 139m au niveau de la cuvette d'OURGLA avec un sens d'écoulement général qui se fait du SO au NE.

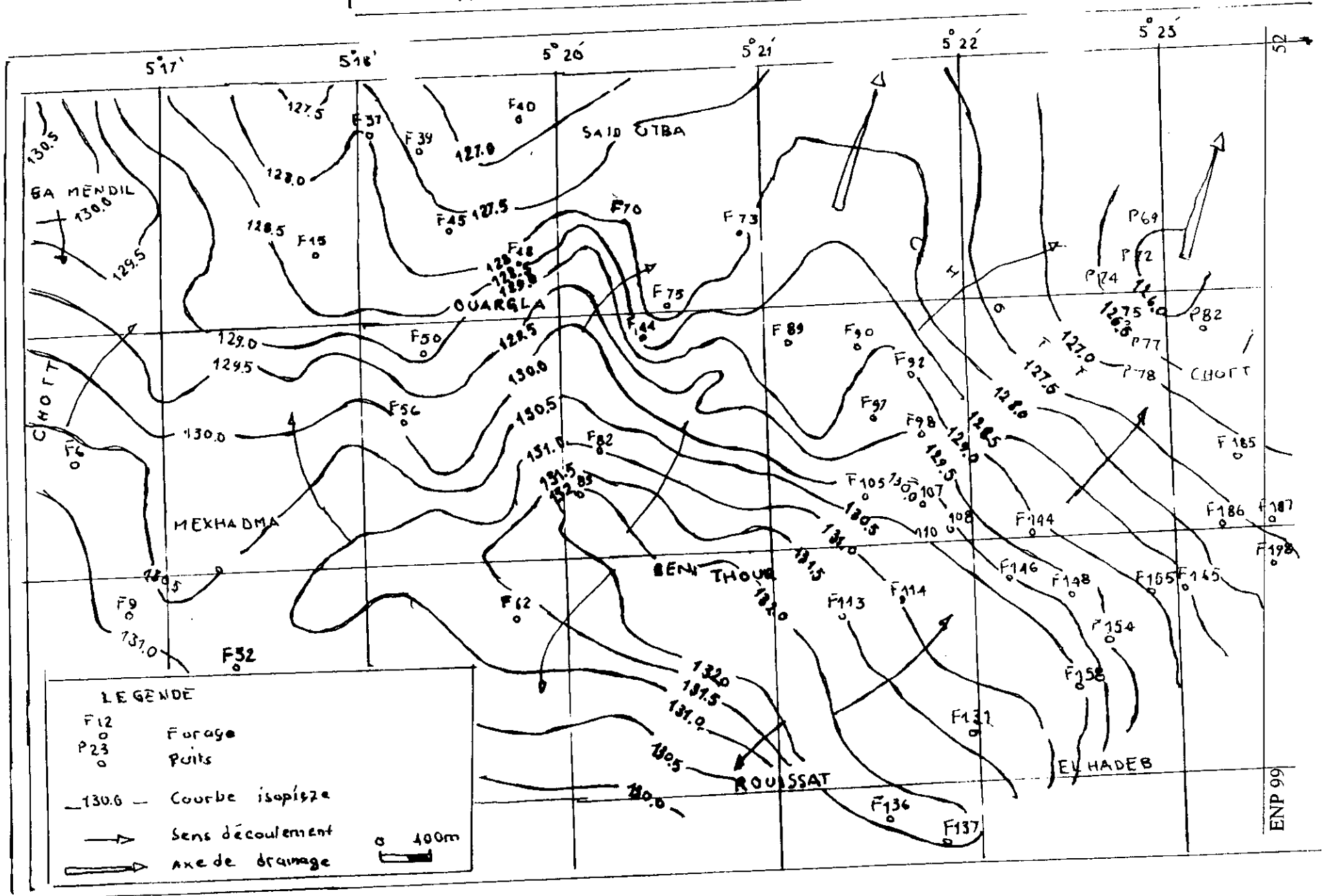
Notons l'existence d'une ligne de partage d'eau orienté SE-NO, c'est la même que celle de la carte de 1968 (BENDRISSOU M, 1998).

Donc on peut déduire que, la surface piézométrique de la nappe Mio-Pliocène est abaissée de 10 m de moyenne depuis 1968 à 1997.

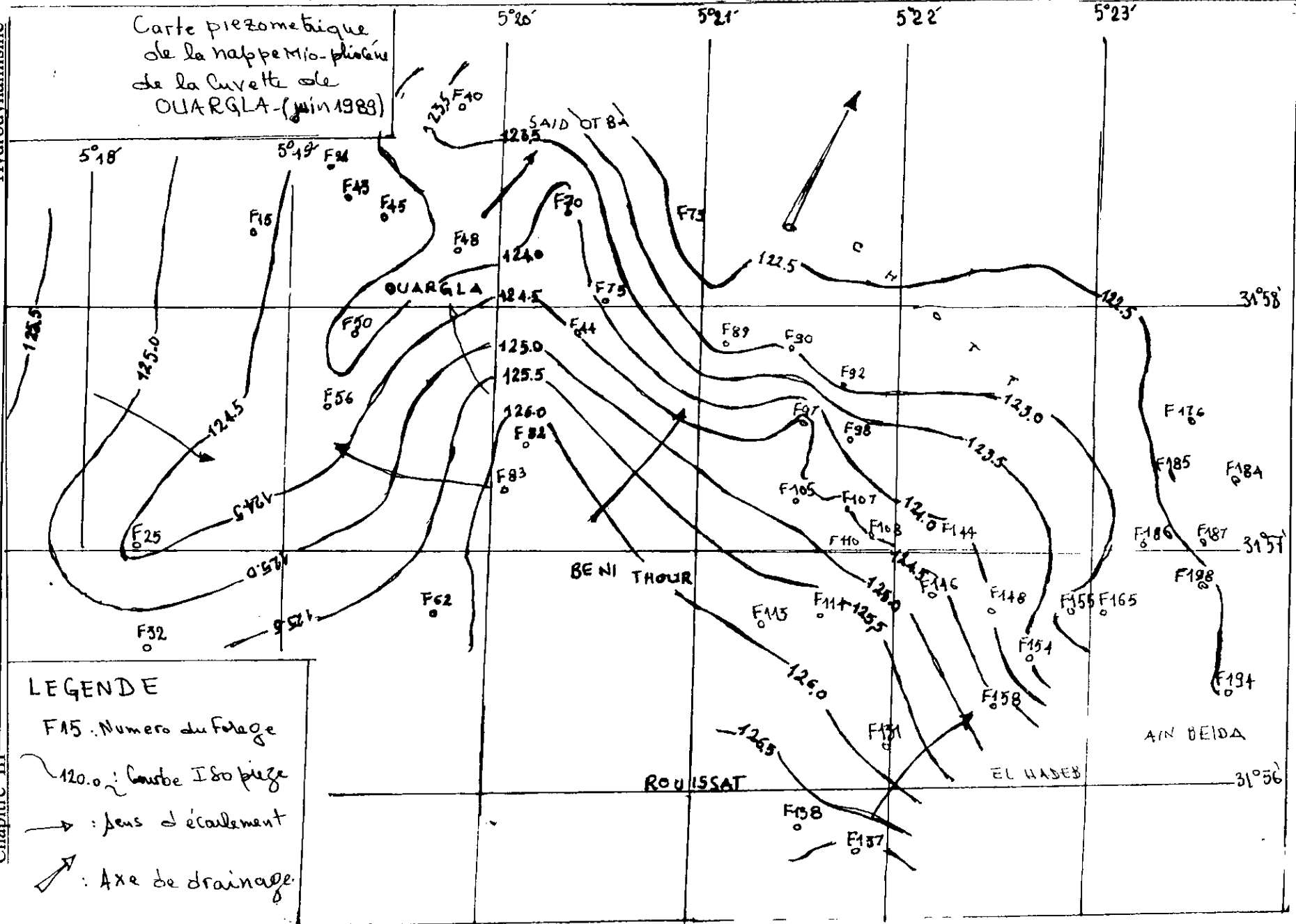
Cet abaissement due essentiellement à la surexploitation et à la disparition de l'artesianisme.

Les prélèvements non restitué risque de baisser la nappe progressivement dans le temps.

CARTE PIEZOMETRIQUE
DE
la nappe mio-pliocène la cuvette de QUARGLA Juin 68



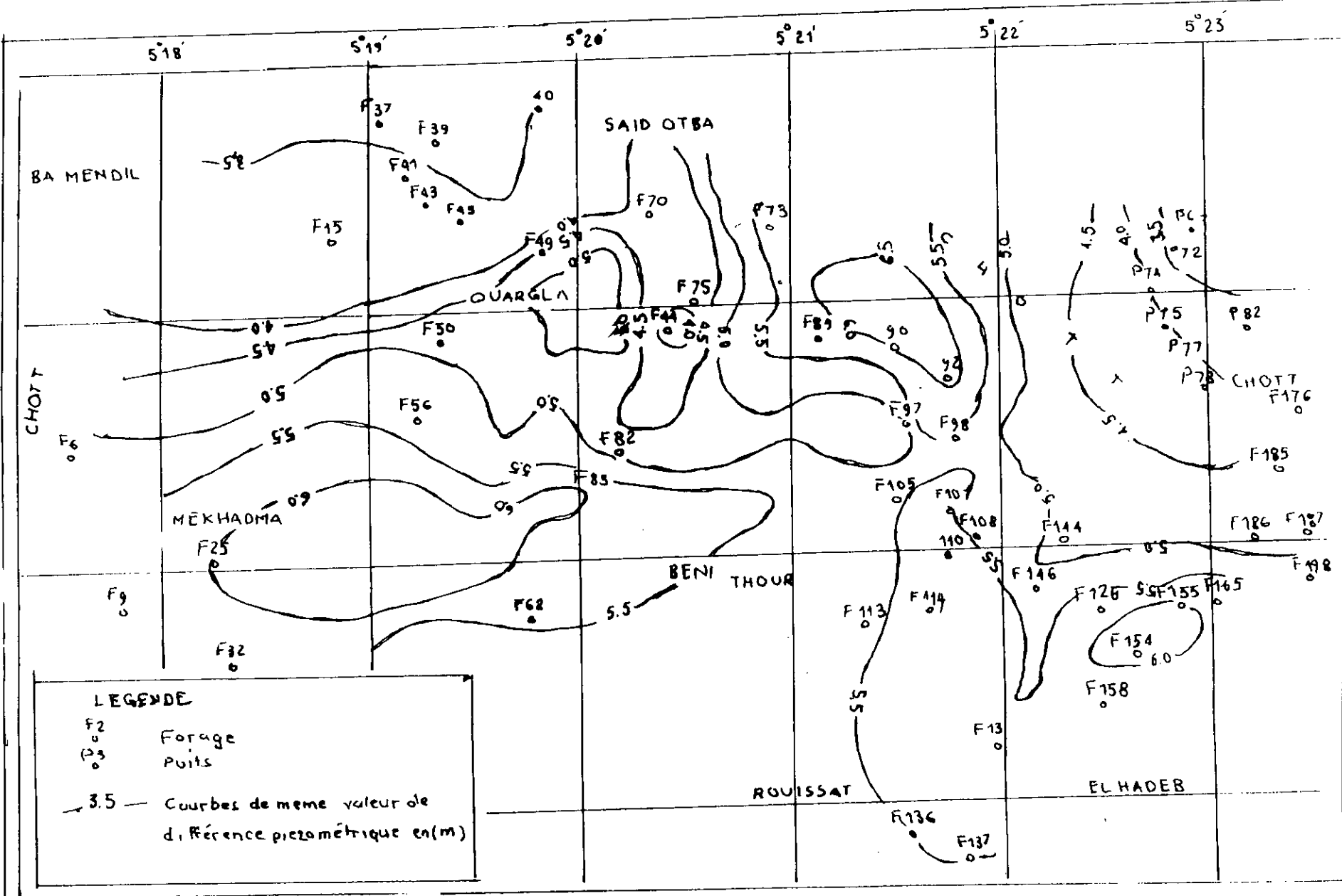
Carte piezometrique de la nappe Mio-pliocène de la cuvette de OUARGLA - (juin 1988)



LEGENDE

- F15 : Numero du Forage
- 120.0 : Courbe Iso pieze
- : Sens d'écoulement
- ↗ : Axe de drainage

CARTE DE DIFFERENCE PIEZOMETRIQUE
DE
la Nappe mio-pliocène la cuvette de OUARGLA



LEGENDE

F2 Forage
P3 Puits

3.5 — Courbes de meme valeur de
différence piezométrique en(m)

III-3-1-2 Le gradient hydraulique

Le gradient hydraulique est la différence de niveau piézométrique entre deux points de la surface piézométrique, par unité de longueur, mesuré le long d'une ligne de courant. Il est assimilable à la pente de la surface piézométrique.

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

H : différence des niveaux piézométrique exprimés en m.

L : distance réelle séparant deux courbes isopiezés exprimé en m. (G.CASTANY, 1982)

La zone d'Ouargla se caractérise par une importante variation du gradient hydraulique, en général, il est compris entre $5 \cdot 10^{-3}$ et $2.5 \cdot 10^{-2}$.

Les faibles valeurs se situent à côté du Chott et sous la ville d'Ouargla, Ces valeurs indiquent des faibles vitesses de circulation des eaux, par contre au Nord et au sud-est les courbes sont trop serrées avec des gradients hydrauliques de l'ordre de $2 \cdot 10^{-2}$ à $5 \cdot 10^{-2}$ (BENDRISSOU M, 1998).

D'autre part selon les travaux qui ont été fait par DJEDAA A et DJETTOU R, 1991 ; les valeurs des gradients hydrauliques, sous la ville d'Ouargla, les prélèvements sont excessifs sont de l'ordre de 0,16 à 0,33.

En raison des perturbations par pompages, il diminue progressivement de part et d'autre jusqu'à atteindre des valeurs de 0.05 à 0.07 à l'Ouest et 0.01 à 0.04 à l'Est (Chott).

Rappelons que les travaux de HADDADI H et ZAYED D, 1994 ; montrent que le gradient hydraulique est très variable d'une zone à une autre, il est compris entre $2.6 \cdot 10^{-4}$ et $2 \cdot 10^{-2}$.

Les faibles valeurs se situent au Nord et à l'Ouest de la dépression ($1.6 \cdot 10^{-3}$).

Au Sud-Est de la ville d'Ouargla, le gradient hydraulique est très faible il de l'ordre de $2.6 \cdot 10^{-4}$; traduisant une faible vitesse de circulation des eaux.

En dehors de la ville d'Ouargla, en restant dans la même direction Sud-Est les valeurs du gradient hydraulique sont élevées, elles sont de l'ordre de $2 \cdot 10^{-2}$ à $6.06 \cdot 10^{-2}$.

D'après SLIMANO F et DAOUDI Z., 1997 ; le gradient hydraulique de la ville d'Ouargla où les prélèvements sont excessifs le gradient est de l'ordre de $1.43.10^{-3}$ à 4.10^{-3} .

Conclusion

Après cette exposition des travaux qui ont été faits on peut déduire que le gradient hydraulique dans la dépression d'Ouargla se caractérise par une variation très importante

III-3-2 Fluctuation de la nappe Mio-Pliocène :

➤ Fluctuation saisonnière

Selon les travaux de (DJEDD et DJETTOU, 1991), la nappe Mio-Pliocène connaît un abaissement de l'ordre de 3 mètres en moyenne.

Point d'eau	Campagne Janvier 1990	Campagne juin 1990	fluctuation	Débit l/s
F32	128.32	125.32	3.00	14.5
F35	126.97	124.22	2.57	10.0
F41	128.10	124.15	3.95	17.0
F37	127.15	124.41	2.75	28.0
F1	127.52	124.20	3.32	27.5
F73	124.14	122.20	1.94	7.0

Tableau III.1 : fluctuation saisonnière de la Mio-Pliocène

D'après les travaux qu'ont été faits par HADDADI et ZAYED., 1994 ont montré selon les mesures de niveau statique effectuée en 1993 que la nappe a diminué de l'ordre de 3mètre de moyenne.

Donc d'après, les travaux exposés on peut constater que le niveau de la nappe Mio-Pliocène connaît un abaissement moyenne de l'ordre de 3 mètres.

Cet abaissement dû essentiellement à l'exploitation de la nappe, et à la disparition d'artésianisme.

➤ Fluctuation inter-annuelle

La comparaison, de la carte piézométrique de 1968 à celle de 1989 montre un abaissement de la surface piézométrique de la nappe Mio-Pliocène de l'ordre de 6 mètres.

Des mesures du niveau piézométrique sont faites en 1989 et 1997, dans certains ouvrages dans le but de bien suivre les fluctuations de cette nappe, Elle montre ; un abaissement de la surface piézométrique de l'ordre de 4 mètres en moyenne.

forage	Campagne juin 89	Campagne juin 97	Fluctuation (m)
D1F97	125.70	123.1	2.6
D1F102	127.00	123.57	3.43
D1F106	126.74	123.72	3.02
D1F111	128.8	123.18	5.62
D1F114	132.08	125.638	6.442
D1F115	126.2	123.13	3.07
D1F116	126.74	124.43	2.31
D1F120	127.30	124.8	2.5
D1F141	125.00	119.45	5.55
D2F54	126.97	122.921	4.049
D2F58	128.00	124.288	3.712
D2F62	127.8	122.634	5.166
D4F82	128.2	121.75	6.45
D4F105	128.76	126.371	2.389

Tableau III.2 : les fluctuations inter-annuelles.

Conclusion

Vu de la fluctuation mesurée entre 1968 et 1989 d'une part, et entre 1989 et 1997 d'autre part, on peut déduire que la surface piézométrique de la nappe Mio-Pliocène s'est abaissée de l'ordre de 10 mètres de moyenne depuis 1968 jusqu'à 1997.

Cet abaissement est dû en premier lieu à l'exploitation de la nappe, et à la disparition de l'artésianisme.

III-3-3 Alimentation de la nappe Mio-pliocene

Tous les travaux qui ont été faits sur la dépression d'Ouargla se coincident sur l'origine d'alimentation de la nappe Mio-Pliocène.

- Par l'infiltration directe des eaux météorologiques résultantes des pluies torrentielles qui provoquent des inondations.
- Le phénomène de drainance des eaux du Sénonien au Mio-Pliocène, peut intervenir dans l'alimentation de la nappe Mio-Pliocène puisque, on a vu que le Mio-Pliocène est séparé du Sénonien carbonaté par une couche argileuse de faible épaisseur.
- Les pluies intenses tombantes sur ; le plateau de Tadmaït et la dorsale du M'Zab, participent à l'alimentation de la nappe. A partir du versant oriental de la dorsale du M'zab et des oueds descendant du Tadmaït, dont le principal est l'Oued M'ya.

III-3-4 Transmissivités

III-3-4-1 Méthode de JACOB

La méthode de Jacob est une approximation logarithmique de l'équation de THEIS quand le temps de pompage croît et la distance piézométrique de l'axe du puits décroît.

$$\Delta = \frac{R^2 S}{4Tt} \quad \text{inférieur à 0.01}$$

L'expression s'écrit
$$\Delta = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt}{R^2 S}$$

Δ :Rabatement mesure dans le point d'eau en (m)

T :Transmissivité en (m²/s)

Q : Débit constant (m³/s)

R : Distance du puits d'observation à l'axe du forage en (m)

S : coefficient d'emmagasinement

T : Temps de pompage en secondes.

a) Mode opératoire

la méthode de Jacob consiste à reporter sur un graphique semi-logarithmique en abscisses les temps de pompage, et en ordonnées les rabattements correspondants, la droite moyenne passant par les points obtenus a pour équation

$$\Delta = \frac{0.183Q}{T} \left(\frac{\log 2.5T}{r^2 S} + \log t \right)$$

: cette équation est de la forme : $Y = a(\log T + \log C)$

la constante (a) est déterminée par le coefficient angulaire de la droite, soit :

$$a = \frac{0.183Q}{T} \quad \text{pour un cycle logarithmique. (1)}$$

si cette droite coupe l'axe des temps en un point (t_0) pour un rabattement nul, on aura :

$$\Delta = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt_0}{R^2 S} \quad (t=t_0, \Delta=0)$$

$$0 = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt_0}{R^2 S} \quad (Q \neq 0, T \neq 0)$$

$$\Rightarrow \log \frac{2.25Tt_0}{R^2 S} = 0 \Rightarrow \frac{2.25Tt_0}{R^2 S} = 1 \dots \dots \dots (2)$$

à l'aide des équations (1) et (2), on détermine T et S :

$$T = \frac{0.183Q}{a} \quad \text{et} \quad S = \frac{2.25Tt_0}{R^2} \quad \dots \quad S = 2.25T \left(\frac{t_0}{R^2} \right)$$

Dans notre cas, cette méthode ne permet de déterminer que la transmissivité, car les mesures ont été effectuées au niveau d'un forage et non au niveau d'un piezomètre.

B) Méthode de la remontée

La détermination de transmissivité d'après la courbe de remontée est la plus fiable. Car la remontée exprime mieux le régime des eaux souterrains.

On mesure le rabattement résiduel qui représente la différence entre le niveau statique et le niveau mesuré à l'instant (t') (temps écoulé depuis l'arrêt de pompage).

Le rabattement résiduel s'exprime :

$$\Delta'' = \Delta - \Delta' = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S^2} - \log \frac{2.25Tt'}{r^2 S^2}$$

$$\Delta'' = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{t}{t'}$$

Δ : rabattement à la fin de pompage en mètre

Δ' : rabattement durant la remontée par rapport au niveau piezométrique d'origine en mètre

t : temps depuis le début du pompage en secondes

t' : temps depuis l'arrêt du pompage en secondes.

Les essais de pompes interprétés par la méthode de JACOB donnent les résultats suivants :

Selon les résultats obtenus par (DJEDAA. A et DJETTOU. R, 1991)

Nom du forage	Transmissivité T (m ² /s)	
	descente	Remonté
Mustaphaoui	2.2.10 ⁻²	2.6.10 ⁻²
Sidi khouiled	-	1.22.10 ⁻³
Chott	-	9.15.10 ⁻³

Vu les résultats, on constate que la transmissivité varie d'un point d'eau à un autre au niveau de la dépression d'Ouargla.

Cette variation indique la présence des zones de captivité, dues aux lentilles d'argiles et l'hétérogénéité lithologique des formations Mio-Pliocène.

D'autre part, selon les résultats qui sont obtenus par HADDADI.H et Zayed.D, 1994). Les valeurs de transmissivité sont comprises entre $0.9.10^{-2}$ et $4.4.10^{-2}$ (m^2/s).

N° du forage	Nature lithologique	Epaisseur	K(m/s)	T(m^2/s)
593 J10	Sable fin et grossier + gravier	9	10^{-3}	$0.9.10^{-2}$
526 J10	Sable fin et moyen + gravier	44	10^{-3}	$4.4.10^{-2}$
563 J10	Sable fin et grossier + gravier	29	10^{-3}	$2.9.10^{-2}$
561 J10	Sable et gravier + conglomérat	41	10^{-3}	$4.1.10^{-2}$
753 J10	Sable très grossier à moyen	39	10^{-4}	$3.9.10^{-3}$
536 J10	Sable fin a grossier	24	10^{-4}	$2.4.10^{-3}$
742 J10	Grès gravilleux	22	10^{-3}	$2.2.10^{-2}$
611 J10	Gravellette blanche	13	10^{-3}	$1.3.10^{-2}$
756 J10	Grès légèrement sableux + grès gravier siliceux	31	10^{-3}	$3.1.10^{-2}$

Tableau III.3 valeurs des transmissivité calculées à partir du coefficient de perméabilité.

D'après le tableau, on constate que les valeurs de transmissivité sont bonnes.

Dans le but de bien suivre la variation de la transmissivité, on rappelle que(BENDRISSOU M, 1998), aboutit aux résultats suivants :

Nom du forage	Transmissivité (m^2/s)
Ain el-arch	-
EL bour	$4.306.10^{-2}$
H.B.A 16	$2.35.10^{-2}$
H.B.A 18	$1.615.10^{-2}$
Sidi khouiled	-
Chott	-
Mustaphaoui	$2.479.10^{-2}$

Tableau III.4 valeurs des transmissivités

D'autre part les travaux de SLIMANOU F et DAOUDI Z, 1997. Estiment les valeurs de transmissivité comme suit :

Nom du forage	Transmissivité T(m ² /s)
F1	3.144.10 ⁻²
F5	.3.232.10 ⁻²
F7	.2.95510 ⁻²

Tableau III.5 valeurs des transmissivités

Conclusion

Vu les différents résultats on peut conclure que les transmissivités sont variées d'un point d'eau à un autre. Ceci est due essentiellement à l'hétérogénéité lithologique de la nappe Mio-Pliocène, et à la variation de l'épaisseur de l'aquifère capté.

D'une façon générale, on peut dire que la transmissivité observée dans la dépression d'Ourgla est bonne ainsi que la perméabilité en raison que $K = T/C$ ou C est l'épaisseur de l'aquifère saturé.

III-3-4-2 Méthode de THEIS

la description de cette méthode est tirée des travaux de liamas .J.

En 1935, THEIS a proposé une solution pratique pour l'écoulement des eaux en régime transitoire, se basant sur l'analogie entre l'écoulement dans un milieu poreux et la dispersion de la chaleur. Dans l'élaboration de sa théorie, THEIS introduisit la notion de temps de pompage ainsi que le coefficient d'emmagasinement, le modèle de THEIS repose sur les hypothèses suivantes : Milieu aquifère isotrope et homogène, d'étendue infinie, non réalimenté et avec un écoulement horizontal. De plus, on considère que le puits est muni d'une crépine sur toute la surface en contact avec la nappe phréatique, et que son diamètre est très petit par rapport à l'épaisseur de celle-ci. Finalement, la nappe aquifère est considérée comme étant captive, infinie et d'épaisseur constante. Ces conditions ne se rencontrent jamais ensemble dans la nature ; toutefois, utilisé et interprété correctement, le modèle de THEIS donne habituellement de bons résultats.

L'équation différentielle conçue par THEIS, pour un écoulement radial, est :

$$\frac{\partial^2 S}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial S}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial S}{\partial r} \quad (\text{III.1})$$

dont la solution, pour un pompage constant, est :

$$\Delta = \frac{Q}{r\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad (\text{III. 2})$$

avec : $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$

où : Δ : Abaissement de la nappe au puits d'observation à l'instant en (m).

Q : débit de pompage (m³/s)

r : distance du puits d'observation au centre du puits de pompage en (m).

$$\text{L'intégrale : } W(u) = \int_u^D \frac{e^{-u}}{u} du \quad (\text{III. 3})$$

S'appelle fonction caractéristique ou fonction de puits.

Avec un développement en série de (III. 3) on obtient :

$$W(u) = -0.5772 - \text{Ln}u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \dots - \frac{(-u)^n}{n.n!} \quad (\text{III. 4})$$

En remplaçant la valeur de u et de W(u) dans (III. 2)

$$\Delta = (h_0 - h) = \frac{Q}{4\pi T} \left[-0.5772 - \text{Ln} \frac{r^2 S}{4Tt} + \frac{r^2 S}{4Tt} - \frac{1}{2.2!} \frac{r^2 S}{4Tt} + \frac{1}{3.3!} \frac{r^2 S}{4Tt} - \dots \right] \quad (\text{III. 5})$$

Avec, $h_0 = h$; $r \rightarrow \infty$

lorsque le temps de pompage t croit, la série :

$$\frac{r^2 S}{4Tt} - \frac{1}{2.2!} \frac{r^2 S}{4Tt} + \frac{1}{3.3!} \frac{r^2 S}{4Tt} - \dots$$

Devient négligeable par rapport au terme constant précédent et l'équation (III. 3) est :

$$\Delta = (h_0 - h) = \frac{Q}{4\pi T} \left[-0.5772 - \text{Ln} \frac{r^2 S}{4Tt} \right] \quad (\text{III. 6})$$

$$\Delta = (h_0 - h) = \frac{Q}{4\pi T} \left[\text{Ln} \frac{2.25Tt}{4r^2 S} \right] \quad (\text{III. 7})$$

L'équation (III. 7) s'appelle formule d'approximation logarithmique ou formule de COOPER-JACOB. Elle est d'autant plus précise que t est grand, que le puits d'observation est près du puits de pompage et que le rapport T/S est grand.

Pour calculer les paramètres fondamentaux d'une nappe aquifère captive en état de non-équilibre, on dispose donc de l'équation exacte (III. 2), et de l'équation approximative (III. 7). En général, la première équation doit être utilisée pour interpréter les données piézométriques éloignées du puits de pompage, c'est à dire lorsque r est grand, la deuxième équation pouvant être utilisée pour des petites valeurs de r , il est alors raisonnable de négliger les termes de l'équation (III. 5).

Bien que la formule de non-équilibre soit rigoureuse uniquement pour les nappes captives, on peut aussi généraliser son emploi, aux nappes libres lorsque celles-ci sont d'épaisseur uniforme, de dimensions horizontales très grandes par rapport à leur épaisseur et qu'elles possèdent un faible gradient hydraulique.

Le calcul des paramètres T (ou K) et S de la nappe repose sur les résultats d'un essai de pompage avec un débit Q constant si on veut utiliser l'équation exacte (III. 2), il faut suivre la méthode suivante. On commence par mettre en graphique les valeurs Δ de rabattement de la nappe en ordonnée, en fonction de $m = r^2/t$. Cela doit être fait sur du papier transparent bilogarithmique et à la même échelle que la courbe de THEIS. Par la suite, on superpose ce graphique sur celui de la courbe type de THEIS. En faisant coïncider la plus grande partie des deux courbes toute opération étant réalisée on peut maintenant calculer le coefficient de transmissivité par l'équation :

$$T = \frac{QW(u)}{4\pi\Delta} \quad (\text{III. 8})$$

et le coefficient d'emmagasinement :

$$S = \frac{4Ttu}{r^2}$$

III-3-4-3 Méthode d'approximation de CHOW

La description de cette méthode est tirée également des travaux de Liamas J. Chow (1952) a élaboré une méthode assez facile et pouvant s'appliquer sans aucune restriction. Les résultats du pompage sur le puits d'observation sont reportés, comme dans le cas de l'approximation de Cooper-Jacob, sur papier semi-logarithmique et sur la courbe d'ajustement. Puis, on choisit arbitrairement un point quelconque de coordonnée (Δ, t) . Par ce point, on trace une tangente à la courbe d'ajustement et on calcule le rabattement C entre deux points de cette tangente limitée par un cycle logarithmique complet (par exemple, entre $t = 1$ et $t = 10$) finalement, on calcule la valeur :

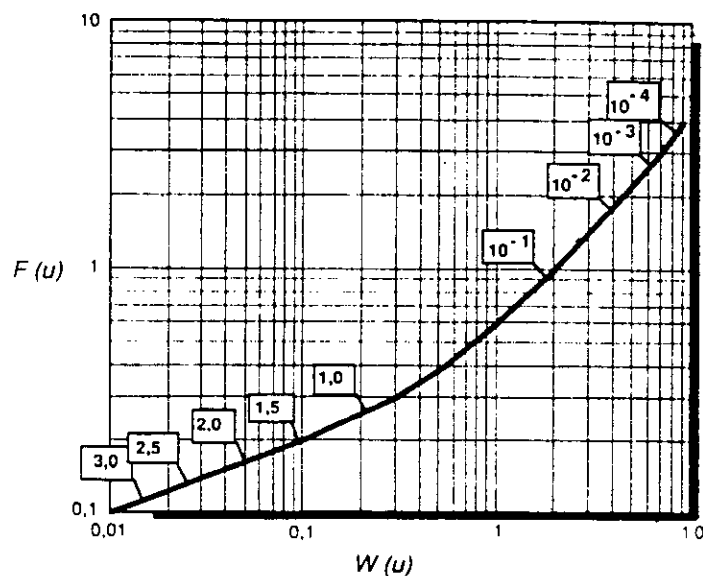
$$F(u) = \frac{\Delta}{C}$$

et, d'après le graphe

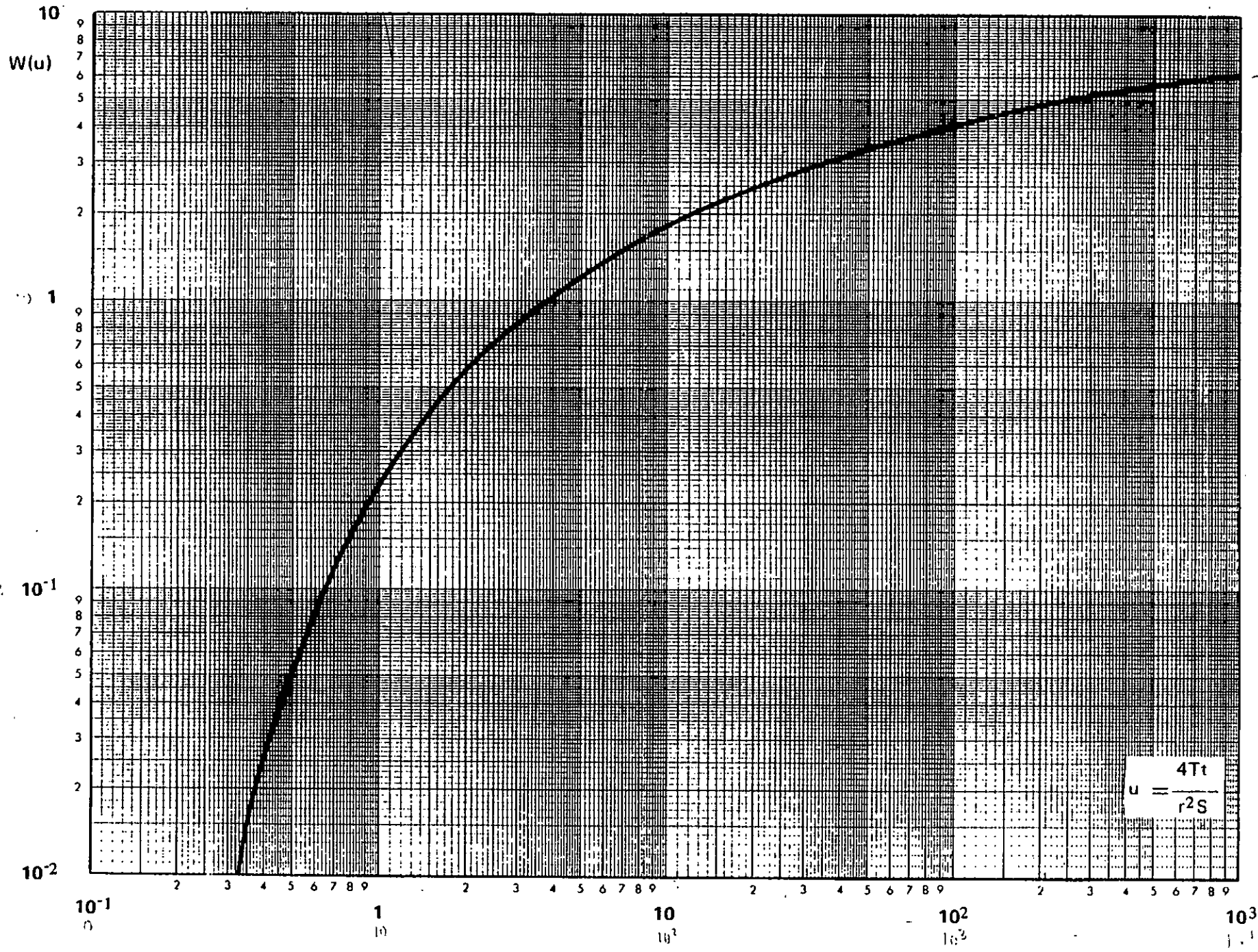
on détermine les valeurs de u et $W(u)$ correspondantes puis, les valeurs de T et de S les équations :

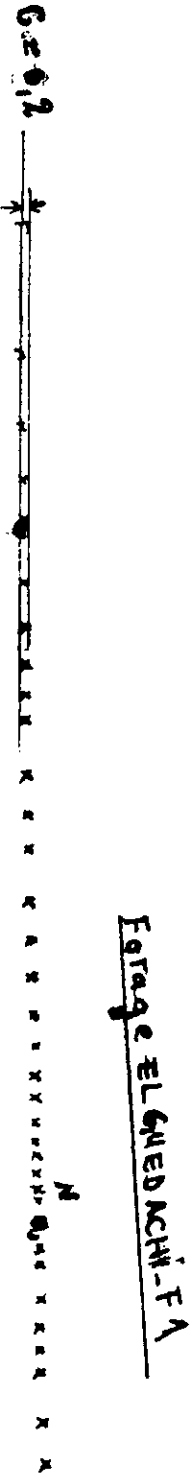
$$T = \frac{QW(u)}{4\pi S} \quad \text{et} \quad S = \frac{4Ttu}{r^2}$$

Relation entre $F(u)$, $W(u)$ et u (d'après Chow)



PI. 6 - COURBE DE THEIS





Interpretation d'un essai de pompage
 par la méthode de Theis au niveau
 du forage EL Ghebachi F1.

$$W(u) = 1$$

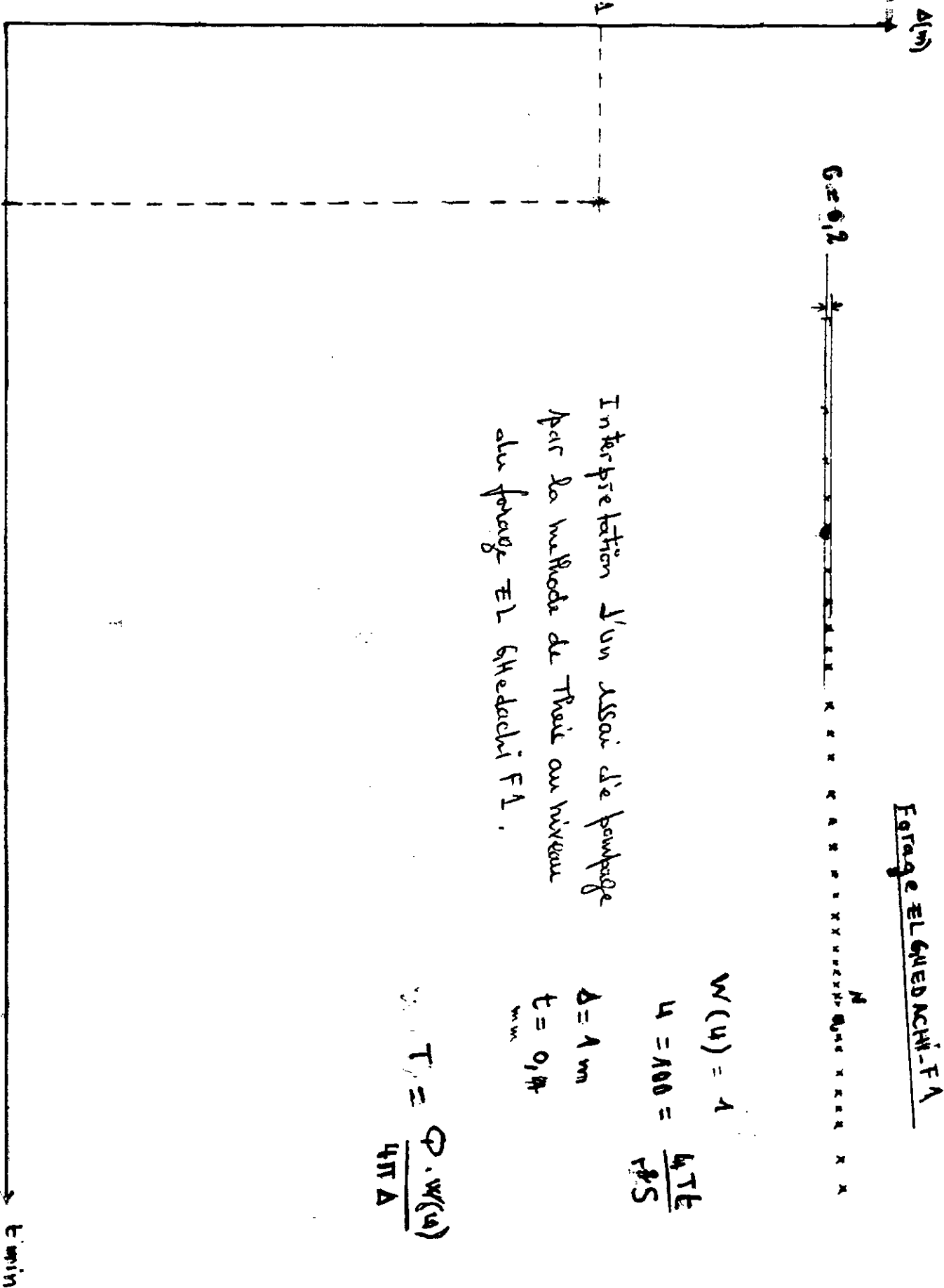
$$u = 100 = \frac{4Tt}{r^2 S}$$

$$D = 1 \text{ m}$$

$$t = 0,14 \text{ min}$$

$$T = \frac{Q \cdot W(u)}{4\pi \Delta}$$

$$u = 100 = \frac{4Tt}{r^2 S}$$



Δ (m)

$$e = 0,7 \frac{F}{F}$$



Formage EL-GHAYACHY-F5

Interpretation d'un essai de poinçonnage
 par la méthode de Freis au niveau
 du forage EL Ghadadi F5.

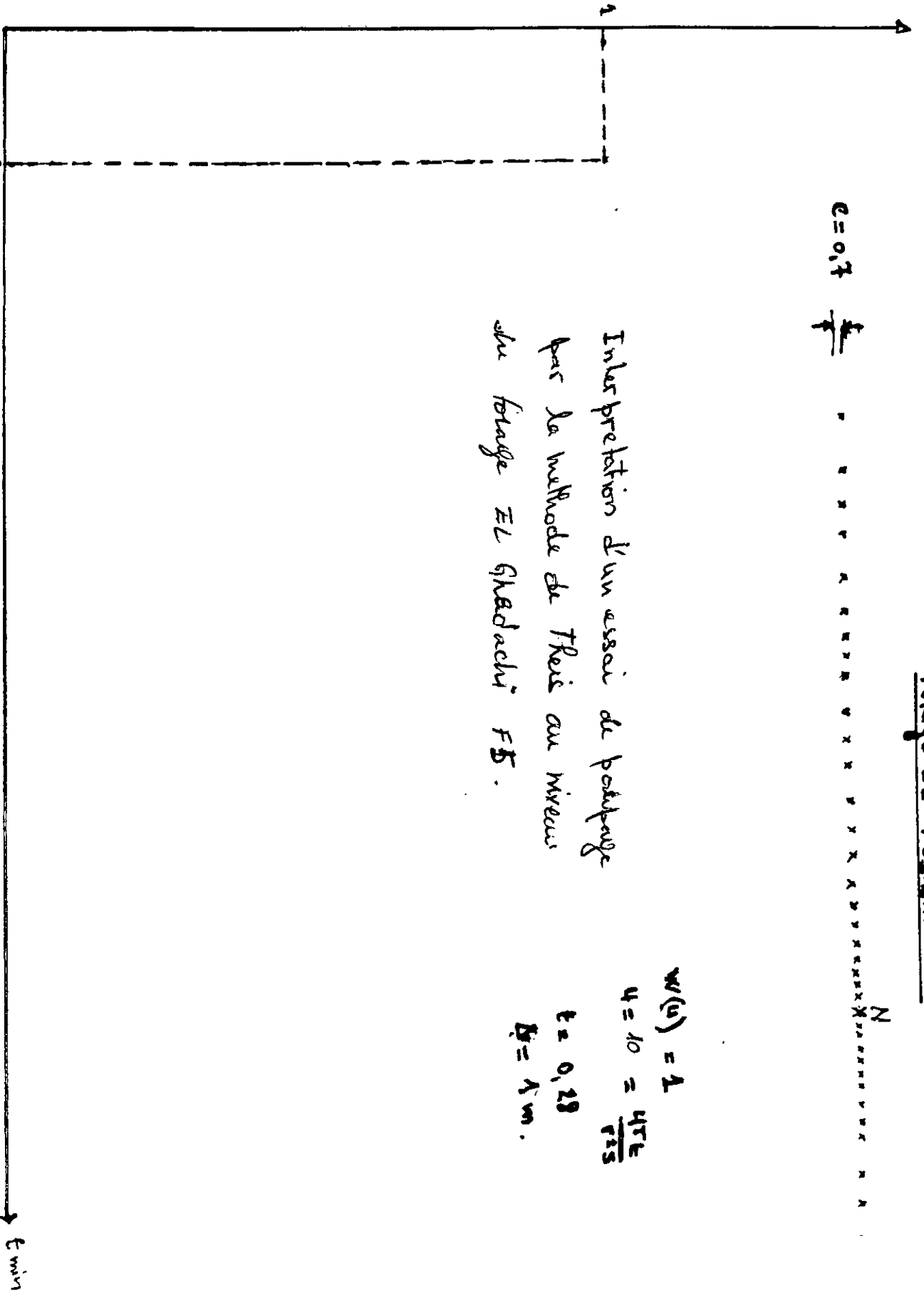
$$w(\Delta) = 1$$

$$u = 10 = \frac{4TE}{r35}$$

$$t = 0,28$$

$$R = 4 \text{ m.}$$

$$u = 10 = \frac{4TE}{r25}$$



Forage EL-GRAESACHI-F7

C=1

Interpretation d'un essai de
pompage par la methode de Theis
au Niveau du Forage EL Gheradii F7

$w(u) = 20$
 $\Delta = 18 \text{ m}$
 $u = 4000$
 $t = 1.95 \text{ min}$

$u = 4000 = \frac{4Tc}{r^2S}$

t min

III-3-4-4 Caractéristique Technique de ces Forages

Forage	coordonnées	Année d'exécution	Epaisseur crépiné (m)
F1	X : 5°42'37'' Y : 32°35'26''	6-10-92 Au 10-11-92	59
F5	X : 5°14'43'' Y : 32°36'26''	18-11-92 au 18-12-92	54
F7	X : 5°42'24''	28-10-92 Au 19-12-92	62

Tableau III.6 caractéristiques techniques des forages

les transmissivités calculées par la méthode de THEIS :

Forages	Transmissivité T(m ² /s)
F1	3.9 10 ⁻³
F5	3.6 10 ⁻³
F7	10.07 10 ⁻³

Tableau III.7 valeurs des transmissivité

D'autre par,

Les transmissivité calculé par la méthode de CHOW.

Forage F1 :

$$C = 1 \quad \Delta = 15.1$$

$$F(u) = 15.1/1 = 15.1 \quad W(u) = 20$$

$$\text{Donc } T = \frac{50.20.10^{-3}}{4.3.14.15.1} = 5.27.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Forage F5 :

$$C = 0.2 \quad F(u) : 60.2/0.2 = 30.1$$

$$W(u) = 70$$

$$\text{Donc } T = \frac{50.70.10^{-3}}{4.3.14.6.02} = 46.29.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Forage F7 :

$$C = 0.7 \quad s = 6.95$$

$$F(u) = 6.95/0.7 = 9.92$$

$$W(u) = 10$$

$$\text{Donc } T = \frac{50.10.10^{-3}}{4.3.14.6.95} = 5.72.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Alors les résultats de transmissivités calculés par la méthode de CHOW sont :

Forages	F1	F5	F7
Transmissivité (m ² /s)	5.27.10 ⁻³	46.29.10 ⁻³	5.72.10 ⁻³

Tableau III.8 valeurs des transmissivités

Les résultats de transmissivités obtenus par différentes méthodes (JACOB, THEIS et CHOW), sont très variées

	Forages	Jacob	Theis	Chow
Transmissivité (m ² /s)	F1	3.14.10 ⁻²	3.9.10 ⁻³	5.27.10 ⁻³
	F5	3.23.10 ⁻²	3.6.10 ⁻³	16.29.10 ⁻³
	F7	2.95.10 ⁻²	10.07.10 ⁻³	5.72.10 ⁻³

Tableau III.9 Valeurs des transmissivités par les différents méthodes(Theis, Jacobet Chow)

III-3-4-5 Interprétation des résultats

En raison du manque des données sur ces forages de point de vue formation lithologique captée, diamètre d'autre part, le déroulement des essais de pompage, on ne peut pas interpréter la diversité des résultats observés.

III-3-5 les courbes caractéristiques

III-3-5-1 Essais de pompage dans les forages F1, F5 et F7

La direction hydraulique de la wilaya (D.H.W) de OUARGLA a réalisé des essais de pompage a 3 paliers enchaînés suivis d'une remonté pour fixer le débit d'exploitation.

III-3-5-2 Résultats

Forage	1 ^{er} palier			2eme palier			3eme palier		
	Q(m ³ /s)	Δ (m)	Δ/Q	Q(m ³ /s)	Δ (m)	Δ/Q	Q(m ³ /s)	Δ (m)	Δ/Q
F1	0.02	2.09	101.5	0.03	3.35	111.66	0.04	4.45	111.25
F5	0.02	1.80	90	0.03	2.85	95	0.04	4.28	107
F7	0.02	8.28	289	0.03	13.5	450	0.04	12.87	321.75

Tableau III.10 résultats des essais de pompages

Le manque des données des essais de pompages des forages F1.F1.F7 ne permet pas l'interprétation des courbes caractéristiques de ces trois forages.

Le tracé de la courbe caractéristique $\frac{\Delta}{Q} = F(Q)$ nous permet de déterminer les coefficients B et C ; B par l'intersection de la droite avec l'axe $\frac{\Delta}{Q}$ et « c » par la pente de la droite.

Le tableau suivant donne les résultats des pertes des trois forages.

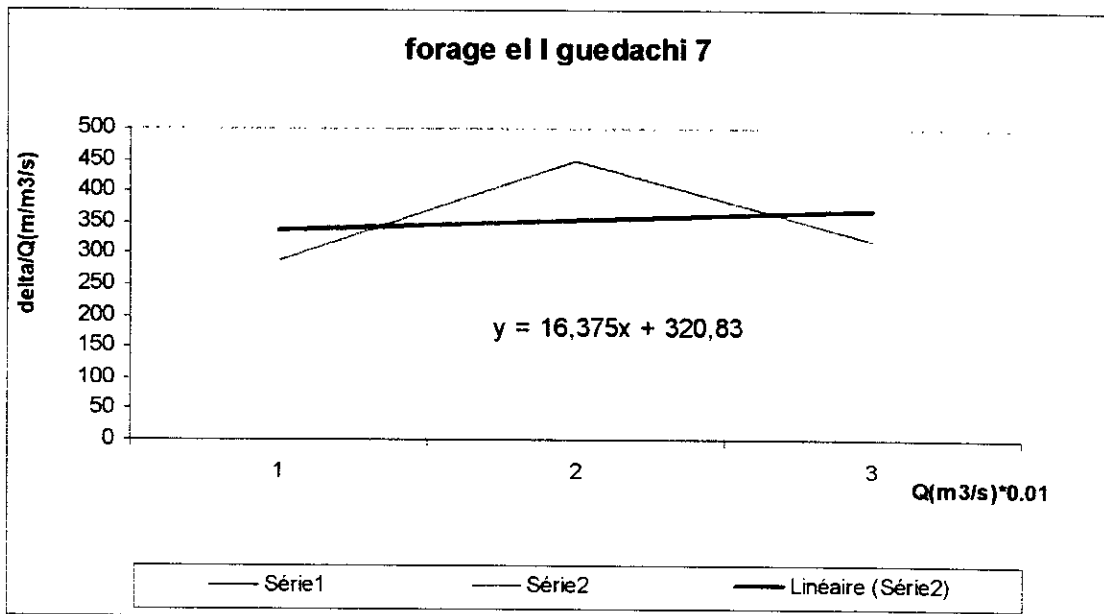
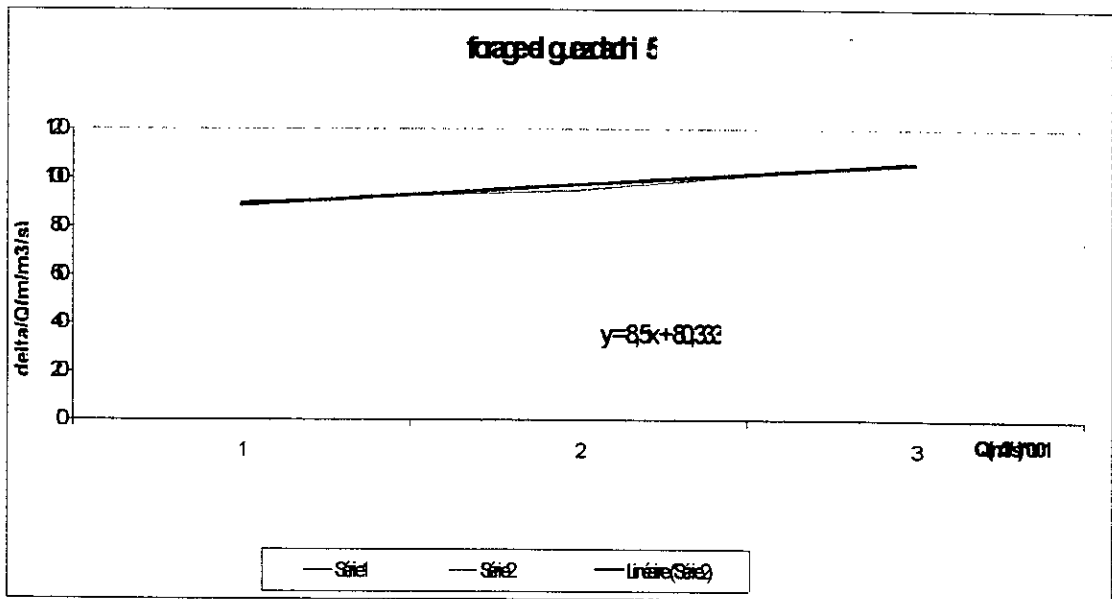
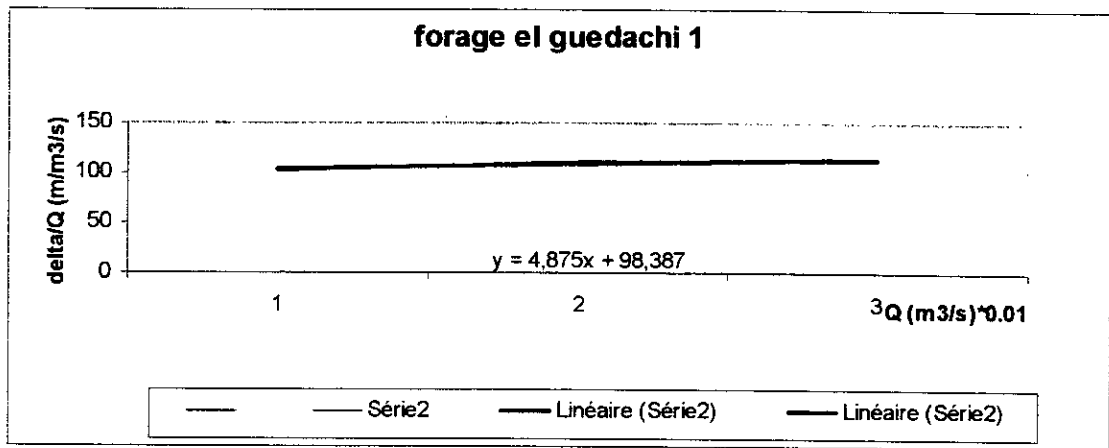
Le couple de données de chaque palier de débit (Q en m³/s) et Δ (m) est porté sur un papier graphique linéaire.

Les points obtenus tracent la courbe Q(représentant la fonction : $\Delta=f(Q)$)

La forme apportée des informations sur le comportement hydrodynamique du complexe aquifère / ouvrage de captage.

Paramètre	Forages		
	F1	F5	F7
Paramètre 'B'	98.38	80.33	320.83
Paramètre 'C'	487.5	850	1637.5

Tableau III.11 valeurs des pertes de charges



III-3-5-3 Indices

a) indice de WALTON :

L'indice de WALTON est basé sur la détermination de la pente "C" de la droite des pertes de charge $(\Delta/Q)=f(Q)$. Il donne une idée sur la manière, dont a été fait le développement du forage.

- C < 575 : puits bien développé.
 575 < C < 1350 : puits médiocre.
 1350 < C < 4500 : Puits carbonaté détérioré.
 C > 4500 : puits irrécupérable.

b) Indice de MOGG :

l'indice de MOGG est donné par l'expression suivante :

$$I = \frac{(Q/\Delta)_{\text{ierpalier}} - (Q/\Delta)_{\text{dernierpalier}}}{(Q/\Delta)_{\text{moyen}}}$$

- Si I < 10 % \Rightarrow l'équipement est bien fait.
 Si I > 10 % \Rightarrow l'équipement est mal fait.

Le tableau ci-dessous donne les résultats des indices de WALTON et MOGG

Nom du forage	F1	F5	F7
Indice de WALTON "C"	C < 575	575 < C < 1350	1350 < C < 4500
Indice de MOGG (I %)	9.32	17.09	12.02
"B"	98.38	80.33	320.83
Observation	L'équipement a été bien fait	L'équipement a été mal fait	C'est un puits détérioré
	C'est un puits bien développé	Un puits médiocre	

Tableau III.12 résultats des indices de MOGG et WALTON

III-4 Conclusion

L'étude hydrodynamique nous a permis de définir les grands axes de l'écoulement des eaux souterraines du Mio-Pliocène de la dépression d'Ouargla.

D'autre part les coupes hydrogéologiques ont mis en évidence une lithologie très variée (sables, argiles, marnes, ...).

L'examen des cartes piézométriques, de la nappe Mio-Pliocène montre un écoulement général des eaux du S.S.O vers le N.N.E coïncidant avec l'ancien lit d'oued M'ya. Notons également l'existence, d'un second écoulement sous la ville qui est très exploité.

Cette exploitation est excessive et mal maîtrisée risque à long terme d'abaisser la nappe.

Parmi les paramètres hydrodynamiques, seul les transmissivités ont pu être estimées, elles varient selon l'hétérogénéité des formations Mio-Pliocène.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATION

La synthèse hydrogéologie d'Ourgla nécessite une étude comparative des études antérieures afin de tirer le comportement de l'eau de la région d'étude.

Notre étude est composée de trois chapitres, on a essayé d'exploiter le maximum des données afin de pouvoir réaliser une synthèse des données des résultats de la région.

L'étude hydroclimatologique a porté sur deux séries différentes ; une allant sur 11 ans et l'autre allant sur 31 ans respectivement de 1988 à 1998 et de 1968 à 1998, les résultats obtenus traduisent bien les résultats des études antérieures qui confirme l'aridité du climat, caractérisé par des précipitation moyennes annuelles variant de 30 mm à 40 mm, dont la totalité est reprise par le pouvoir évaporant.

Pour la période allant de 1988 à 1998, on à trouver que toutes les précipitations sont reprise par l'évaporation- la lame précipitée est évaluée à 37.13 mm.

- L'étude statistique des précipitations moyennes annuelle montre l'irrégularité de ces dernières (coefficient de variance très élevé), exprimé souvent par des violents orages qui provoquent des inondations importantes, parfois dangereuses qui peuvent provoquer des catastrophes.

Notons la nécessité d'équiper la région d'un réseau pluviométrique.

- L'étude lithostratigraphique des formations de la région nous a permis de mettre en évidence deux (02) ensembles de terrains ayant un intérêt important du point de vue hydrogéologique.

- Le continental intercalaire : localisé entre 1120 et 1238 m, est formé d'une puissante série sablo-argileuse englobe la nappe Albien qui est très peu exploitée.

- Le complexe terminal : englobant les calcaires fissurés du Sénono-Eocène, localisé entre 150 et 200m.

La nappe Mio-Pliocène la plus exploitée dans la région, formée essentiellement par une série sablo-argileuse et des gypses, avec une épaisseur allant jusqu'à 100m.

Par contre la nappe phréatique qui est déconseillée à exploiter, en raison de la forte salinité des eaux de cette nappe, due en premier lieu aux rejets humains (eau usée), cette nappe formée essentiellement par des sables argileux et de gypse .

Il est recommandé d'enrichir cette étude (géologie), par des coupes récentes des puits. par exemple les puits pétroliers abandonnés réalisés par Sonatrach.

Notons l'interruption des toits parfaitement étanche (argiles et marnes), par endroit on peut supposer l'existence d'une relation entre la nappe Mio-Pliocène et celle de Sénono-Eocène ce qui confirme l'alimentation de la nappe Mio-Pliocène par le phénomène de drainance. De ce fait il est recommandé de faire des études géophysiques de la dépression d'Ouargla qui permet de dégager des informations sur la superposition des couches géologiques.

Par contre aucune relation n'apparaît entre la nappe Albien et celle du complexe terminal de fait qu'elle est séparée par plusieurs couches épaisses imperméables.

Du point de vue hydrodynamisme on note que :

- un écoulement général de la nappe Mio-Pliocène orienté de S.S.O vers le N.N.E. Notons un abaissement de la surface piézométrique du Mio-Pliocène de l'ordre de 10m en moyenne depuis 1968 jusqu'à nos jours.
- des gradients hydrauliques forts sous la ville d'Ouargla sont compris entre $2.6.10^{-4}$ à 2.10^{-2} , les faibles valeurs situent à côté du Chott (Sud-Est).
- des transmissivités variant d'un point d'eau à un autre mettant en évidence l'hétérogénéité de la formation du Mio-Pliocène ($9.15.10^{-3}$ jusqu'à $3.9.10^{-2}$).

La variation des transmissivités d'un point d'eau à un autre, due à l'hétérogénéité lithologique de la nappe Mio-Pliocène, d'autre part de la hauteur captée et de diamètre des forages.

Le manque des données, concernant les forages (coupes géologiques, superposition des aquifères, débit pompé, fiche technique de ses forages, le déroulement des essais de pompages...) ; pose des contraintes de point de vue interprétation des essais de pompage, et donne une explication assez bien de cette variation du transmissivité.

Pour ce fait il est recommandé de niveler la région, et équiper celle ci d'un réseau piézométrique qui permettra de bien déterminer les caractéristiques hydrodynamiques représentatifs et fiables.

En fin nous recommandons d'effectuer des prélèvements réguliers d'eau pour avoir l'évolution des salinités (des eaux du Mio-Pliocène), entre les hautes et les basses eaux. Ces prélèvements ont pour but de vérifier la qualité de l'eau aux usages humains, et à l'irrigation.

ANNEXE

Températures mensuelles moyennes d'Ouargla (1951-1970)

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
1951	11,35	13,85	18,55	23,1	25,7	31,55	35,35	34,2	29,5	20,15	16,75	12
1952	9,85	12,3	19,6	19,85	26,25	34,95	35,25	35,45	31,85	24,75	16,5	12,65
1953	9,35	12,1	14,45	24,3	25,6	31,05	36,15	32,15	29,6	23,55	16,4	12,9
1954	10,4	12,3	17,5	20,8	26,25	33,35	32,55	32,25	29,65	21,2	17,85	12,55
1955	14,8	17,15	17,4	20,4	29	32,65	35,85	33,9	29,3	23	17,6	14,65
1956	12,6	10,7	16,5	21,45	26,2	31,45	34,15	33,6	30,1	22,15	14,65	10,45
1957	9,9	15,15	17,5	19,75	25,45	30,95	32,25	32,15	28,4	21,25	15,1	10,65
1958	10,2	14,35	17,55	19,6	27,05	32	33,85	33,45	28,7	21,7	15,05	13,55
1959	11,1	11,65	17,45	20,35	25,15	31,35	33,2	34,05	31,15	22,55	15,5	11,65
1960	10,75	15,9	18	19,6	26,95	30,6	34,35	35	28,35	23,15	17,05	11,15
1961	10,25	14,05	15,3	22,25	27,95	30,25	33,9	32,2	27,95	21,45	18,9	12,95
1962	11,65	12,15	17	21,6	26,35	30,2	34,4	33	29,5	23,45	14,5	11,85
1963	13,65	13,75	16,05	21,1	23,2	31,45	34,5	34,25	28,6	20,2	17,45	13,6
1964	10,9	14,15	19,15	20,1	27	31,15	32,45	33,55	28,45	22,25	15,25	10,75
1965	11,1	11,6	17,45	19,15	25,4	29,3	34,9	32,95	28,1	24,3	16,95	12,95
1966	13,9	15,8	14,2	21,35	24,55	32,55	34,35	34,25	28,95	22,1	14,25	10,05
1967	9,95	14,3	16,65	19,95	27	29,55	32,05	33,2	28,65	23,25	17,7	9,2
1968	9,65	14,65	17,1	22,25	25,8	29,35	33	33,85	28,95	21,9	17,15	12,6
1969	12,05	14,6	19,35	20,85	27,3	30,75	30,55	32,55	*	*	17,85	10,8
1970	13,85	13,4*		19,7*		*	*	*	*	*	*	*
Moy	11,4	13,7	17,2	20,9	26,2	31,3	33,8	33,5	29,2	22,4	16,4	11,9
σ	1,6	1,7	1,5	1,3	1,3	1,4	1,4	1,0	1,0	1,3	1,4	1,4
Max.	14,8	17,15	19,6	24,3	29	34,95	36,15	35,45	31,85	24,75	18,9	14,65
Min.	9,35	10,7	14,2	19,15	23,2	29,3	30,55	32,15	27,95	20,15	14,25	9,2

Températures mensuelles moyennes d'Ouargla (1988-1998)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1988	12,8	13,3	16,7	23,1	29,6	32,3	36,5	35,1	30	24,2	17,4	10
1989	10,1	14	18,6	21,2	25,4	30,8	33,7	35,6	31,1	23,7	21,6	14,7
1990	11,8	15,2	17,1	21,4	25,2	33,3	33,8	32,6	33	25,9	17,2	11,1
1991	10,2	12,3	16,95	20,05	23,6	30,65	34,7	33,4	30,35	23,3	15,1	10,45
1992	9,3	12,15	16,05	21,3	25	30,15	32,1	33,45	29,7	24,3	16,05	26,65
1993	10,15	11,95	15,75	19,6	27,5	34,75	34,6	34	29,85	24,45	17,35	11,85
1994	12,4	14	18,1	19,65	28,95	32,45	34,25	34,55	29,8	23,35	17,65	11,6
1995	12,7	15,25	16,75	21,75	27,6	31,7	35,45	35,25	29,1	22,5	16,9	14,3
1996	14,1	13,2	18	20	26,3	29,55	33,65	35,85	29	20,9	16,85	14,45
1997	12,95	14,3	16,05	23,1	27,7	34,75	36,3	34,45	*	23,9	17,75	13,7
1998	11,7	14,2	16,5	20,9*		*	*	*	*	*	*	*
Moy	11,7	13,6	17,0	21,1	26,7	32,0	34,5	34,4	30,2	23,7	17,4	13,9
σ	1,5	1,1	0,9	1,2	1,9	1,8	1,3	1,1	1,2	1,3	1,7	4,8
Max.	14,1	15,25	18,6	23,1	29,6	34,75	36,5	35,85	33	25,9	21,6	26,65
Min.	9,3	11,95	15,75	19,6	23,6	29,55	32,1	32,6	29	20,9	15,1	10

**Précipitations moyennes mensuelles de la station d'EL-Golea
(1988-1998)**

Mois	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	Dec
Années												
1988	0	8,6	5,5	0	0	0,1	0	0	2,5	7,5	23,7	0,2
1989	0	0	0,3	1	0	0,2	0	0	0	0	1,9	16,5
1990	23,9	0	0	2,7	16,9	0	0	0	0	0,6	5,9	0,4
1991	0	0,5	7,1	0	1,1	0	0	0	0	3,6	1,8	1,3
1992	0,4	0,3	13,9	9	1,7	0	0	0	0	3,3	17,9	7
1993	0	20,3	0,2	0	0	0	0	0	0,1	0,7	4,4	4,1
1994	5	0,3	18	0	0	0	0	0,1	32	19	6	3
1995	0,2	0,7	8,7	1,4	0,3	0	0	0,3	3,4	12,3	2,7	4,6
1996	1	3,2	26,2	0,3	0	4,3	0	0,6	11,4	0,6	0,1	0,4
1997	0,4	0	0	11,7	0,1	0	0	11	46,8	6,3	3,3	1,3
1998	0,8	0,5	1	0*	*	*	*	*	*	*	*	*
Moy	2,9	3,1	7,4	2,4	2,0	0,5	0,0	1,2	9,6	5,4	6,8	3,9
σ	7,12	6,24	8,75	4,08	5,26	1,35	0,00	3,27	8,13	6,17	7,74	4,96
C.V	2,47	2,00	1,19	1,72	2,62	2,94*		2,73	0,85	1,14	1,14	1,28

Précipitations moyennes annuelles de la station d' EL-Golea

Année	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Preci.(mm)	48,1	19,9	50,4	15,4	53,5	29,8	83,4	34,6	48,1	80,9	2,3

Précipitations mensuelles moyenne de Ghardaia

	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	dec
1988	0,1	8	2,9	5,4	1	4,4	0,9	0	6,1	11,4	17,2	0
1989	7,6	0	0	2,3	0	11,3	0	8,6	0,4	1,8	0,7	13
1990	46,3	0	0,4	20,7	15,9	2,2	1,3	4,7	0	0	30,8	10
1991	1,5	1,1	0,7	1,6	11,8	18,1	0	0	12	1	4,7	17
1992	8,5	0	15,7	2,9	15,1	0	0	0	1,6	0	14,7	38
1993	0	22,2	0,4	0	1	0	2	0	1,4	6,2	1,4	0
1994	3,3	0,5	40	1,5	0	6,2	2,7	0,2	75,7	23,1	7,5	3,8
1995	0,2*	*		0	0	0,3	0	0,3	43	4,5	5,5	6,3
1996	14,8	16,5	23,9	2	7	0	0,4	0	3,2	0	1	3,6
1997	2,8	1,5	5,4	76*		0	0	1,3	39,6	2,1	7,9	12,2
1998	0,4	3,6	1,1	2,8*	*	*	*	*	*	*	*	*
Moy	7,8	5,9	9,4	10,5	4	4,3	0,7	1,5	18,3	5	9,1	10,4
σ	13,6	8,4	2	22,5	6,8	6,1	1	2,9	25,8	7,3	9,4	11,2

Précipitations moyennes annuelles de Ghardaia

Année	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Prec.moy	57,4	45,7	132,3	69,5	96,5	34,6	164,5	60,1	72,4	148,8	7,9

pluviométries mensuelle d'El-Oued

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juille	Aout	Sept	Oct	Nov	DEC
1975	0	15,5	0,3	36	0,4	1	0	0	0,8	0	18	4,1
1976	19,1	9,4	30,5	0	27,2	1,8	0	0,2	0,4	3,4	20,9	0
1977	40,4	0,7	11,8	1,5	4,5	0	1,5	0,2	0	0,6	24,9	0,3
1978	6,8	29,3	0	0,2	9,6	0	0	10,4	0	17,4	0,1	*
1979	2,4	50,6	6,7	2,8	3	1,9	0	0	2,4	19,1	0	0
1980	3,6	1	48,7	12	0,5	0,7	0	0	14,7	0,2	17,3	7,8
1981	0	13,6	4,6	0,2	4,5	4,4	0	0	2,3	0	0	0,3
1982	3,1	15,8	1,8	36	1	0,5	0	0	0,8	0,4	22,1	6,8
1983	0	4,9	3,3	0,3	0,1	2	0	0	3	0,6	0	1,9
1984	13,9	2,9	7,9	2,2	0	0	0	0	0,4	16,6	6	1,1
1985	8,9	1,9	1,7	7	11	0,4	0	0	0	3,3	0,7	5,7
1986	1,1	1,7	25,7	12	9	0,8	0	0	1,8	18,2	4	15,9
1987	10,7	4,2	5,9	5,4	0,5	1	0	0	0	5,7	1,6	4,2
1988	0,7	1,7	7,7	0,2	4,8	14,2	0,1	0	8,6	5,3	24,6	9,3
1989	8,9	0,4	0	0	0	1,9	0	0,5	0	2,2	4,4	0,2
1990	78,8	0	5,3	25	43,3	0,1	0,8	11	1	0,5	14,6	26,2
1991	0,4	1,8	22,6	1,5	2,3	0,5	0	2	2,6	6	3,2	4,3
1992	12,3	1,2	18,4	15	1,1	0	2,8	0	0	0	9,3	3,4
1993	0	16,4	5	0	0,4	0	0	0	0,8	8,2	11,6	3,7
1994	1	1,2	13,2	5,1	9,2	0	0	0,8	8,7	9,4	0	0

précipitation moyenne annuelle d'El-Oued

Année	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
preci.moy	75,9	112,2	86,4	73,8	88,9	106	29,9	88,4	16,1	51
Année	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
preci.moy	40,6	89,8	39,2	77,2	18,5	206,2	47,2	63,6	46,1	48,6

précipitation moyennes mensuelles de Tougourt

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1988	0	0	1,7	0	1,3	4,1	0	0	5,2	6,9	34	4
1989	1,4	2	0	10	0	15	0	0	10	0	52	12
1990	60,2	0	6,8	17	29,4	0	0	13,4	0	0,1	0,1	20
1991	0	2,9	16,4	0,2	7,8	1,8	0	0	3,3	2,4	5,5	0,2
1992	34,6	0	23,1	12,8	23,7	0	14,4	0	0	0	7,2	10
1993	0	22,9	5,1	0	1	0	0	1	1,4	6,8	12,2	4,8
1994	4,6	3,2	10,8	5,9	0	1,1	0,1	0	12,6	10,3	0	0
1995	2,7	0	0	0	0	0	0	3,2	31,3	0,9	1,9	21
1996	42,6	21,2	16,1	0	2,1	0	0	0	4,9	0,3	0	12
1997	0	0	0	17,9	0,1	0	0	0	22,2	0,2	10,4	14
σ	22,44	8,97	8,26	7,46	10,9	4,69	4,55	4,21	10,4	3,78	17,3	7,51
MOY	14,61	5,22	8,00	6,38	6,54	2,20	1,45	1,76	9,09	2,79	12,3	9,87

Précipitations moyennes annuelles de la station de Tougourt

Années	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Pre(mm)	57,2	102	147	40,5	126	55,2	48,6	61,4	99,3	65

Précipitations moyennes mensuelles de la stations de Ouargla

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1985	2,4	0	6	0,7	0	0	0	0	0,2	0	0	1,8
1986	1	2	29,6	0,9	0,5	0,3	0	0	0	0,3	0,1	0,2
1987	0,7	5,3	2	0	0,3	3,2	0	0	3,5	23,2	16,2	1
1988	0	7,9	4,4	0	1	1,7	0	0	0	25,2	0,8	2,1
1989	1,3	0	0	0	0	1,9	0	0	0	0	10	2,7
1990	44,3	0	0	26,6	15,7	0	0	0	0	0	2,5	6,1
1991	0	0	1,4	1,9	0	0	0	0	0	1,2	2,5	1,9
1992	0	0	15,6	6,6	0,5	0	0,1	0	0,4	0	11,6	22,4
1993	0	5,7	0,8	0	0	0	0	0	0,3	2,1	3,7	3
1994	2,8	0,2	17,4	1,5	0	2,5	0	0	15,2	10,1	0	2,2
1995	0,5	0	13,4	0	1,8	0	0	0	11,3	4,3	2,3	4,3
1996	13,4	6,3	14,8	1,5	0,9	0	0,7	0	8,7	0	0	1,2
1997	2	4	0	4,8	0	0	0	0,3	8	8,3	0,9	1,6
1998	0	0	2,1	2,7	0	0,1	0	0	0	0,4	0,1	*
σ	11,86	2,94	9,04	6,97	4,13	1,12	0,19	0,08	5,18	8,62	5,16	5,76
MOY	5,3	2,5	6,1	3,7	1,6	0,8	0,1	0,021	4,1	6,1	4,2	4,5
C.V	2,24	1,18	1,48	1,88	2,58	1,4	1,87	3,74	1,26	1,41	1,23	1,28

précipitations moyennes annuelles de la stations de Ouargla

1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	
16	53,6	13	10,6	14	15,6	53	96	73	22,5	17,2	28,5	21	14,5	41,5	
1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
38,8	19,3	11,1	34,9	55,4	43,1	15,9	95,2	8,9	57,2	15,6	51,9	37,9	47,5	29,9	5,4

Essais de pompageForage F1 : EL-GUEDACHFalier Constant : Remontée

Date	Heures	Minutes	N.D (m)	Débit (l/s)	Rabattements (m)	I+I'
15.12.1992	8:00	00	23.65	50	6.50	-
		1	17.81	00	0.66	2321
		2	17.66		0.51	2161
		3	17.61		0.46	1441
		4	17.58		0.43	1081
		5	17.52		0.37	865
		7	17.48		0.33	618
		9	17.46		0.31	481
		11	17.45		0.30	394
		13	17.43		0.28	333
		15	17.42		0.27	289
		20	17.38		0.23	217
		25	17.38		0.23	174
		30	17.35		0.20	145
		40	17.35		0.20	109
	50	17.33		0.18	87	
	9:00	60	17.32		0.17	73
		75	17.32		0.17	58
		90	17.32		0.17	49
		105	17.32		0.17	42
		120	17.32		0.17	37
	10:00	135	17.32		0.17	33
		150	17.32		0.17	30
		165	17.31		0.16	27
	11:00	180	17.31		0.16	25
		210	17.30		0.15	22
	12:00	240	17.30		0.15	19
		270	17.29		0.14	17
		300	17.28		0.13	15
		360	17.27		0.12	13
		420	17.24		0.09	11
		480	17.24		0.09	10
		540	17.22		0.07	9
		600	17.20		0.05	8
660		17.18		0.03	7.5	
720		17.18		0.03	7	
780	17.17		0.02	6.5		
840	17.16		0.01	6.1		
900	17.15		0.00	5.2		

Essais de pompage

Forage F1 : EL-GUEDACHI

Palier Constant : Descente

NS = 17,15

Date	Heures	Minutes	N.D (m)	Débit (l/s)	Rabattements (m)		
12.12.1992	8:00	00	NS 17.15	00	00		
		1	22.80	50	5.65		
		2	22.86		5.71		
		3	22.90		5.75		
		4	22.93		5.78		
		5	22.95		5.80		
		7	22.96		5.81		
		9	22.97		5.82		
		11	22.97		5.82		
		13	22.98		5.83		
		15	22.98		5.83		
		20	22.97		5.82		
		25	22.99		5.84		
		30	22.00		5.85		
		40	23.05		5.90		
		50	23.16		6.01		
		9:00	60	23.18		6.03	
			75	23.20		6.05	
			90	23.23		6.06	
			105	23.27		6.12	
			10:00	120	23.28		6.13
				135	23.30		6.15
		150		23.33		6.18	
		11:00	165	23.34		6.19	
			180	23.37		6.22	
			210	23.39		6.24	
		12:00	240	23.45		6.30	
			270	23.45		6.30	
		13:00	300	23.50		6.35	
		14:00	360	23.50		6.35	
15:00	420	23.52		6.37			
16:00	480	23.52		6.37			
17:00	540	23.54		6.39			
20:00	720	23.57		6.42			
23:00	900	23.57		6.42			
13.11.1992	02:00	10.80	23.59		6.44		
	05:00	12.60	23.60		6.45		
	08:00	14.40	23.60		6.45		
	11:00	16.20	23.64		6.49		
	14:00	18.00	23.70		6.55		
	17:00	19.80	23.74		6.59		
	20:00	21.60	23.74		6.59		
	23:00	23.40	23.74		6.59		
	14.12.1992	02:00	25.20	23.68		6.53	
		05:00	27.00	23.70		6.54	
08:00		28.80	23.68		6.53		
11:00		30.60	23.64		6.49		
14:00		32.40	23.64		6.49		
17:00		34.20	23.64		6.49		
20:00		36.00	23.65		6.50		
23:00		37.80	23.65		6.50		
15.12.1992	02:00	39.60	23.65		6.50		
	05:00	41.40	23.65		6.50		
	08:00	43.20	23.65	50	6.50		

Essais de pompageForage F5 : EL-GUEDACHIPalier Constant : Remontée

Date	Heures	Minutes	N.D (m)	Débit (l/s)	Rabattements (m)	I+I'	
19.10.1993	18:00	00	24.17	50	6.97	-	
		1	18.24	00	1.04	4321	
		2	18.20		1.00	2161	
		3	18.14		0.94	1441	
		4	18.09		0.89	1081	
		5	18.05		0.85	865	
		7	17.98		0.78	618	
		9	17.95		0.75	481	
		11	17.93		0.73	394	
		13	17.88		0.68	333	
		15	17.85		0.65	289	
		20	17.80		0.60	217	
		25	17.76		0.56	174	
		30	17.72		0.52	145	
		40	17.67		0.47	109	
	50	17.61		0.41	87		
	19:00	60	17.57		0.37	73	
		75	17.54		0.34	58	
		90	17.50		0.30	49	
		105	17.48		0.28	42	
		120	17.47		0.27	37	
		135	17.46		0.26	33	
		150	17.45		0.25	30	
		165	17.44		0.24	27	
		21:00	180	17.43		0.23	25
			195	17.42		0.22	23.2
	210		17.41		0.21	22	
	22:00	225	17.40		0.20	20.2	
		240	17.39		0.19	19	
		270	17.37		0.17	17	
		300	17.35		0.15	15	
		330	17.33		0.13	14.1	
	00:00	360	17.32		0.12	13	
01:00		420	17.30		0.10	11	
02:00		480	17.27		0.07	10	
03:00		540	17.26		0.06	9	
25.10.1993		06:00	720	17.24		0.04	7
	09:00	900	17.41		0.01	5	

Essais de pompage

Forage F5 : EL-GUEDACHI

Palier Constant : Descente

NS = 17,20

Date	Heures	Minutes	N.D (m)	Débit (l/s)	Rabattements (m)
		00	NS : 17.20	00	00
		1	22.95	50	5.75
		2	23.25		6.05
		3	23.30		6.10
		4	23.31		6.11
		5	23.33		6.13
		7	23.37		6.17
		9	23.38		6.18
		11	23.40		6.20
		13	23.41		6.21
		15	23.43		6.23
		20	23.45		6.25
		25	23.47		6.27
		30	23.49		6.29
		40	23.59		6.39
		50	23.65		6.45
	19:00	60	23.70		6.50
		75	23.73		6.53
		90	23.76		6.56
		105	23.79		6.59
	20:00	120	23.82		6.62
		135	23.85		6.65
		150	23.87		6.67
		165	23.89		6.69
	21:00	180	23.90		6.70
		195	23.92		6.72
		210	23.94		6.74
		225	23.96		6.76
	22:00	240	23.98		6.78
		270	24.01		6.81
	23:00	300	24.02		6.82
		330	24.03		6.83
	00:00	360	24.04		6.84
17.10.1993	01:00	420	24.04		6.84
	02:00	480	24.06		6.86
	03:00	540	24.07		6.87
	06:00	720	24.06		6.86
	09:00	900	24.08		6.88
	12:00	1080	24.04		6.84
	15:00	1260	24.04		6.84
	18:00	1440	24.06		6.86
	21:00	1620	24.12		6.92
18.10.1993	00:00	1800	24.13		6.93
	03:00	1980	24.13		6.93
	06:00	2160	24.13		6.93
	09:00	2340	24.15		6.95
	12:00	2520	24.14		6.94
	15:00	2700	24.11		6.91
	18:00	2880	24.13		6.93
	21:00	3060	24.15		6.95
19.10.1993	00:00	3240	24.17		6.97
	03:00	3420	24.20		7.00
	06:00	3600	24.17		6.97
	09:00	3780	24.19		6.99
	12:00	3960	24.18		6.98
	15:00	4140	24.15		6.95
	18:00	4320	24.17		6.97

Essais de pompageForage F7 : EL-GUEDACHPalier Constant : Remontée

Date	Heures	Minutes	N.D (m)	Débit (l/s)	Rabattements (m)	I+I/P
24.10.1993	15:00	00	34.45	50	15.75	-
		1	20.15	00	1.45	43.21
	2	19.63		0.93	2161	
	3	19.60		0.90	1441	
	4	19.54		0.84	1081	
	5	19.50		0.80	865	
	7	19.45		0.75	618	
	9	19.41		0.71	481	
	11	19.38		0.68	394	
	13	19.36		0.66	333	
	15	19.34		0.64	289	
	20	19.30		0.60	217	
	25	19.27		0.57	174	
	30	19.25		0.55	145	
	40	19.21		0.51	109	
	50	19.17		0.47	87	
	16:00	60	19.14		0.44	73
		75	19.11		0.41	58
		90	19.09		0.39	49
	17:00	105	19.07		0.37	42
		120	19.05		0.35	37
		135	19.03		0.33	33
	18:00	150	19.01		0.31	30
		165	19.00		0.30	27
		180	18.99		0.29	25
	19:00	195	18.98		0.28	23.2
		210	18.97		0.29	22
		225	18.96		0.26	20.2
	20:00	240	18.95		0.25	19
		270	18.93		0.23	17
	21:00	300	18.91		0.21	15
		330	18.90		0.20	14.1
	22:00	360	18.89		0.19	13
23:00	420	18.87		0.15	11	
00:00	480	18.85		0.15	10	
25.10.1993	01:00	540	18.83		0.13	9
	03:00	720	18.79		0.09	7
	06:00	900	18.15		0.05	6
	09:00	1080	18.72		0.02	5

Forage F7 : EL-GUEDACHI

Palier Constant : Descente

NS = 18,70

Date	Heures	Minutes	N.D (m)	Débit (l/s)	Rabattements (m)	
21.10.1993	15:00	00	NS : 18.70	00	00	
		1	33.14	50	14.44	
		2	33.20		14.50	
		3	33.27		14.57	
		4	33.40		14.70	
		5	33.48		14.78	
		7	33.57		14.87	
		9	33.69		14.99	
		11	33.75		15.05	
		13	33.79		15.09	
		15	33.84		15.14	
		20	33.87		15.17	
		25	33.94		15.24	
		30	33.95		15.25	
		40	33.95		15.26	
		50	33.96		15.29	
		16:00	60	34.05		15.35
			75	34.13		15.43
			90	34.19		15.49
		17:00	105	34.15		15.45
			120	34.17		15.47
			135	34.19		15.49
		18:00	150	34.23		15.53
			165	34.28		15.58
			180	34.22		15.52
		19:00	195	34.27		15.57
			210	34.34		15.66
			225	34.36		15.66
		20:00	240	34.32		15.62
			270	34.39		15.69
			300	34.37		15.67
		21:00	330	34.39		15.69
			360	34.37		15.67
			420	34.39		15.69
		22:00	480	34.38		15.68
			00:00	540	34.40	
23:00	03:00		720	34.44		15.74
	06:00	900	34.48		15.78	
	09:00	1080	34.57		15.87	
22.10.1993	12:00	1260	34.40		15.70	
	15:00	1440	34.38		15.68	
	18:00	1620	34.44		15.74	
23.10.1993	21:00	1800	34.46		15.76	
	00:00	1980	34.46		15.76	
	03:00	2160	34.45		15.76	
24.10.1993	06:00	2340	34.45		15.75	
	09:00	2520	34.49		15.79	
	12:00	2700	34.44		15.74	
25.10.1993	15:00	2880	34.40		15.70	
	18:00	3060	34.46		15.76	
	21:00	3240	34.37		15.67	
26.10.1993	00:00	3420	34.40		15.70	
	03:00	3600	34.42		15.72	
	06:00	3780	34.42		15.72	
27.10.1993	09:00	3960	34.45		15.75	
	12:00	4140	34.43		15.73	
	15:00	4320	34.45		15.75	

BIBLIOGRAPHIE

- BENDRISSOU M. (1998) :- Réactualisation des ressources en eaux de la cuvette d'Ourgla). projet de fin d'étude I.S.T-U.S.T.H.B.
- BENMERAR A.(1992) :- Caractéristique des sols des oasis en relation avec le système d'irrigation et la profondeur de la nappe projet de fin d'étude INA.
- BENMAMMAR N&BOUGUERIA N (1995) :- étude hydrogéologique et modélisation de la nappe du plateau du Mostaganem projet de fin d'étude ENP.
- CASTANY G (1982) :- principes et méthodes de l'hydrogéologie .
- CORNET A (1961) :- initiation à l'hydrogéologie saharienne .
- DUBIEF 1950 :- le climat du Sahara Tome I publ C.N.R.S. ,PARIS.
- DUBIEF 1950 :- le climat du Sahara Tome II publ C.N.R.S. ,PARIS.
- DJEDAA A & DJETTOU R (1991) :- étude hydrogéologie de la cuvette d'Ourgla (bas Sahara Algérie)
mémoire fin d'étude I.S.T- U.S.T.H.B.
- BUSSON G :- Le Mésozoïque Saharienne - deuxième partie
essai de synthèse des donnée des sondages
ALGERO-TUNISIENS tome II.
- LIAMAS J :- Hydrologie Générale principe et application, 2^e édition.
- HADDADI H & ZAYED D (1994) :- étude préliminaire en vue de la simulation par modèle de la nappe Mio-Pliocène de la cuvette d'Ouargla
projet de fin d'étude I.S.T-U.S.T.H.B.
- MESBAH M (1981) :- contribution a l'étude hydrogéologique de la basse valle de l'oued NADOR (région de Tipasa)
thèse doctorat de 3^e cycle I.S.T- U.S.T.H.B.
- SLIMANOU F & DAUODI Z (1997) :- Evaluation des ressource en eaux du bassin oued Mya)
projet de fin d'étude I.S.T- U.S.T.H.B.
- SETLZER :- Climat de L'Algérie.
- ANRH (Alger) Donnée Hydrogéologie Sur La Région.
- ONM Donnée Sur La Météorologie.
- Projet monostade de la station de pompage a Ourgla .F N°14 – 1968-.