

8/7  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

*Ecole Nationale Polytechnique*  
**DEPARTEMENT HYDRAULIQUE**



**PROJET DE FIN D'ETUDES**

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

*Thème*

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA  
REMONTÉE DES EAUX DANS LA  
REGION DE OUED SOUF**

*Proposé et Dirigé par :*

**Mr. REMINI.B**  
**Mr. BENZIADA.S**

*Etudié par :*

**Mr. BEYAT.Miloud**

*Promotion : Octobre 1997*

**E.N.P. 10, AVENUE HASSEN BADI - EL-HARRACH - ALGER**

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

*Ecole Nationale Polytechnique*  
**DEPARTEMENT HYDRAULIQUE**



المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات  
المعهد الوطني للدراسات والبحوث  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

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

*Thème*

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA  
REMONTÉE DES EAUX DANS LA  
REGION DE OUED SOUF**

*Proposé et Dirigé par :*

**Mr. REMINI.B**  
**Mr. BENZIADA.S**

*Etudié par :*

**Mr. BEYAT.Miloud**

*Promotion : Octobre 1997*

E.N.P. 10, AVENUE HASSEN BADI - EL-HARRACH - ALGER

تهدف هذه الأطروحة إلى دراسة عامة حول ظاهرة صعود

المياه في منطقة وادي سوف .

ابتداءً من دراسة العوامل المؤثرة ، وكذلك الأسباب والآثار الناجمة

عن هذه الظاهرة .

وفي الأخير نطرح مجموعة من الاقتراحات التي نعتقد نجاعتها ميدانياً .

#### RESUME( Contribution l'étude de la remontée des eaux dans la région du Souf )

Ce mémoire présente la synthèse des connaissances sur le phénomène de la remontée des eaux souterraines dans la région du Souf .

Les causes et mécanismes de la remontée de ces eaux ont été passé en revue ainsi que son impact sur la vie socio-économique de la région en insistant sur le caractère destructeur de l'équilibre fragile de l'environnement oasien du Souf.

#### SUMMARY ( Introduction to the study of bottom water rising Souf region )

This memory can be recognized as the first feet to study a phenomenon called " The rise of bottom water in the region of Oued Souf " .

Firstly, we shall treat this phenomenon generally in various sides geographically , geologically, hydrologically , hydrogeologically . Its relationship with the climate and so with the type of soil , and also we 'll analyse this water chemically .

After stating all these previous factors , and their influences in rising bottom water , we'll try to discover the different causes , that affect on ; after that , we'll give a detailed analyse to this phenomenon .

Finally , we'll give different suggestions we hope that it is valid and usable

# SOMMAIRE



Page

Introduction Générale.....	1
Chapitre I: Situation de la ville.....	3
I.1 Situation Géographique.....	3
I.1.1 Historique de la région.....	4
I.1.2 Le Relief.....	4
I.1.3 Géomorphologie.....	4
I.1.4 Situation.....	5
I.2 Etude hydroclimatique.....	6
I.2.2 climatologie.....	6
2.1 climat de la région.....	6
2.2 La température.....	6
2.3 La pluviométrie.....	9
2.4 L'évaporation.....	11
2.4.1 Méthodes de calculs de ETR.....	13
2.4.2 Calcul de ETP.....	15
2.5 Formule de Thorntwaite.....	16
2.6 Régime climatique.....	18
2.7 Humidité.....	19
2.8 Les vents.....	22
Conclusion.....	23
Chapitre II: Etude géologique et hydrogéologique.....	24
II.1.1 Introduction.....	24
II.1.2 Cadre géologique général.....	24
1.2.1 Le Secondaire.....	24
1.2.2 Le Tertiaire.....	27
1.3 Interprétation des coupes.....	28
1.4 Tectonique.....	29
1.5 Géophysique.....	30
1.5.1 Principe de la méthode de sondage par prospection électrique.....	30
1.5.2 But de l'étude.....	30
1.5.3 Interprétation des coupes électriques.....	31

II.2 Situation Hydrogéologique.....	32
2.1 Cadre Hydrogéologique général.....	32
2.2 Présentation des nappes aquifères dans le Souf.....	33
2.3 Lithostratigraphie des nappes du Souf.....	37
2.4 Interprétation des cartes "izopièzes".....	39
Chapitre III: Etude Granulométrique et hydrochimique.....	42
III.1 Etude Granulométrie et physico-chimique.....	42
1.2 Nature, composition granulométrique.....	42
1.3 Interprétation des résultats.....	43
1.4 Humidité latente du sable.....	43
1.5 Teneur en eau naturelle.....	44
1.6 Variation de la teneur en eau observée sur place.....	44
1.7 Détermination du coefficient de perméabilité.....	46
III.2 Etude Hydrochimique.....	48
2.2 Caractéristiques physico-chimiques des eaux.....	48
2.3 Etude comparative pour le résidu sec en 1993 et 1994.....	52
2.4 Interprétation des cartes d'égal résidu-sec.....	53
2.5 Les caractéristiques chimiques des eaux.....	53
2.6 Interprétation du diagramme de Schooler-Berkaloff.....	54
2.7 Teneur admissible.....	55
2.8 L'Aptitude des eaux de la nappe pour l'irrigation.....	56
2.9 Détermination de la qualité d'eau.....	56
2.10 Relation entre la salinité et la piézométrie.....	57
Chapitre IV: Présentation du Phénomène.....	59
IV.1 Principales causes de la remontée des eaux.....	59
1.2 Etat du réseau d'AEP.....	59
1.3 Pourquoi alors la nappe remonte-t-elle ?.....	61
1.4 Interprétation de la figure d'évolutions des prélèvements.....	64
IV.2 Présentation du phénomène.....	65
2.2 Historique de la remontée.....	65
2.3 Influences des caractéristiques hydrologique.....	66
2.4 Influences des caractéristiques hydrogéologique.....	67
2.5 Evolution des prélèvements.....	70
2.6 Evolution de la remontée.....	73
2.7 Evolution spatiale et temporelle des superficies endommagées.....	73
2.8 Estimation des dégâts causés par la remontée de la nappe.....	74
2.9 Communes concernées.....	79
Recommandation.....	80
Conclusion.....	84

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# *Introduction Générale*

## ***INTRODUCTION GENERALE***

La région d'El Oued englobe les localités de Guemar, Bir roumi , Hassi Khalifa et Debila au Nord . Ogla , Beiadha et Robbah au Sud (figure n° I.1).

Dans le passé , la région se singularisait par un Système hydro-agricole traditionnel oasien reposant sur l'utilisation du « Ghoutt » . Cette technique millénaire avait l'avantage de puiser l'eau directement de la nappe phréatique, sans recourir à la mobilisation de la ressource .

En plus de l'irrigation naturelle de 9500 « Ghoutts » , cette nappe alimentait les cultures secondaires vivrières sous frondaison ainsi que les principales agglomérations en eau potable à partir de puits de faible profondeur.

Jusqu'en 1956 , date de réalisation du premier forage profond (250 m), la nappe phréatique constituait le seul recours comme réservoir d'eau , un équilibre y prévalait sur le plan hydrique .

De 1956 à nos jours , 110 forages ont été réalisés dans les nappes profondes . Ces forages débitent actuellement près de 85 millions de m<sup>3</sup> destinés à l'irrigation et à l'A.E.P par an . Une bonne fraction constitue un apport supplémentaire à la nappe phréatique par le biais des retours

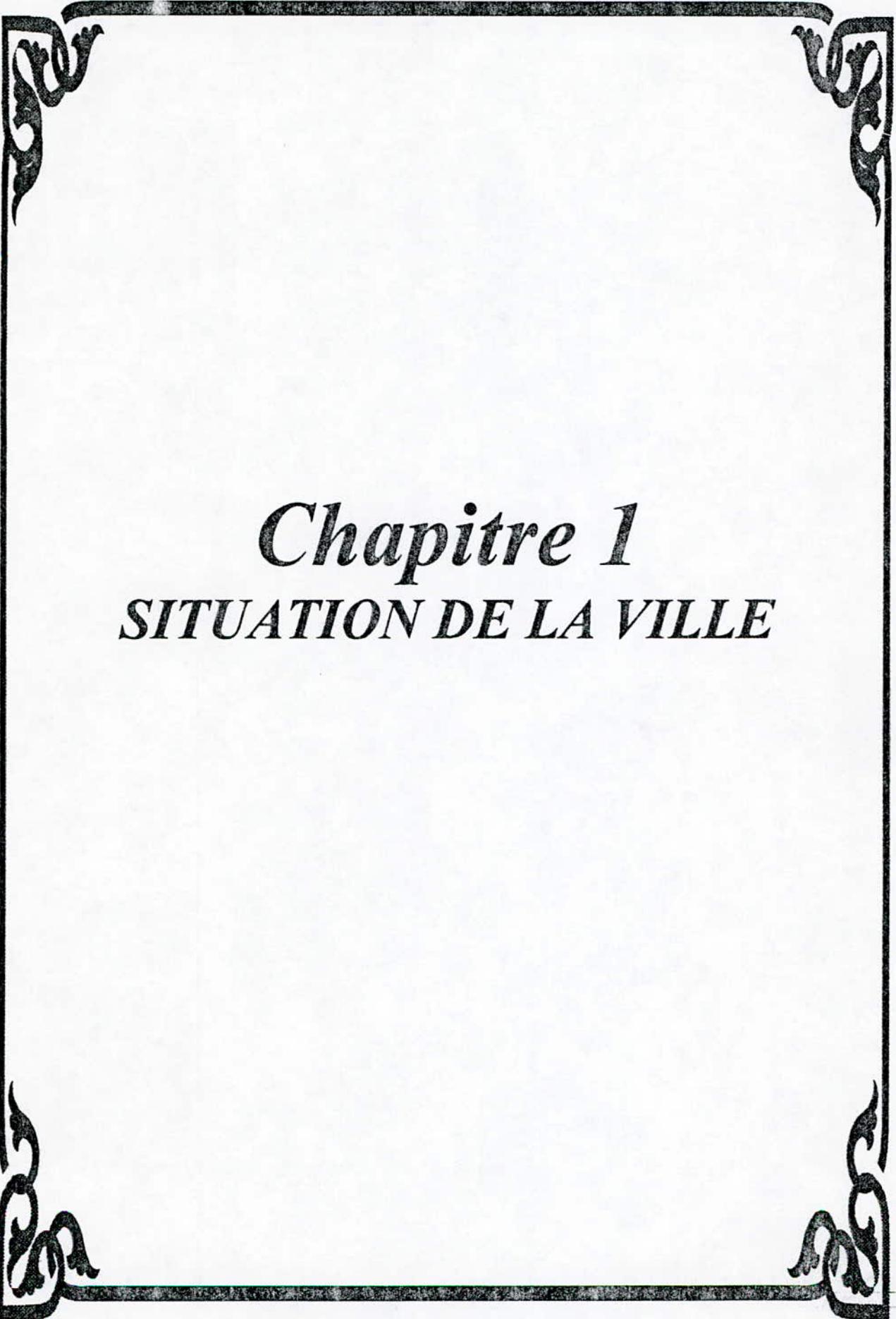
d'irrigation et d'autres réseaux d'assainissement , contribuant ainsi à l'augmentation du volume d'eau que renferme la nappe superficielle.

Cet apport supplémentaire à la nappe est facilité par :

- la lithologie du sol (sable dunaire) qui facilite l'infiltration ;
- la défektivité du réseau d'assainissement ;
- les fuites permanentes à partir des vieux forages ou mêmes des captages récents munis de têtes de puits détériorées .

On va étudier dans ce présent mémoire quelques paramètres concernant la situation de la région ( géographie , climatologie , géologie , hydrogéologie , granulométrie et hydrochimie ) . Ainsi qu'une présentation du phénomène de la remontée des eaux souterraines .

Finalement on cite des recommandations qui nous croyons son efficacité surtout la méthode d'enfouissement et de marcottage .



*Chapitre 1*  
*SITUATION DE LA VILLE*

## I. SITUATION DE LA VILLE

### I.1 Géographique

#### I.1.1 Historique et Situation Géographique

Le "Souf" vient du nom berbère désignant rivière ou Oued . A l'origine la principale activité des habitants de la région était l'agriculture . Chaque palmeraie a vu le jour à la suite d'efforts considérables tant sur le plan physique que financier .

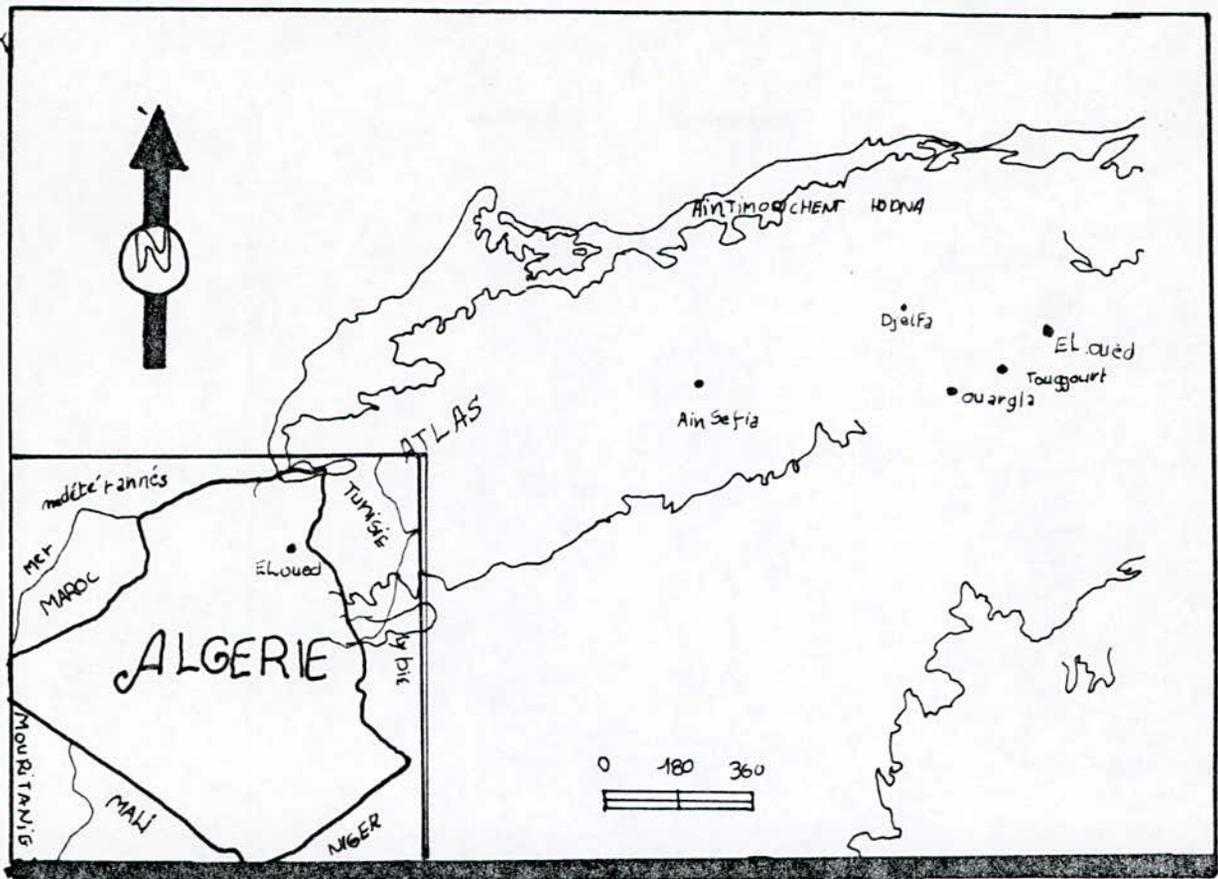
Les cuvettes " Ghoutts " que creusait l'agriculteur et dans lesquelles il plantait ses palmiers , permettaient à ces derniers de puiser l'eau dont ils avaient besoin pour leur développement à partir de la nappe phréatique qui était toute proche . Cette méthode facilitait la tâche à l'agriculteur , elle lui évitait donc l'irrigation des palmiers . On dénombre dans le Souf plus de 9000 Ghoutts [D.S.A d'El Oued,1995].

Géographiquement , la région du Souf fait partie du Sahara Septentrional Nord-Est , elle est couverte par d'innombrables dunes . le Souf est limité par (figure n° I.1):

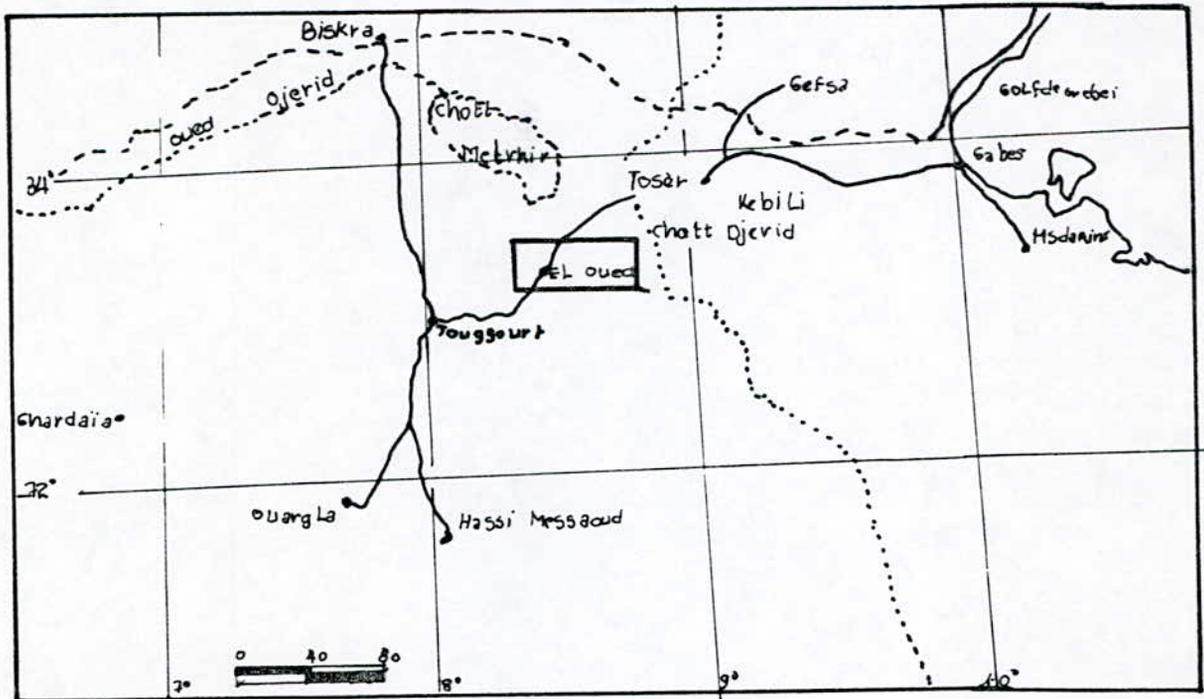
- La zone des chotts ( Melghir , et Meroune ) au Nord .
- L'extension de l'Erg Oriental au Sud .
- La frontière Tunisienne à l'Est .
- La vallée de l'Oued Rhir à l'Ouest .

La wilaya d'El Oued dont la superficie est de 44586 Km<sup>2</sup> , se trouve à environ 650 Km au Sud-Est d'Alger et à 350 Km à l'Ouest de Gabès ( Tunisie) à une altitude de 30° 30' Nord et une longitude 6° 47' Est (figure n° I.1 ) , [Nadjah,1957].

Actuellement le Souf compte 390.850 habitants soit une densité de 29 habitants/Km<sup>2</sup> .[O.N.S 1996]



**SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SOUF PAR RAPPORT AU NORD ALGERIEN**



**Figure n°1.1 Situation Géographique locale (In Nezli 1993).**

On ce qui concerne les activités de la région , l'agriculture et le commerce représentent les principales activités des habitants de la région .

La culture dominante est le palmier dattier viennent après le tabac , les arachides et dernièrement la pomme de terre ensuite quelques cultures maraîchères .

La surface agricole utile tourne autour de 19000 ha .Le secteur privé détient plus de 16000 ha ( plus de 84 % ) [D.S.A d'El Oued,1995].

La ville d'El Oued est un centre d'échange commercial très actif grâce à sa position géographique .

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

### **I.1.2 Le Relief de la région**

Le relief du Souf est caractérisé par l'existence de trois principales formes :

- Une zone sableuse , qui se présente sous un double aspects, l'Erg et le Sahara .
- Une forme de plateau rocheux qui s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et crêtes rocheuses .
- Une zone de dépressions caractérisée par la présence d'une multitude de chotts qui plonge vers l'Est .

La variation des côtes est relativement faible , le point le plus bas correspond à la côte 80 m alors que le plus haut atteint la côte de 80.5 m [Benhamida,1993].

### **I.1.3 Géomorphologie de la région**

La région du Souf se trouve dans la partie du grand Erg Oriental , qui se caractérise par un ensemble de dunes de sable d'origine Continental et d'âge quaternaire .Ces dunes sont déposées longitudinalement portant la dénomination du ( Sif ou Sabre ) dépassent parfois 60 mètres de hauteur.

Entre les cordons dunaires se forment les " Sahanes " ou les plateaux déprimés , souvent assez étendus et parfois caillouteux ou recouverts par des vieilles formations d'encroûtements gypseux du quaternaire [Benhamida,1993].

#### **I.1.4 SITUATION ECONOMIQUE : [D.S.A d'El Oued,1994]**

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

-Ovin : 500.000 têtes.

-Caprin :153.000 têtes.

-Camelin :27300têtes.

-Bovin :4700 têtes.

cela permet d'avoir:

- une production de viande rouge estimée à : 4700 tonnes/an ;
- une production de viande blanche estimée à : 2240 tonnes/an ;
- une production d'oeufs estimée à : 27561270 Oeufs/an ;
- une production laitière : 4400000 litres/an .

## **I.2 Etude hydroclimatique**

### **I.2.1 Introduction**

La connaissance des caractéristiques hydroclimatiques est nécessaire pour toute étude hydrogéologique car elles influent directement sur les apports souterrains ( infiltration ), donc sur l'hydrodynamique des aquifères en particulier lors de l'établissement du bilan hydrique de ces derniers.

En effet, elle permet d'une part d'évaluer l'alimentation des nappes souterraines et d'autre part d'avoir une idée sur les phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère .

### **I.2.2 Climatologie**

#### **1) Climat de la région**

Le climat de la région en question est de type saharien , caractérisé par un été chaud et sec dont la température peut atteindre jusqu'à 54° C et un hiver doux jusqu'à 3° C .

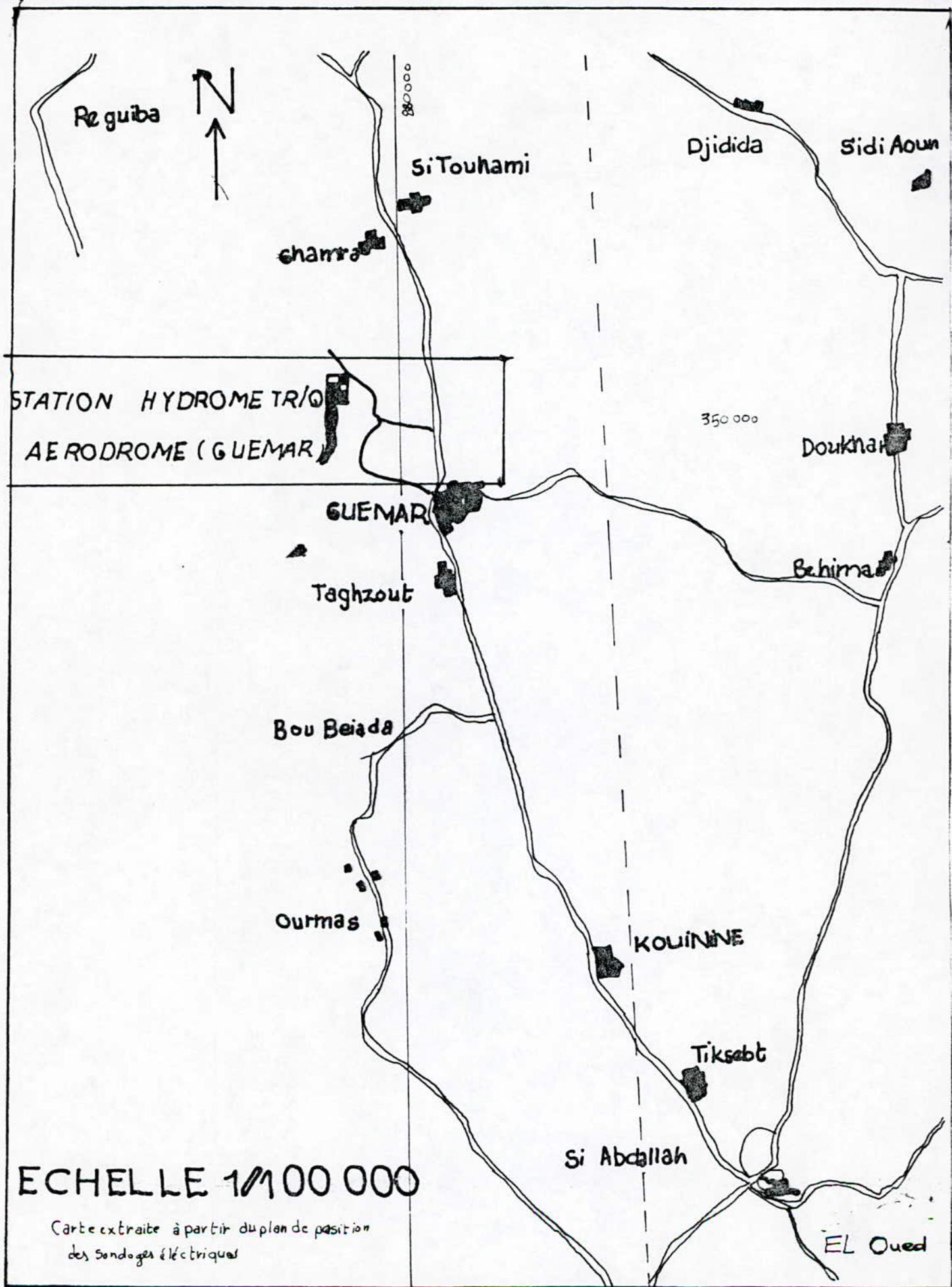
Les principales contraintes climatiques restent la fréquence régulière des vents et leur violence, connus sous le "Chehili" ou le sirocco ainsi que des vents de sables durant le printemps .

Les données relatives aux différents comportements qui régissent le climat (pluie ou précipitations , température , humidité et évaporation...etc) ont été recueillies auprès de l'Office National de la Météorologie ( O.N.M ) ,enregistrées par la station climatologique de l'aérodrome de Guemar -El Oued (figure n°I.2)

#### **2) La Température**

Les températures dans cette région sont constamment variables, les écarts entre la nuit et les maxima de 15°C à 49°C et ce, selon la durée de l'ensoleillement ; celles-ci sont élevées entre le début du mois jour dépassent parfois 21°C.

A l'ombre, les minima de températures progressent régulièrement de +3 °C à 25°C, alors que les de Janvier et à la fin du mois de Juillet.



SITUATION DE LA STATION HYDROMETRIQUE

Figure: N<sup>o</sup>. I. 2

Les données de températures moyennes mensuelles de 29 dernières années (1967-1995) sont indiquées dans le tableau n°I.1.

**Tableau n°I.1: Moyennes mensuelles de la température de l'air (1/10°C) (1967-1995) [O.N.M,1995] .**

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	No	Dec	Moy
Année													
1967	88	127	143	199	254	269	274	317	272	220	251	85	199.16
1968	91	135	154	109	255	266	282	319	280	211	158	113	207.75
1969	110	127	174	192	260	287	298	316	265	204	161	94	207.39
1970	121	122	159	191	235	301	316	337	281	205	143	109	210.00
1971	98	113	143	215	245	307	325	326	274	203	132	101	201.83
1972	98	134	161	187	223	306	327	316	274	200	154	96	206.00
1973	97	108	178	166	277	306	350	313	286	230	141	101	209.41
1974	107	116	156	182	265	302	311	309	278	189	125	91	202.58
1975	94	117	147	185	244	286	324	313	289	201	133	110	203.58
1976	90	120	135	190	236	280	321	312	270	211	124	117	200.58
1977	114	156	175	200	245	292	345	321	269	216	161	119	217.75
1978	94	148	159	198	239	297	315	309	269	186	136	129	206.58
1979	137	138	166	183	240	203	322	329	262	231	132	106	204.08
1980	100	125	156	182	230	278	312	324	283	200	162	87	204.91
1981	85	116	189	214	255	304	319	308	285	227	141	132	204.58
1982	116	125	156	193	245	318	349	335	282	223	156	99	316.41
1983	85	117	162	219	256	296	330	333	279	221	176	111	215.41
1984	105	120	164	208	244	292	317	329	281	203	160	109	210.16
1985	97	156	148	218	246	316	338	328	278	216	176	115	219.33
1986	107	135	156	299	266	299	325	338	286	231	151	108	216.75
1987	97	135	158	216	246	309	339	341	302	238	154	131	222.16
1988	122	135	165	217	287	299	344	335	291	241	166	99	223.58
1989	96	131	175	203	249	290	327	345	300	225	176	140	221.08
1990	118	127	167	201	243	315	324	311	318	248	168	104	222.16
1991	98	149	177	189	220	393	336	328	294	227	147	101	210.91
1992	90	121	150	190	245	289	314	334	297	236	164	116	213.58
1993	92	122	153	211	266	322	338	337	290	241	165	113	220.58
1994	121	119	175	189	286	316	340	347	296	228	171	112	225.91
1995	99	130	163	193	269	308	339	339	276	224	161	135	221.41

**Tableau n°I.2 Moyenne mensuelles des températures minimales (en °C) (1967-1995)**

MOIS	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
MOY	4.9	7.1	9.4	13.4	18	22.5	24.9	25.1	21.8	15.8	10	5.8

- La température moyenne minimale  $T = 14.89 \text{ } ^\circ\text{C}$

**Tableau n°I.3\_Moyenne mensuelles des températures maximales en (°C)  
(1967-1995)**

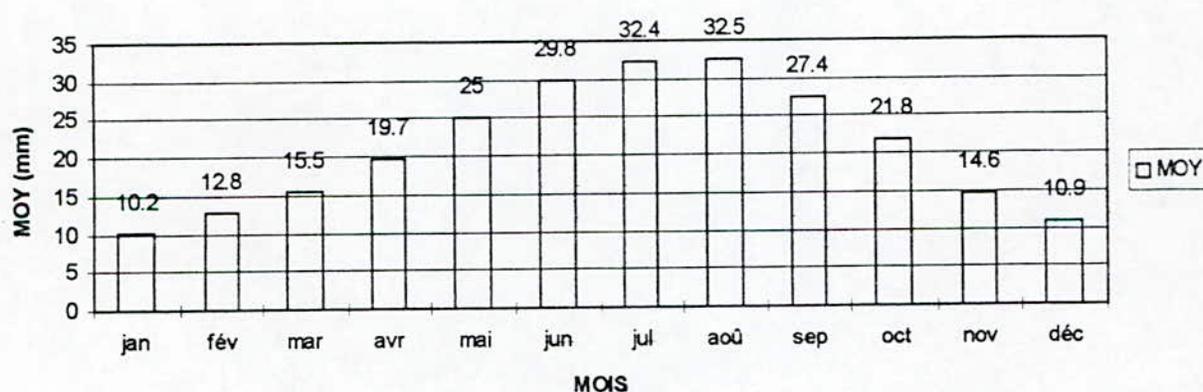
MOIS	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
MOY	17	19.3	22.5	26.6	31.8	36	40.5	38.8	35	29.1	22.2	17.3

- La température moyenne maximale  $T=14.89\text{ }^{\circ}\text{C}$

**Tableau n°I.4\_Moyenne mensuelles des températures moyennes en (°C)  
(1967-1995)**

MOIS	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
MOY	10.2	12.8	15.5	19.7	25	29.8	32.4	32.5	27.4	21.8	14.6	10.9

- La température moyenne  $T= 21.05\text{ }^{\circ}\text{C}$  elle est utilisée dans toutes les formules où la température intervient .



**Figure n° I.3: Moyennes mensuelles des températures moyennes en °C  
(1967-1995)**

Nous constatons que les données obtenues auprès du service de la météorologie ( au niveau de la station d'El Oued ) montrent clairement , que le mois de Janvier est le mois le plus froid tandis que le mois le plus chaud correspond au mois de Juillet. Enfin les températures de la période froide

s'étalent de Novembre à Avril de 10.23 °C à 19.77°C, avec une moyenne de 15°C et pour la période chaude s'étalant de Mai jusqu'au mois d'Octobre de 21.8°C à 32.5°C avec une moyenne de 28.15°C

### 3) La Pluviométrie

D'après Dubief (1963) les origines des précipitations dans les régions sahariennes sont différentes selon les saisons; durant l'été elles sont dues aux dépressions de mousson .

En hiver leur provenance est due aux dépressions accompagnants la migration vers le Sud des fronts polaires et pendant la période intermédiaire ,ces précipitations sont dues aux dépressions Soudano-Sahariennes traversant notre Sahara du Sud vers le Nord .

#### - Etude des précipitations

Pour mieux caractériser le climat de la zone étudiée nous disposons des prélèvements pluviométriques fournies par la station météorologique d'El Oued (Tableau n°I.5).

#### \* Précipitations moyennes mensuelles

Afin de mieux visualiser cette étude , nous avons retenue comme période d'observation allant de 1967 à 1995 ( sur 29 ans ) .

Les moyennes mensuelles des hauteurs de pluies calculées sur une période de 29 ans sont rapportées sur l'histogramme ci-dessous :

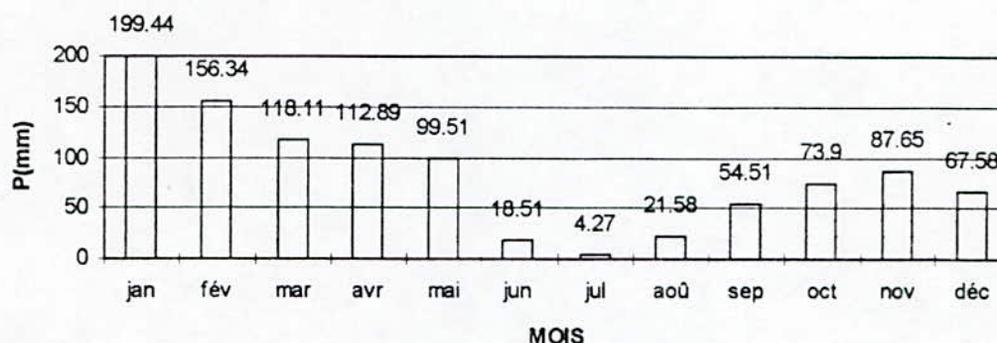
Cet histogramme nous permet de faire les analyses suivantes :

- Du mois de Septembre au mois d'Avril nous signalons une période pluvieuse avec un maximum durant le mois de Janvier avec 199.44 mm .
- Durant le reste de l'année , c'est la période sèche où on enregistre un minimum de 4.27 mm pendant le mois de Juillet .

Nous constatons donc le long de ces 29 années l'existence d'une grande irrégularité des précipitations moyennes mensuelles .

**Tableau n° I.5: Moyennes mensuelles des précipitations (1/10mm)  
(1969-1995) [O.N.M,1995]**

mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	No	Dec	TOT	MOY
Année														
1967	07	13	193	20	00	00	00	00	249	40	146	15	683	56.92
1968	136	08	21	00	60	07	00	00	20	00	17	63	332	55.91
1969	68	00	65	35	00	00	00	00	266	397	21	00	852	27.66
1970	19	124	40	00	00	00	00	00	00	04	00	28	215	71.00
1971	19	186	400	00	00	00	00	00	120	140	259	390	1685	17.91
1972	20	00	209	52	33	69	00	00	243	281	149	69	1125	140.41
1973	35	161	73	25	00	70	10	24	00	40	74	536	1012	93.75
1974	00	70	107	76	00	79	00	10	65	84	33	13	537	84.33
1975	292	155	30	358	40	10	00	00	80	00	180	41	1186	44.75
1976	161	94	305	00	272	18	00	20	40	34	209	00	1153	96.08
1977	404	70	118	15	45	00	15	20	00	60	249	30	1026	98.58
1978	68	293	00	20	96	00	00	104	00	174	10	00	765	85.5
1979	24	506	67	28	30	19	00	00	24	19	00	00	865	63.75
1980	36	10	487	115	05	07	00	00	147	02	173	78	1060	72.08
1981	00	136	46	02	45	44	00	00	23	00	00	03	299	80.33
1982	31	158	18	361	10	05	00	00	08	04	231	68	884	24.91
1983	00	49	33	03	01	20	00	00	30	06	00	19	161	73.66
1984	139	29	79	22	00	00	00	00	04	16	60	11	510	13.41
1985	89	19	17	70	10	04	00	00	00	33	07	57	406	42.50
1986	11	17	257	116	90	08	00	00	18	182	40	16	755	62.91
1987	107	42	59	54	05	10	00	00	00	57	16	42	392	32.66
1988	07	17	77	02	48	142	01	00	86	53	246	93	772	64.33
1989	89	04	00	00	00	19	00	05	00	22	44	02	185	15.41
1990	788	00	53	246	433	01	08	110	10	05	146	262	2014	167.83
1991	04	18	226	15	23	05	00	20	26	60	32	43	472	39.33
1992	123	12	184	151	11	00	28	00	00	00	93	34	636	53.00
1993	00	164	50	00	04	00	00	00	08	82	116	37	461	38.41
1994	10	12	132	51	92	00	00	08	87	94	00	00	486	40.50
1995	04	00	163	00	00	00	00	01	35	06	01	10	220	18.33
MOY	199.44	156.34	118.11	112.89	99.51	18.51	4.27	21.58	54.51	73.90	87.65	67.58		84.52



**Figure n°I.4: Moyennes mensuelles des pluies en (mm)  
(1967-1995)**

#### **\*Précipitations moyennes annuelles**

Afin de mieux visualiser l'année la plus pluvieuse durant la période d'observation, nous avons calculé les précipitations moyennes annuelles dont les résultats sont regroupés dans la figure n° I.4.

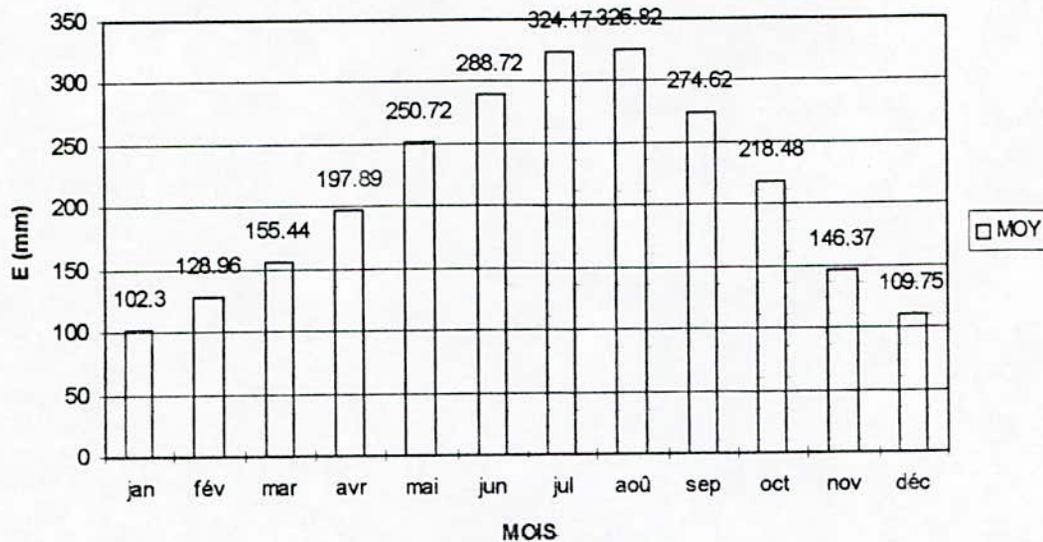
Compte tenu de l'aridité de la région et d'après les résultats obtenus sur la figure n°I.4, nous constatons l'existence d'un maximum pluviométrique durant l'année 1990 (année la plus pluvieuse avec 167.83 mm) et d'un minimum pluviométrique en 1983 (avec 13.41 mm de précipitation). Il faut mentionner l'existence d'une irrégularité des variations interannuelles.

#### **4) L'Evaporation**

L'évaporation est un phénomène physique qui consiste à transformer l'eau d'un état liquide à un état gazeux (de vapeur d'eau), ce phénomène intervient dans tout les cycles de l'eau.

**Tableau n° I.6 : Evaporation moyenne en (1/10 mm) [O.N.M,1995]  
(1967-1995)**

mois Année	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	MOY
1967	88	127	143	199	254	269	274	317	272	220	151	85	199.16
1968	91	135	154	109	255	586	282	319	280	211	158	113	207.75
1969	110	127	174	192	260	287	298	316	265	204	161	94	207.39
1970	121	122	159	191	235	301	316	337	281	205	143	109	210.00
1971	98	113	143	215	245	307	325	326	274	203	132	101	201.83
1972	98	144	161	187	223	306	327	316	274	200	154	96	206.00
1973	97	108	178	166	277	306	650	313	286	230	141	101	209.41
1974	107	116	156	182	165	302	311	309	278	189	125	91	202.58
1975	94	117	147	185	244	286	324	313	289	201	133	110	203.58
1976	90	120	135	190	236	280	321	312	270	211	124	117	200.58
1977	114	156	175	200	245	292	345	321	269	216	161	119	217.75
1978	94	148	159	198	239	187	315	309	269	186	136	129	206.58
1979	137	138	166	183	240	203	322	329	262	231	132	106	204.08
1980	100	125	156	182	230	278	312	324	283	200	162	87	204.91
1981	05	116	189	214	255	304	319	308	285	227	141	132	204.58
1982	116	125	156	193	245	318	359	335	282	223	156	99	216.41
1983	84	117	162	219	256	296	330	333	279	221	176	111	215.41
1984	105	120	164	208	244	292	317	329	281	203	160	109	210.16
1985	97	156	148	218	246	316	338	328	278	216	176	115	219.33
1986	107	135	156	299	260	299	325	338	286	231	151	108	216.75
1987	97	135	158	216	246	309	339	341	302	238	154	131	222.16
1988	122	131	165	217	287	299	344	335	291	241	166	99	223.58
1989	96	127	175	203	249	290	327	345	300	225	176	140	221.08
1990	118	149	167	201	243	315	324	311	318	248	168	104	222.16
1991	98	121	177	189	220	393	336	328	294	227	147	101	210.91
1992	90	122	150	190	245	289	314	334	297	236	164	116	213.58
1993	92	119	153	211	266	322	338	337	290	241	165	113	220.58
1994	121	130	175	189	286	316	340	347	296	228	171	112	225.91
1995	99	151	163	193	269	308	339	339	276	224	161	135	221.41
Moy	102.31	128.96	155.44	197.89	250.72	288.82	324.17	325.82	274.62	218.48	146.37	109.75	21.05



**Figure n° I.5: Moyennes mensuelles d'évaporation en 1/10 (mm)  
(1967-1995)**

Nous remarquons bien sur cette figure que l'évaporation prend la valeur la plus faible en hiver de 10.23 mm en mois de Janvier et va augmenter graduellement jusqu'au valeur maximale en été de 32.58 mm en mois de Août puis elle diminue pour atteindre la 10.97 mm en mois de Décembre . On peut dire qu'il y a deux saisons d'évaporation : une saison à faible évaporation de mois de Novembre allant jusqu'au mois de Mars et une saison à forte évaporation de mois d'Avril jusqu'au mois d'Octobre .

En général il existe deux d'évapotranspiration :

\* L'évapotranspiration réelle ( ETR), qui correspond à la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée par la plante et le sol .

#### 4.1) Méthodes de calcul de l'Evapotranspiration réelle

On se base généralement sur les formules empiriques pour calculer l'évapotranspiration réelle :

##### a) Méthode de TURC

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

$$ETR = P^2 / (0.9 + P^2)^{1/2} / L$$

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

P : précipitation moyenne annuelle en (mm) .

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

$$L=300 + 250 T + 0.05 T^3$$

T: c'est la température moyenne annuelle en °C .

L'application numérique de l'évapotranspiration en utilisant la formule de TURC pour la station d'El Oued à comme valeur 89,08 mm/an pour une température moyenne annuelle de 21.67°C et une hauteur annuelle de précipitation de 86.17 mm (voir tableau ci-dessous)

**Tableau n° I.7 : Résultats de l'application numérique de la formule deTURC (1967-1995) sur 29 ans**

Paramètres	P(mm)	T(°c)	L	ETR(mm/an)
Station d'El Oued	84.52	21.05	6028.86	89.08

### b) Formule de COUTAGNE

Elle a comme expression :  $ETR= P- \lambda P^2$

Tel que :

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 .T}$$

#### Remarque:

Il est à noter que cette formule n'est applicable que pour les valeurs de précipitation P(mm) qui sont comprises entre :

$$1/(2. \lambda) \quad \text{et} \quad 1/(8. \lambda)$$

Dans ce cas nous avons procédé au calcul de LAMDA , nous avons trouvé résultats suivants :

$$\lambda = 0.26 \quad T_{\text{moy}} = 21.67 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$1/(2. \lambda) = 1.92$$

$$1/(8. \lambda) = 0.48$$

$$P = 84.52 \text{ mm}$$

Nous constatons que, P n'est pas compris dans l'intervalle ce qui nous permet de dire que la formule de COUTAGNE n'est pas applicable sur notre secteur d'étude .

#### 4.2) L'Evapotranspiration potentielle

Nous allons utiliser deux méthodes seulement pour le calcul de ce paramètres .

\* La méthode de SERRA.

\* La méthode de THORNTWAITE.

##### a) Méthode de SERRA

La formule de SERRA a pour formule l'expression suivante :

$$ETP = 16(10 \cdot T/I)^\alpha \cdot K$$

Tel que :

ETP : Evapotranspiration mensuelle en (mm) .

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

I : Indice thermique annuelle où  $I = \text{SOM}(i)$  .

i : Indice thermique mensuelle;  $i = 0.09 \cdot T^{3/2}$

$$\alpha = (1.6/100) \cdot I + 0.5 = 2.27$$

Tableau n° I.8 : (calcul de l'ETP de SERRA )

mois param	S	O	N	D	J	F
Ti	28.33	21.8 3	14.6 7	10.2 4	12.8 2	16.1
I	13.49	9.12	5.03	3.20	2.93	4.11
K	1.03	0.97	0.88	0.86	0.88	0.86
ETP(mm)	139.96	72.9 5	26.8 4	13.2 3	11.8 7	19.3 2

M	A	M	J	J	A	Total
16.1	19.84	25.01	29.85	32.36	32.54	
5.78	7.90	11.19	14.59	14.46	16.60	110.40
1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	
38.81	65.98	12.86	183.6	224.21	214.0	1132.6

### 5) Formule de THORNTWAITE:

Cette formule est ancienne (1944) , elle est basée sur de nombreuses expériences effectuées sur des cases symétriques , elle est employée en hydrologie généralement ,car son calcul ne nécessite que la connaissance de la température moyenne journalière de l'air .

Afin de pouvoir déterminer les différents paramètres du bilan hydrique à l'échelle mensuelle .THORNTWAITE a proposé la méthode suivante :

\* Le calcul de l'ETP mensuelle par la formule de THORNTWAITE .

\*L'évaluation de l'ETR ,RFU (réserve facile utilisable ) et DA (déficit agricole ) et de l'eau surplus.

La formule de THORNTWAITE est donnée par l'expression suivante :

$$ETP = 16(10 \cdot T/I)^\alpha \cdot K$$

$$I = \sum i \text{ et } i = (T/5)^{1,514}$$

$$\alpha = 0.49239 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3$$

ETP : Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en (mm) .

T : Température moyenne mensuelle en (°C) .

K : Coefficient de correction .

$\alpha$  : Coefficient expérimental .

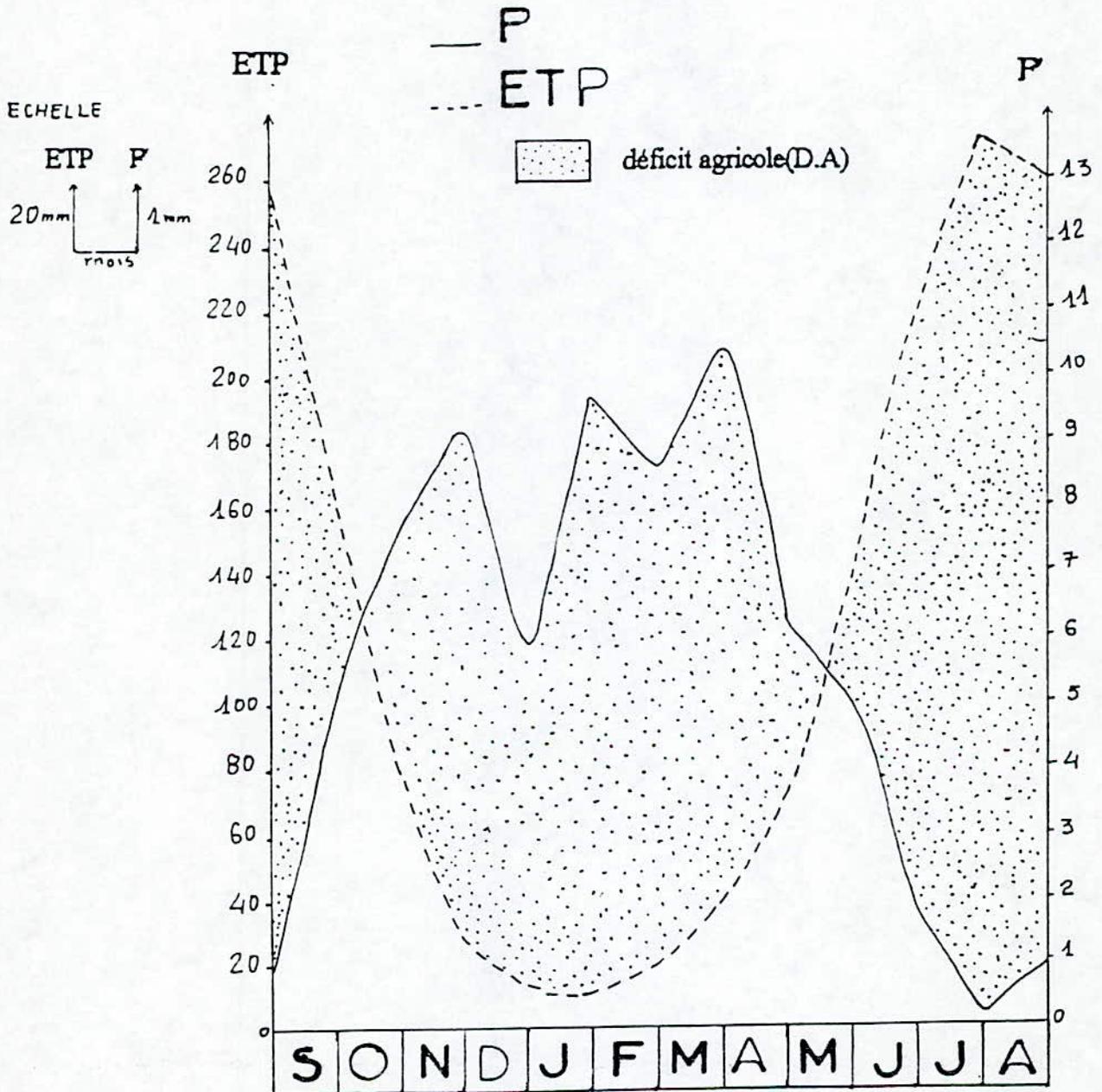
i : Indice thermique mensuel .

I : Indice thermique annuel = 112.85 .

**Tableau n° I.9 : Bilan moyen annuel de THORNTWAITE  
(1967-1995)**

Para (mm) Mois	P	T (°C)	K	ETP (mm)	Exedent (mm)	D.A (mm)
S	5.10	28.33	1.03	164.56	0	159.46
O	7.76	21.83	0.97	80.77	0	73.01
N	9.14	14.67	0.88	27.13	0	17.99
D	5.91	10.85	0.86	12.47	0	6.56
J	9.68	10.24	0.88	11.04	0	1.36
F	8.67	12.82	0.86	18.93	0	10.26
M	10.40	16.10	1.03	40.07	0	29.67
A	6.14	19.84	1.09	71.47	0	65.33
M	5.01	25.01	1.19	139.22	0	134.21
J	1.85	29.85	1.20	218.48	0	216.63
J	0.19	32.36	1.22	271.80	0	271.61
A	0.96	32.54	1.15	259.78	0	258.82
Total	70.81	/	/	1315.72	0	1244.91

Fig. 18 : BILAN DE THORNTWAITE



**Tableau n °I.10 : Les résultats des applications numériques des formules empiriques pour le calcul de (ETP) et (ETR)**

Paramètres	Méthodes	Applications
ETR moyenne	TURC	89.08
annuelle (mm)	COUTAGNE	Non applicable
ETP moyenne	SERRA	69.53
annuelle (mm)	THORNTWAITE	67.97

Notre région comporte une nappe phréatique qui peut prendre trois positions à la surface du sol :

- Si la zone de saturation atteint la surface du sol , le taux d'évaporation prend sa valeur maximale , donc selon le tableau n° I.6 nous proposons l'application de méthode de TURC pour calculer l'ETR dans un cas pareil .
- Si pour une raison quelconque la nappe phréatique s'abaisse de telle sorte que la zone d'aération s'étend à une fraction de la couche superficielle du sol ,le taux d'évaporation ne peut atteindre sa valeur maximale car l'air qui remplit les pores gêne le mouvement ascendant de l'eau ,c'est pour cela que nous proposons dans des cas comme celui-ci d'utiliser la méthode de SERRA pour le calcul de l'ETP.
- Si la nappe phréatique s'abaisse encore et si la couche superficielle du sol se trouve ainsi tout à fait dans la zone d'aération (cas fréquent dans les zones arides et semi-arides ) ,le taux d'évaporation devient extrêmement faible c'est pour cela que nous proposons dans ce cas d'utiliser la formule de THORNTWAITE dans le calcul de l'ETP .

#### **6) Régime climatique (Indice de DEMARTONNE)**

C'est un indice d'aridité " A " défini en 1923 par :  
E.DEMARTONNE , qui tient compte des précipitations et des températures ,  
sa formule est la suivante :

$$A = P / (T + 10)$$

P : précipitations moyenne mensuelle en (mm) , (P=84.52 mm)

T : température moyenne en °C (10+21.05 °C) .

Après calcul, nous avons trouvé A=2.71 et il représente sur l'abaque d'indice de DERMATONNE un point d'intersection compris entre 0 et 5 caractérisant un milieu désertique aréique (figure. n°I.9)

### 7) L'humidité

L'humidité atmosphérique est l'un des éléments essentiels du cycle hydrologique source de toutes les précipitations , elle contrôle en outre pour une large part , les taux d'évaporation du sol et de la couverture végétale .

#### • L'humidité relative :

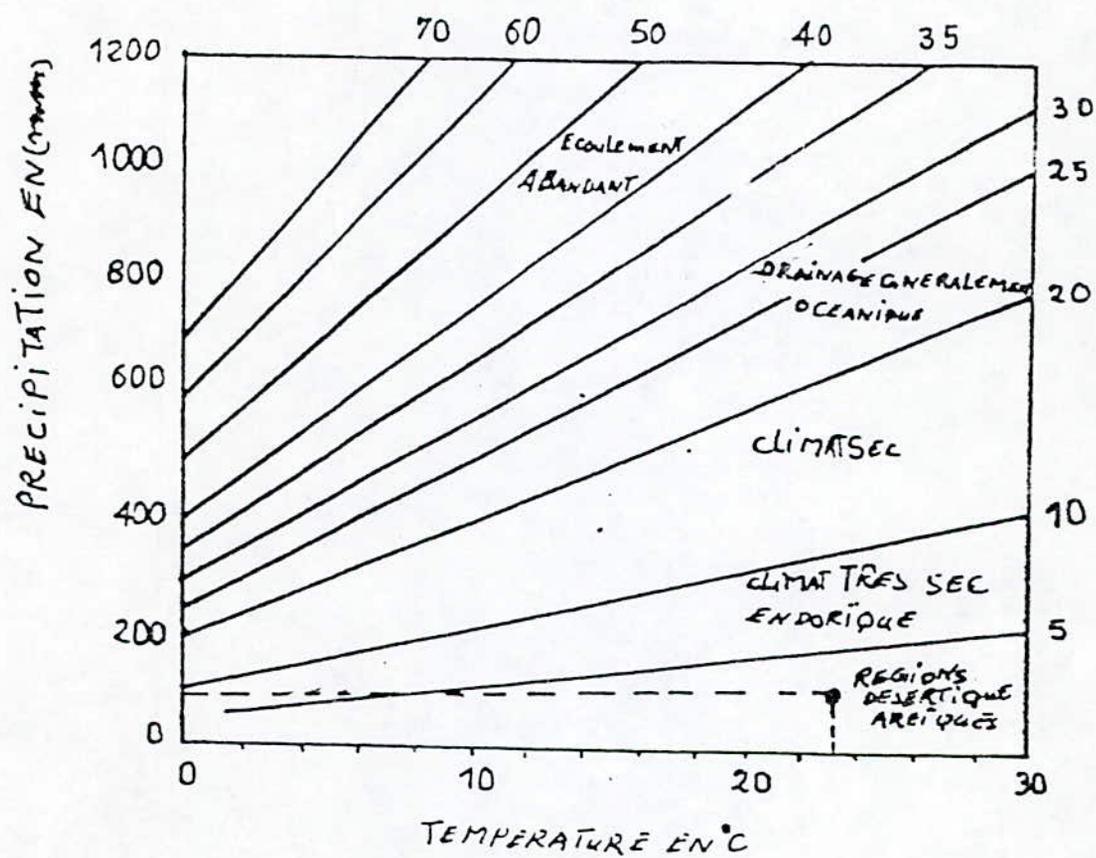
L'humidité relative est le rapport de la tension de vapeur réelle (Observée )  
(e) à la tension de vapeur saturante (es) à la même température :

On l'exprime généralement par la formule suivante :

$$H = 100 \cdot e / e_s$$

Les valeurs de l'humidité relative à la région d'El Oued sont homogènes ( tableau n°I.11 )

ABAQUE D'INDICE D'ARRIDITE DE DEMARTONNE



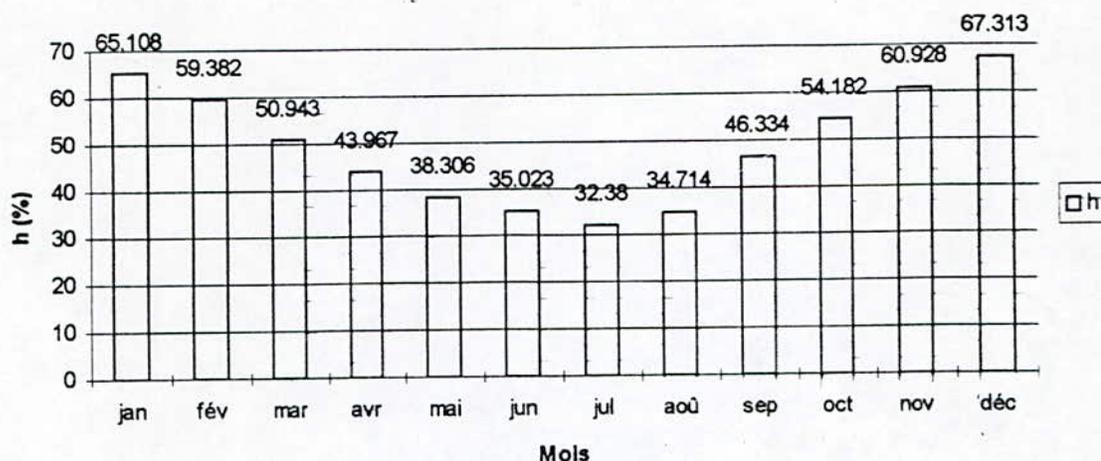
• Station de LOUED

Fig<sup>n</sup>: I.9

Tableau n° I.11 : Moyennes mensuelles de l'humidité (en%)

(1967-1995) [O.N.M,1995]

mois année	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy
1967	643	682	524	409	406	401	305	289	555	577	603	668	504
1968	610	556	588	478	366	389	301	288	423	520	566	642	477
1969	706	501	494	433	385	397	373	406	568	737	731	643	548
1970	650	550	510	447	384	419	313	332	398	468	479	636	465
1971	629	545	452	376	377	302	329	381	458	549	532	777	467
1972	672	429	559	462	407	342	309	355	482	468	644	746	498
1973	701	643	524	408	311	359	245	356	339	386	587	765	469
1974	698	546	547	482	344	366	307	331	435	545	667	693	497
1975	729	743	439	547	403	328	287	340	495	524	685	712	519
1976	733	625	607	446	483	392	379	394	654	501	659	639	543
1977	724	489	378	369	379	342	331	324	457	460	566	633	454
1978	617	588	453	379	397	334	299	391	421	641	661	574	480
1979	611	629	516	433	370	347	347	338	504	514	617	606	486
1980	575	583	516	529	448	348	359	345	488	510	661	641	499
1981	570	623	474	442	348	376	336	360	469	497	624	541	472
1982	581	614	462	521	444	325	261	327	504	552	703	695	479
1984	640	511	487	422	362	353	353	391	433	642	603	674	489
1985	652	518	527	405	434	332	295	323	429	548	536	644	470
1986	568	443	526	425	377	353	332	319	70	384	435	722	463
1987	593	510	504	385	352	349	324	348	385	613	546	685	460
1988	590	540	430	430	350	420	320	370	460	510	660	770	487
1989	730	600	550	420	420	370	340	330	430	580	550	640	479
1990	720	590	520	520	560	380	370	460	380	460	640	690	524
1991	690	580	500	490	450	370	320	360	470	560	570	700	505
1992	750	610	610	440	410	350	358	330	400	410	652	640	496
1993	620	630	530	370	350	330	310	310	430	490	710	720	483
1994	623	636	566	430	296	296	306	290	476	603	640	656	485
1995	660	523	490	374	373	360	376	383	563	583	566	773	509
Moy	651	593	509	439	393	359	323	347	463	541	609	673	



**Figure n°I.10 Moyennes mensuelles de l'humidité 1/10 (%)**

1967-1995 [O.N.M, 1995]

La figure n°I.8 montre que depuis le mois de Septembre l'atmosphère commence à se charger de vapeur jusqu'au mois d'Avril de l'année qui suite

L'humidité de l'air atteint la valeur maximale de 65% en Automne, en hiver (Hmax=67.31%). Pendant l'été, l'air est peu chargé, le taux d'humidité le plus faible est remarqué au mois de Juillet avec une valeur égale à 32.39%.

Nous remarquons que les périodes où l'atmosphère est chargée coïncident avec les périodes les plus pluvieuses de l'année et celles où l'atmosphère est moins chargée coïncident avec les périodes les plus sèches de l'année, ce qui nous laisse dire que l'humidité de l'air est à l'origine de toutes les pluies dans notre zone étude.

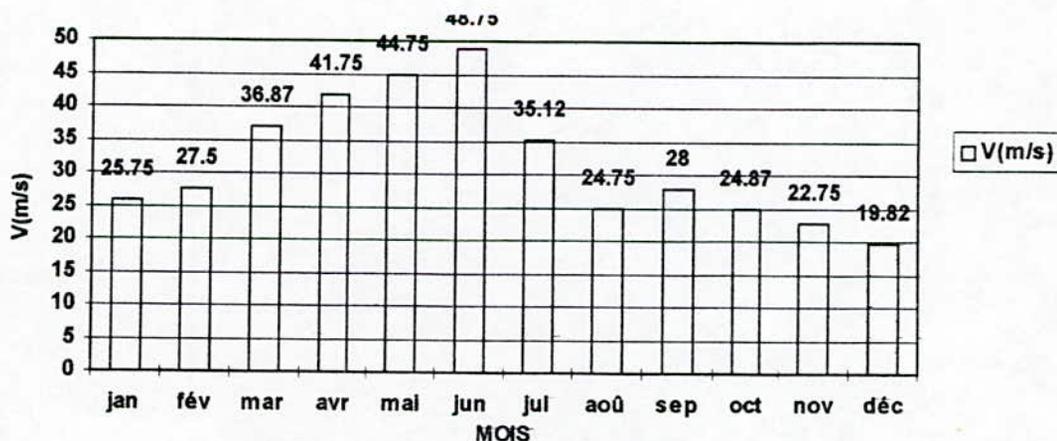
## 8) Les vents

La vitesse des vents enregistrée pour la période de (1988-1995) est reportée sur le tableau n°II.12 . On remarque qu'au printemps les vents sont les plus forts dominé par le vent d'Est communément appelé " EL BAHRI " .

Ce dernier souffle principalement pendant la période qui s'étale d'Avril à Juillet .En été il apporte de la fraîcheur , mais il est peu apprécié au printemps car il donne naissance au vents de sable et retarde la floraison des cultures locales tel que la tabac et le palmier .Ces vents de sable donne au ciel une couleur jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse moyenne de 30 à 40 m/s .

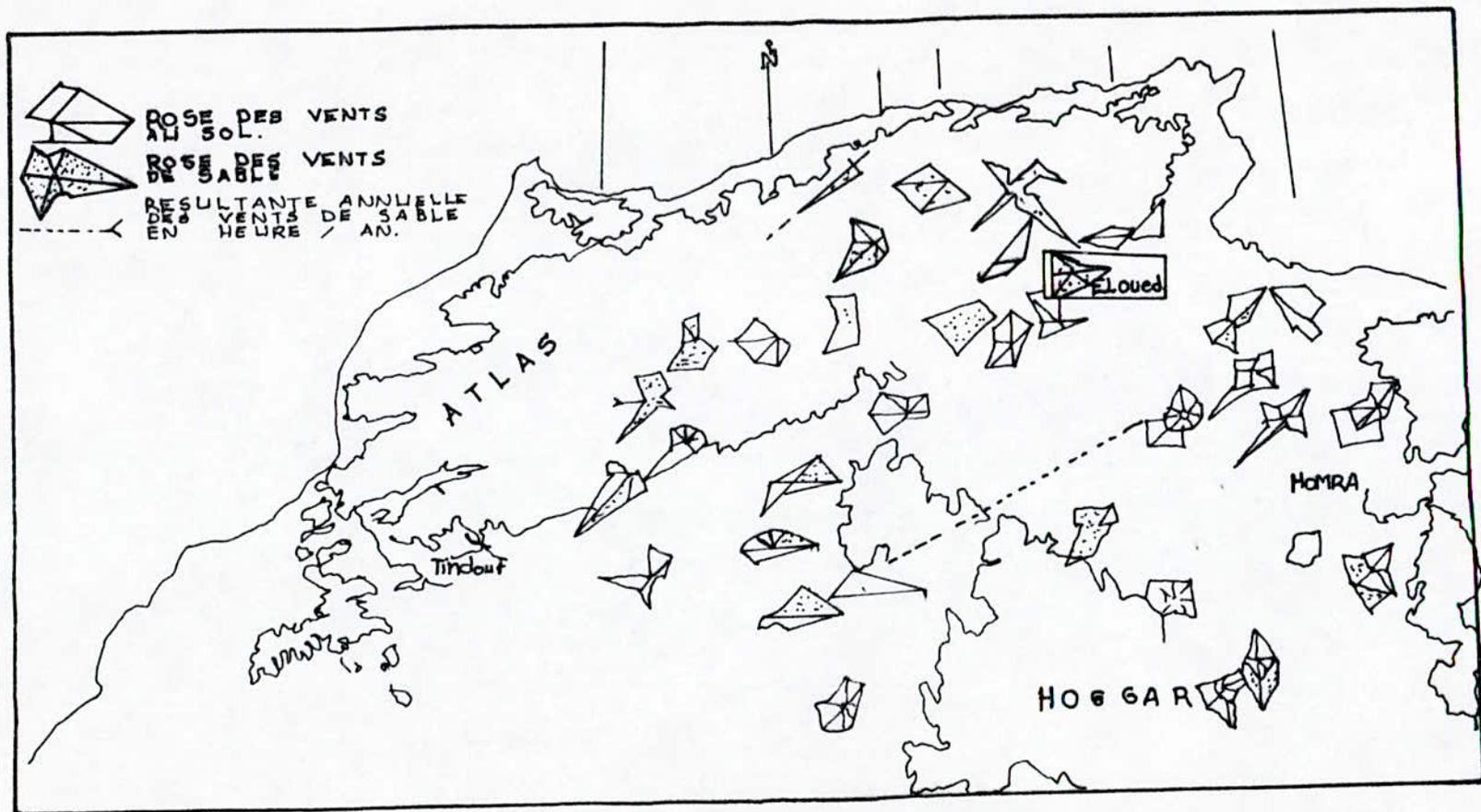
**Tableau n°I.12 :Moyennes mensuelles des vitesses des vents (m/s)**  
(1988-1995 ) [O.N.M,1995]

mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	MOY
Année													
1988	35	29	42	39	54	65	37	22	17	25	18	26	34.08
1989	28	27	33	35	55	44	37	22	17	25	18	26	36
1990	40	22	37	54	39	44	41	38	35	26	33	32	37
1991	21	34	46	43	52	48	29	29	24	33	24	12	33
1992	17	20	39	39	43	42	40	24	19	27	26	22	30
1993	10	35	26	37	47	49	44	22	34	24	23	13	30
1994	25	25	27	25	30	37	15	13	24	24	10	10	22.08
1995	30	28	45	42	38	45	38	28	28	14	25	22	30.91
MOY	25.75	27.5	36.87	41.75	44.75	46.75	35.12	24.75	28.00	24.87	22.75	19.62	



**Figure n° I-12: Moyennes mensuelles des vitesses des vents (m/s)**

(1988-1995)[O.N.M,1995]



Fig<sup>r</sup> I-10 Carte des vents au Sahara  
 d'après FANTOLT. in DUBTEF. 1959 ).

**CONCLUSION :**

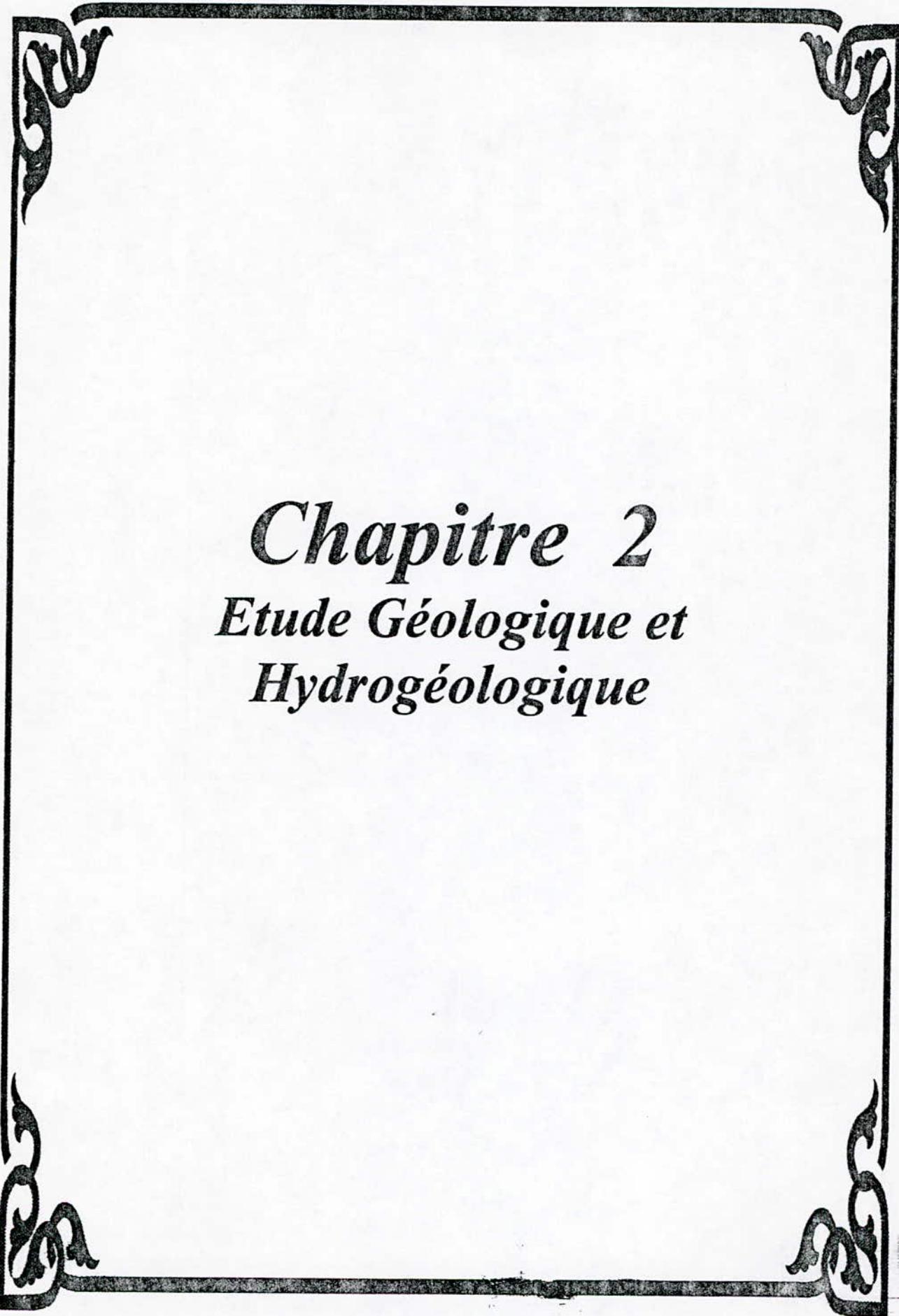
l'étude hydroclimatique représente la base de données indispensables pour un bilan hydrique , qui est à son tour indispensable pour la gestion des ressources hydriques souterraines .

Notre région d'étude est caractérisé principalement par une irrégularité des précipitation , ainsi qu'une humidité remarquable qui caractérise l'Automne et l'hiver .

Les vents sont généralement doux , mais au printemps ils deviennent violent et donnent naissance aux vents de sables .

Le vent est le paramètre le plus régulier dans la zone d'étude . Généralement le taux d'évaporation est haut , elle reprend pratiquement toute l'eau précipitée .

Les infiltrations sont estimées à 40 % des valeurs des précipitations [D.H.W d'El Oued,1995] .



*Chapitre 2*  
*Etude Géologique et*  
*Hydrogéologique*

## **II.1 ETUDE GEOLOGIQUE DE LA REGION DU SOUF**

### **II.1.1 Introduction**

Nous nous proposons dans le cadre de notre étude de définir le comportement de la nappe phréatique, pour cela nous étudierons plus précisément les formations allant du crétacé inférieur et jusqu'au quaternaire en passant par le Miopliocène (fig n°II.1).

Sur l'ensemble de la région d'El Oued, seules les formations Miopliocènes sont visibles. Dans la plupart des endroits ces dernières sont recouvertes par une considérable épaisseur de dépôts Quaternaires présentés sous forme de dunes donnant la naissance à un immense Erg qui lui même fait partie de l'extension du grand Erg oriental.

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

### **II.1.2 Cadre géologique général**

#### **1.2.1 Le secondaire**

##### **Crétacé Inférieur**

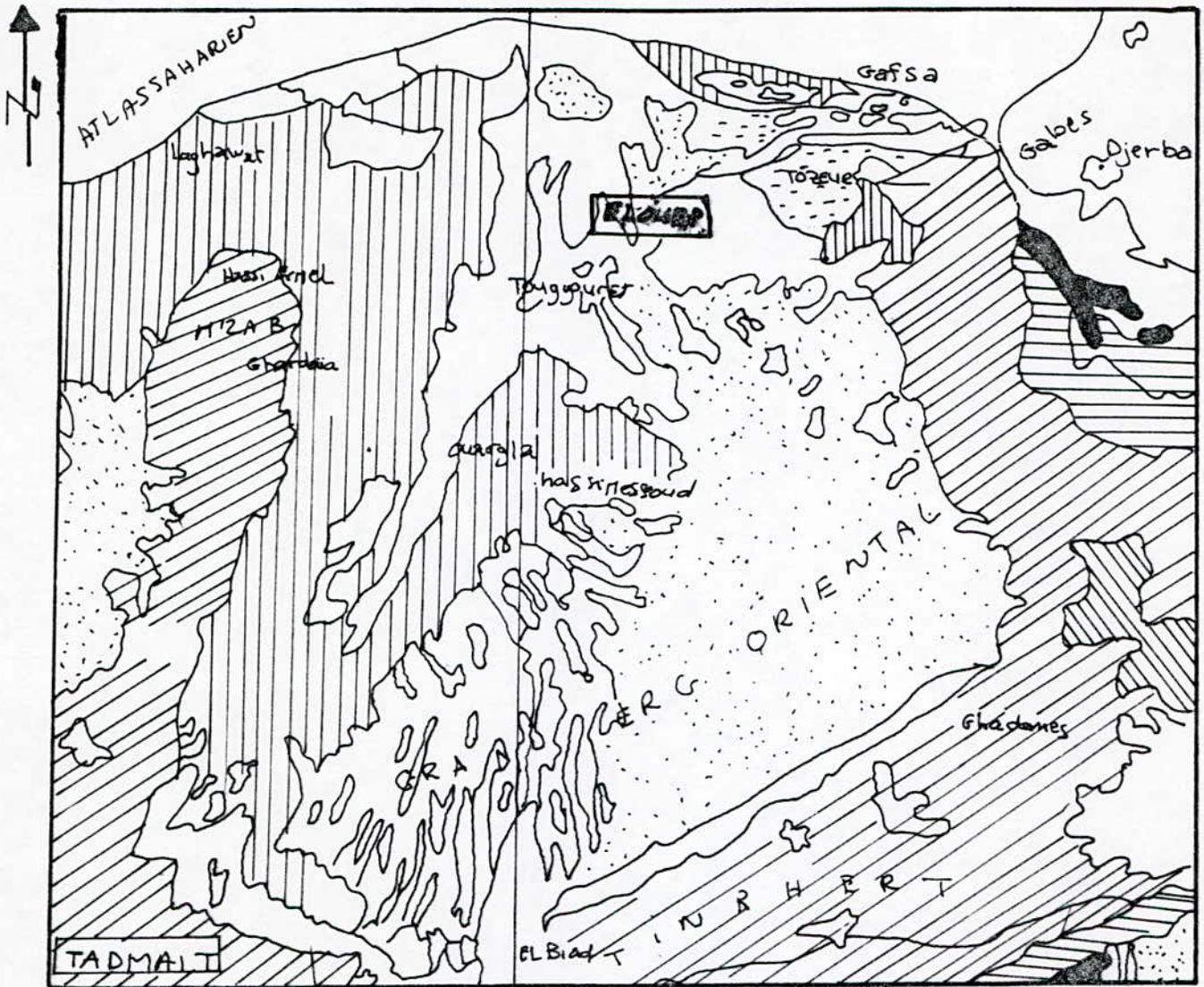
##### **\* Le Barremien**

Cet étage est capté par tous les forages car continental Intercalaire réalisés dans cette région; il présente une lithologie, d'alternance de grès avec passages d'argiles et parfois des intercalations de calcaire, dolomitique, on rencontre également des sables avec présence de silex. L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 à 230 m (coupe de sondage du figure n°II.2).

##### **\*L'Aptien**

De même que le Barremien, ce dernier est constitué principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marno-calcaires.

Fig CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL



L'EGENDE

- |   |  |
|---|--|
|  QUATERNAIRE |  EOCENE     |
|  SEBKHA      |  CRETACE    |
|  OYNES       |  JURASSIQUE |
|  MIOPLOCENE  |  TRIAS      |

FAILLE

REGION D'ETUDE

Fig<sup>n</sup> II.1:

Extrait de la carte geologique du nord ouest de la frique x

ECHELLE : 1/5000000

D'après les coupes géologiques des forages réalisés dans la région, l'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse guère 30 mètres ( coupe de sondage du figure n°II.2) .

#### **\* L'Albien**

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

La limite inférieure est constituée par le toit de la barre Aptienne, alors que sa limite supérieure par l'apparition, des faciès argilo-carbonatés .

D'après les coupes de sondages des forages Albiens, l'épaisseur de cet étage varie de 100 à 150 m ; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 m (voir coupe de sondage du forage figure n°II. 3).

#### **\* Le Vraconien**

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

Le plus important dans cet étage, c'est qu'en raison de l'importance de ses niveaux argileux, il constitue une importante couverture de l'Albien .

L'épaisseur de cet étage, dans toute la zone d'étude varié entre 250 et 300 mètres( figure n°II.4) .

#### **\* Le Cenomanien**

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

Quant aux limites de cet étage, on peut dire que la limite inférieure est caractérisée par l'apparition d'évaporantes et de dolomies qui la distingue

nettement ,la limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporantes et de calcaires correspondants à la limite inférieure du Turonien .

#### **\* Le Turonien**

Cet étage représente la base du complexe terminale . Il est généralement carbonaté et constitué par des calcaires dolomitiques et des dolomies micro-cristalines compactes avec des intercalations de calcaires Turniens et parfois de marnes .

Les forages de la région montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre ;elle dépasse parfois 650 mètres(figure n°II:1.2.3) .

#### **\* Le Sénonien**

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

L'un correspond au Sénonien lagunaire situé à la base ,l'autre au Sénonien carbonaté ( la partie supérieure ) .

#### **\* Sénonien Lagunaire**

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

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

#### **\* Le Sénonien carbonaté**

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

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

### **1.2.2 le Tertiaire**

#### **\* L'Eocène**

Cet étage est formé par sables et des argiles , parfois on rencontre des gypses et ces graviers . dans cette région , l'étage de l'Eocène est carbonaté à la partie inférieure , sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaires .

L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres .

#### **\* Le Miopliocène**

Ce dernier repose en discordance indifféremment sur le primaire d'une part et sur le crétacé inférieur , le Turonien , le Cénomaniens et l'Eocène d'autre part , il appartient à l'ensemble appelé communément complexe terminale (C.T) .

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

sur toute l'étendue du Sahara oriental , BEL et DEMARGNE séparent cet horizon en 4 niveaux :

#### **-Niveau Argileux**

du Il présente une faible épaisseur ; son existence n'affecte que la partie centrale Sahara oriental .

#### **-Niveau Gresso-Sableux**

Comparé aux trois autres , c'est le plus puissant et son épaisseur reste presque régulière sur toute l'étendue du Sahara . c'est on fait à ce niveau le principal horizon aquifère appelé aussi complexe terminal .

### **-Niveau Argilo-Sableux**

Il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique ; ses limites demeurent toujours confondues .

### **- Niveau Sableux**

Ce niveau constitue le deuxième horizon aquifère du complexe terminal . Donc du point de vue hydrogéologique , les niveaux sableux ( 2 et 4 ) présentent un grand intérêt , ils correspondent pour ainsi dire à la nappe des sables du complexe terminal .

## **II.1.3 Interprétation des coupes**

Ces coupes ont pour but , d'établir une corrélation lithologique du sous sol , ainsi que d'identifier l'extension géographique et l'épaisseur utile de la nappe phréatique de la région .

### **a) Coupe n°1**

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

On remarque que l'épaisseur du Miopliocène qui est constitué par des argiles , de sable et de calcaire diminue du Nord vers le Sud . Au niveau H<sub>11</sub><sup>104</sup> on remarque l'absence des formations quaternaire représentée par des sables ; cette lacune ne peut être expliquée que par l'effet d'une érosion , ces formations tendent à s'épaissir vers le Sud .

### **b) Coupe n°2**

cette coupe est effectuée sur une distance de 170 km, allant de Djamaa à l'Ouest vers Bouaroua à l'Est, en passant par Magrane . Nous constatons que les couches d'argile sableuses qui correspondent au substratum de la nappe phréatique sont caractérisées par une épaisseur considérable, cette importance est très remarquable dans la région de de Magrane que dans les autres .

C'est ce qui nous donne une formation de cuvette remplie de sédiments sableux d'âge Quaternaire correspondant à ceux de la nappe phréatique . Nous constatons aussi que cette formation sableuse diminue progressivement à l'Est et à l'Ouest de Magrane .

### **c) Coupe n°3**

Cette coupe est orientée du Nord -Est vers le Sud-Est , en allant de la région de Merzaka vers Ourmès .Nous remarquons au niveau du forage H<sub>12</sub><sup>52</sup> , l'absence de formation Quaternaire(cette absence ne peut être expliquée que par l'érosion)

Les formations Miopliocènes sont caractérisées par une épaisseur considérable de (plus de 200 m ) , cette dernière devient régulière surtout le reste de la région , par contre celle des formations Quaternaires constituées par des sables qui changent d'une région à une autre .

### **d) Coupe n°4**

La coupe n°4 est orientée du Nord-Ouest vers le Sud-Est ,elle est différente des autres surtout du point de vue stratification ; cette dernière entre croisée, ce qui donne naissance à des "biseautages" .Cette situation est bien visible dans les quatre premiers forages .On constate que l'épaisseur des formations quaternaires, est plus importante au Nord-Ouest qu'au Sud-Est .

## **II.1.4 Tectonique**

La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate-forme crétacé forme un vaste synclinale dont le fond est doté d'un très grand rayon de courbure .

Les courbures sédimentaires semblent s'épaissir du Nord d'El Oued vers le centre de cette dépression , ce qui montre que l'approfondissement suit de près la sédimentation, donc si nous désirons retracer l'événement paléogéographique du Souf .

Il faut noter qu'au cours de la jeunesse de l'immense dépression au début du quaternaire et sous l'effet de la sédimentation , le centre de celle-ci se déplace en

fonction du temps vers le Nord tout en donnant naissance à des nouvelles dépressions correspondant actuellement à la zone des chotts, où leur naissance ne s'est effectuée qu'à la fin du quaternaire.

### **II.1.5 Géophysique**

Dans une étude hydrogéologique il est important de déterminer l'allure du toit du substratum servant de support aux terrains perméables. L'étude géophysique se propose de déterminer la profondeur du substratum argileux de la nappe phréatique.

#### **II.1.5.1 Principe de la méthode de sondage par prospection électrique**

La résistivité des sols varie en fonction de leurs teneurs en eau, la minéralisation de l'eau et de la quantité d'argile.

La plage de variation est très grande : quelques O.H.M pour les sables sales, quelques dizaines de O.H.M pour les argiles, des milliers de O.H.M pour des calcaires, grès et granites pour mesurer la résistivité des terrains, on injecte un courant d'intensité (I) entre deux électrodes A et B, on mesure la différence de potentialité V créée entre les deux électrodes M et N (figure n°II.11). Connaissant l'intensité du courant émis et la valeur  $\Delta V$  on déduit aisément la résistivité de la formation traversée par ce courant.

La résistivité apparente est donnée par la relation suivante :

$$R_0 = \Delta V / (I + K)$$

K : Coefficient géométrique dépendant de la disposition du quadripôle A, M, N, B

$R_0$  : Résistivité apparente en (ohm/m)

$\Delta V$  : différence de potentiel en millivolts

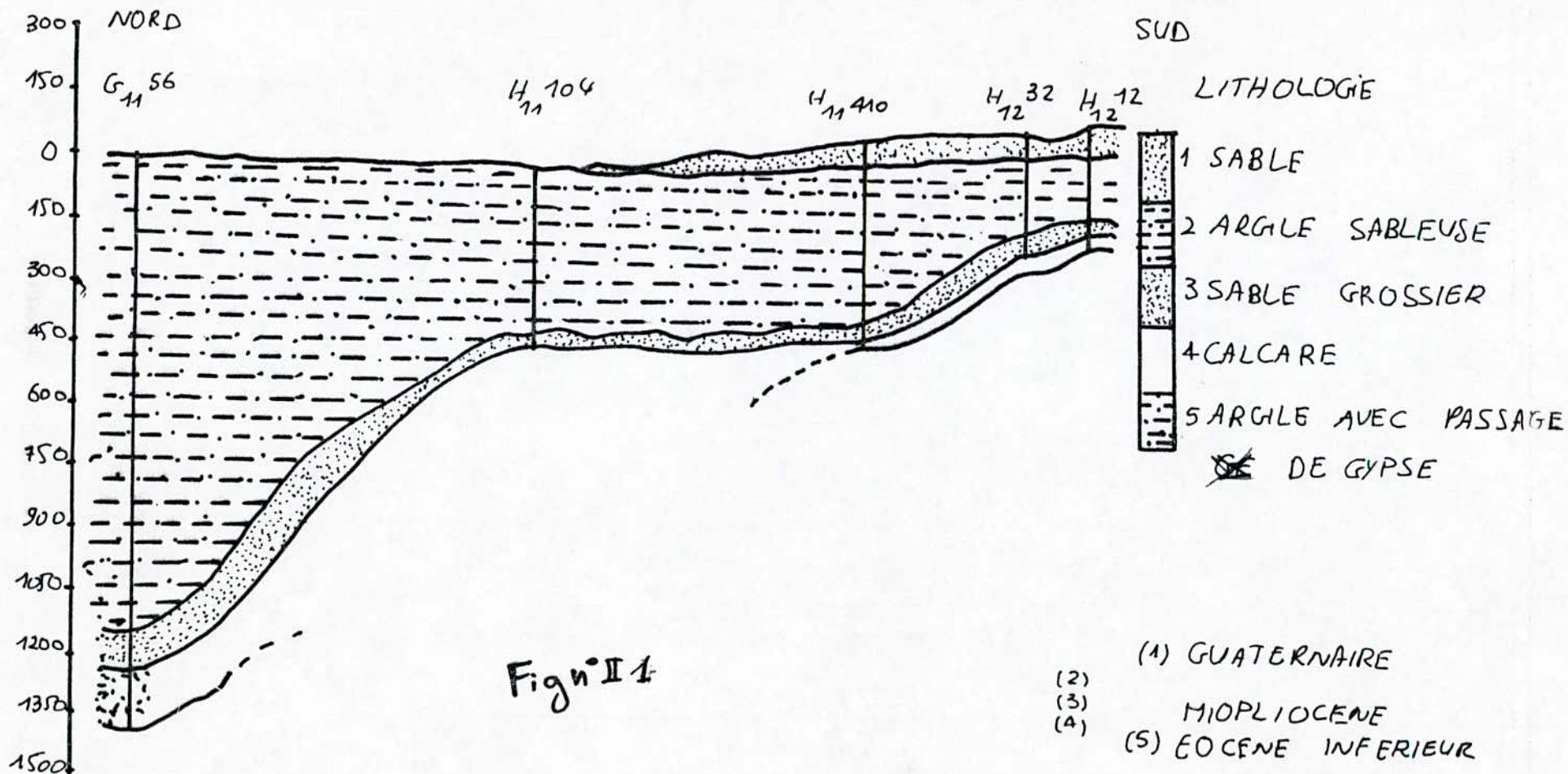
I : L'intensité du courant émis en milliampère.

#### **II.1.5.2 But de l'étude**

A la demande de la DHW d'El Oued, l'entreprise nationale de la géophysique (ENAGEO), a entrepris une étude géophysique. Cette dernière

# COUPE CORRELATIVE N°1

EXTRAITE A PARTIR DES LOGS LITHOLOGIQUES DE FORAGE



# COUPE CORRELATIVE N°2.

EXTRAITE A PARTIR DES LOGS LITHOLOGIQUES DE FORAGE.

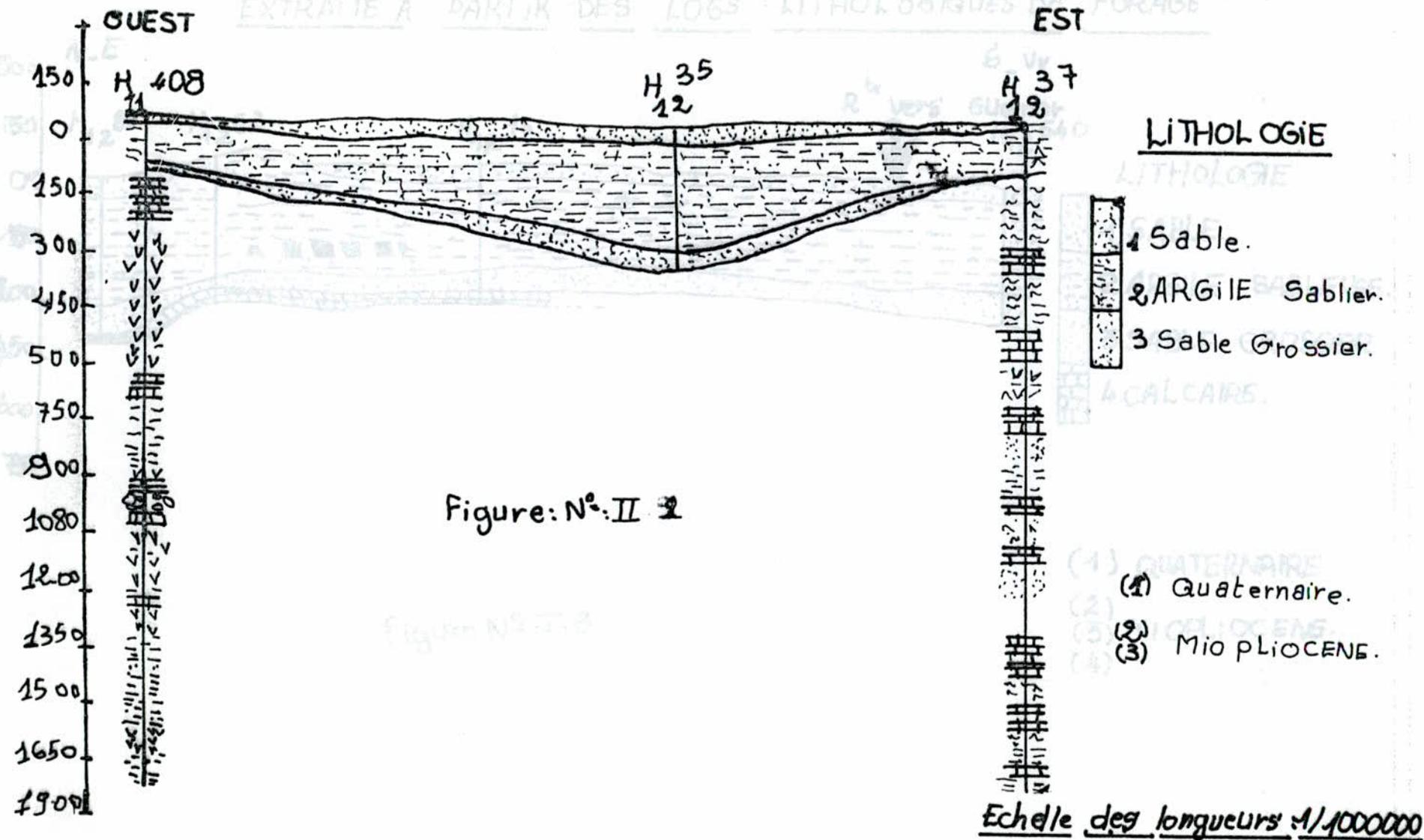


Figure: N° II 2

# COUPE CORRELATIVE N°3

EXTRAITE A PARTIR DES LOGS LITHOLOGIQUES DE FORAGE

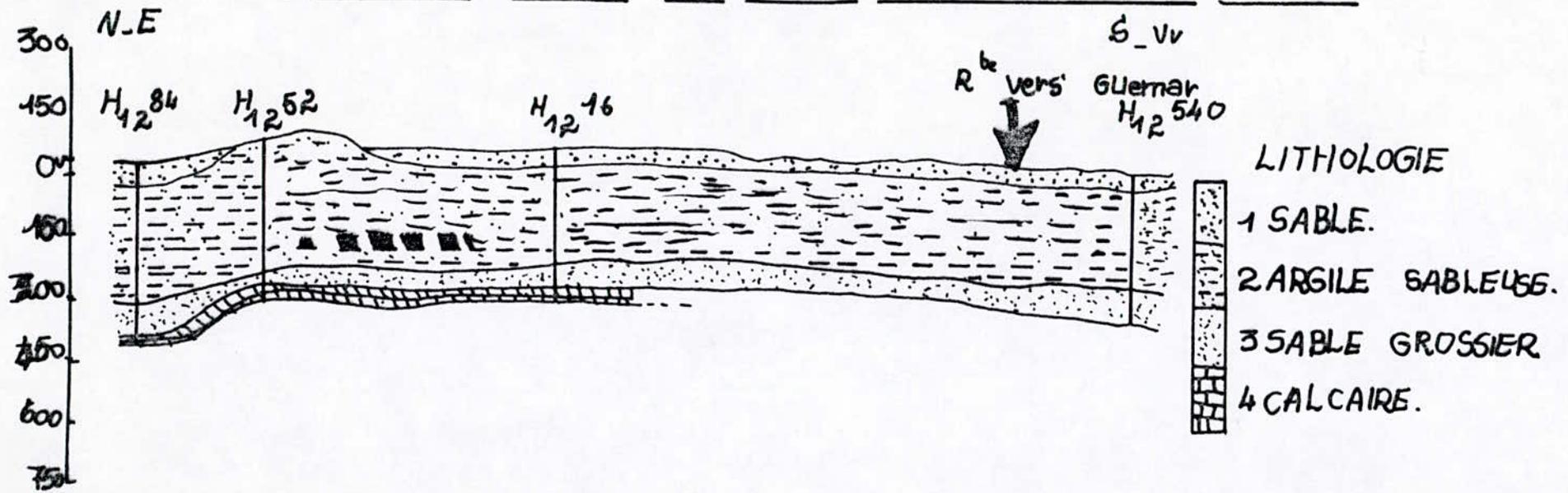


Figure N° J.3

- (1) QUATERNAIRE
- (2)
- (3) MIOPLIOCENE.
- (4)

Echelle des longueurs 1/200000

# COUPE CORRELATIVE n°4

EX TRAITÉ A PARTIR DES LOGS LITHOLOGIQUES DE FORAGE

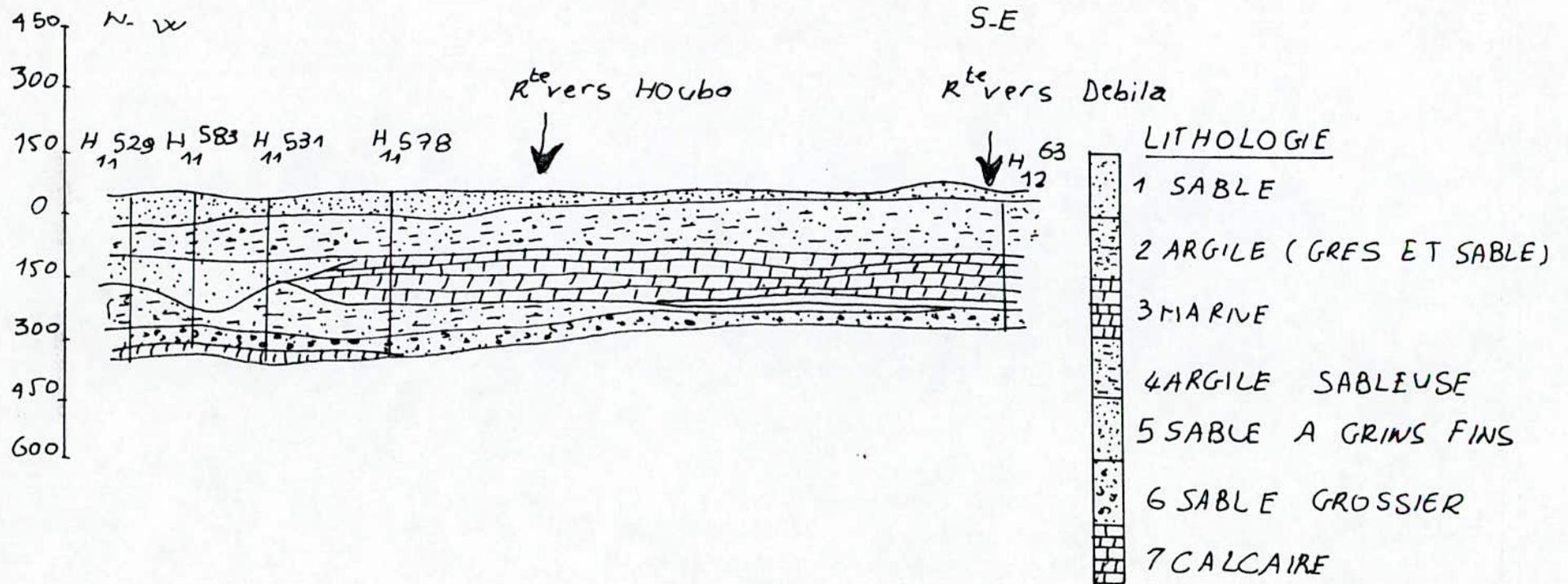


Fig n°: II.4

(1) QUATERNAIRE  
(2)  
(3)  
(4) MIORLIOLÈNE  
(5)  
(6)  
(7)  
Echelle des longueurs 1/200000

avait utilisé la méthode du sondage électrique . Les résultats de cette étude seront comparés avec les données géologiques qui sont tirés des cutines des forages .

L'entreprise a effectué deux campagnes en 1993 qui ont permis d'implanter dans l'ensemble , 360 sondages électriques , répartis le long des pistes et des routes .

### **II.1.5.3 Interprétation des coupes géoélectriques**

#### **a) Première campagne 1993: (coupe de 1 à 9)**

Dans la région du Souf, les terrains rencontrés correspondent à des sables, des sables argileux et argiles du point de vue géophysique. Ces formations se distinguent par leurs résistivité. En effet, le sable formant la première couche s'identifie aisément par les fortes résistivité . Il est remarqué que le long des coupes des variations de résistivité sont dues principalement au taux d'argile.

Le deuxième terrain est constitué tantôt par des sables argileux tantôt par des argiles sableuses . Du point de vue géologique cette prospection électrique a mis en évidence trois formations, lithologiquement différentes :

- Une formation superficielle constituée par des sables non consolidés et d'épaisseur moyenne de 15 à 20 cm .

- Une formation intermédiaire de grande épaisseur composée tantôt par des sables argileux et tantôt par des argiles sableuses, avec parfois par des intercalations de lentilles sableuses ou argileuses .

- Un substratum très conducteur correspondant à des argiles et dont le toit constitue une série de bombement et de dépression .

#### **b) deuxième campagne 1993 (coupes de 1 à 13 )**

Une étude comparative entre les coupes réalisées, durant la première et la deuxième campagne, nous a laissé constater qu'il n'y y a pas de différence, soit du point de vue lithologique au géométrique des couches rencontrées . Autrement dit, cette deuxième campagne vient compléter la première, surtout du point de vue continuité latérale de l'horizon de l'aquifère en question . Il faut noter qu'au

niveau de ces dernières coupes, nous avons rencontré pour la première fois un niveau calcaire qui s'ajoute aux toits autres niveaux cités précédemment, c'est un niveau calcaire . De même cette immersion est bien visible dans la coupe n°IV menant Bouaroua à Douar El-Emaa du côté des frontières Tunisiènne . Comparant aux autres ,cette coupes est représentative et importante, car elle englobe toutes les formations géologiques propres de la région .

Nous constatons qu'à ces niveaux , l'épaisseur de la couche sableuse relative à la nappe phréatique est moins importante, contrairement à la couche argileuse qui est beaucoup plus importante .(voir coupes n°: IV ,VII,XII,XIII)

**Conclusion :**

La région du Souf caractérisée par un remplissage sédimentaire s'étend sur plusieurs dizaines de Km . Sa structure géologique est simple, elle comprend une succession de différents étages du Crétacé de l'Albien au dernier terme du Sénonien supérieur . Les cutines le long des forages et les coupes géoélectriques viennent comprimer cette structure étagère qui s'étend pratiquement sur toute la région du Souf.

## II.2 SITUATION HYDROGEOLOGIQUE

### II.2.1 Cadre Hydrogéologique générale

Dans le Sahara septentrional, les nappes aquifères les plus sollicitées sont la nappe du continental Intercalaire (C.I) et celle de complexe terminale (C.T).

L'étude géologique du Sahara septentrional montre que la dorsale du M'zab orientée, Nord-Sud divise la plate forme en deux bassins hydrogéologiques :

- Le bassin Occidental (280.000 Km<sup>2</sup>) drainé vers le Sud.
- Le bassin Oriental (500.000 Km<sup>2</sup>) drainé vers le Nord [A.N.R.H,1995].

Au niveau du bassin Oriental, le continental Intercalaire et le complexe terminal sont séparés par la transgression Cénomaniennne alors qu'au niveau du bassin occidental nous observons l'existence d'une relation directe entre les deux aquifères.

Le continental intercalaire s'étend sur une superficie de 600.000 Km<sup>2</sup> environ, il est limité à l'Ouest par la ligne (N-S) allant de Bechar au Touat, à l'Est il s'étage jusqu'au Libye, au Sud il est limité par les affleurements du primaire et du socle, et au Nord par l'accident Sud atlantique [D.H.W,1995]

Le complexe terminal (C.T) s'étend sur une superficie de 350.000 Km<sup>2</sup>. Il regroupe les formations récentes déposés dans le bas de Sahara depuis le début du Tertiaire jusqu'au quaternaire; autrement dit, il comprend les formations de l'Eocène et du Miopliocène [D.H.W,1995].

Les études géologiques réalisées dans le passé n'ont décelé aucune relation (communication) entre les deux principaux aquifères présents dans la zone d'étude (figure n°II.6).

### 2.1.1 Présentation des nappes aquifères de la région de Souf

D'après les études hydrogéologique effectuées dans le passé, environ 1953 et la coupe schématique (figure n°II.7 ) établie à partir des coupes de sondages , nous observons l'existence de deux types de nappes :

- Une nappe phréatique (Type libre ) .
- Et deux autres nappes correspondants au complexe terminal et continental intercalaire ( de type captif ) .

### **Nappe Phréatique**

La nappe phréatique présent dans toute l'Oasis du Souf correspond essentiellement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire , elle peut être rencontrée à des profondeurs variants entre 10 et 40 mètres .

Vue son importance , cette nappe représentait la source principale d'irrigation d'importantes palmeraies , elle est surtout exploitée par des puits traditionnels qui selon notre enquête sont en nombre de 10.000 puits .

La profondeur du toit de cette nappe , d'après les coupes géologiques , dépasse parfois 20 mètres . La circulation des eaux dans cette nappe est relativement lente sur toute la région du Souf particulièrement dans les zones caractérisées par l'existence de lentilles argileuses qui influent sur la perméabilité des sables .Excepté dans région des chotts la nappe phréatique est présente sur toute la zone d'étude .

Les principales sources d'alimentation de cette nappe sont les pluies torrentielles , viennent s'ajouter depuis quelques années , les eaux d'irrigation provenant des nappes profondes ( Pontien Barrémien ) et enfin les eaux de rejets du à l'inexistence d'un réseau d'assainissement et d'exutoire naturel .

### **Nappe du complexe Terminal (C.T )**

Ce terme ( C.T ) regroupe sous une même dénomination un ensemble des nappes aquifères qui sont situées dans des formations géologiques différentes . D'après [D.H.W,1995], nous rappelons l'existence de 3 nappes

dont les deux premières correspondent respectivement aux nappes des sables d'âge Miopliocènes et Pontien , alors que la dernière correspond à la nappe des calcaires d'âge Sénonien à Eocène supérieur .

### **Nappe des sables :**

Au sein de ces niveaux sableux viennent s'engendrer deux nappes de type captif, dont la première correspond à la formation supérieure du complexe Terminal appelée communément réservoir du « Sub-Souf ». Cette nappe constituée de sables grossiers et faisant partie du complexe Terminal, émerge progressivement vers le Nord du Sahara en direction du fosse Sud au Rustine. Dans la région d'étude elle se trouve en moyenne à 280 mètres de profondeur (figure n°II.7).

Il faut mentionner également l'existence d'une deuxième nappe des sables d'âge Pontien. Au dessus des bancs supérieurs de la nappe des calcaires et en contact avec les marnes de l'Eocènes inférieurs et des graviers siliceux constituant donc une deuxième nappe captive en continuité avec la nappe du Pontien en du Sud Tunisien, la profondeur de cette nappe varie entre 400 et 450 mètres, quant à l'épaisseur utile de cette nappe elle est de 50 mètres environ (figure n°II.6).

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

Dans les zones à fortes exploitations telle que la ville d'El Oued, l'extraction des eaux se fait par pompage . Par contre dans les régions où l'exploitation est moindre à Taleb Larbi et Douar EL Maa , la nappe est exploitée à ce jour par artésianisme : c'est le cas de la nappe Pontienne .

### **Nappe des calcaires :**

Le complexe terminal du Souf possède une lithographie plus complexe . Les forages captants cette nappe nous montrent l'existence de deux niveaux durs servants de repère pour la classification des eaux souterraines. Du Sud au Nord nous observons l'existence d'un premier niveau calcaire mieux individualisé , parfois il est purement calcaire ,quelque fois il est formé par des calcaires gypseux et correspond ainsi au niveau inférieur .

Le niveau supérieur ,principalement présenté par des calcaires siliceux est considéré comme une zone de transition entre la nappe des calcaires et celle des sables. Dans l'ensemble ces deux niveaux sont séparés par des formations tantôt marneuses ,tantôt sableuses en passant par des argiles (rouges) .

Les forages profonds captants cette nappe , nous montrent que sa profondeur varie entre 500 et 800 mètres ,mais il faut mentionner également que cette dernière n'est pratiquement pas exploitée dans la région du Souf(fig n°:II.6)

### **Nappe du continental Intercalaire (C.I )**

Le terme " C.I" , correspond ainsi aux formations continentales du crétacé inférieur , ne peut être que la période continentale intercalée entre deux cycles sédimentaires : La régression marine suivit d'une transgression du crétacé supérieur .

Le continental intercalaire (C.I ) occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien .

Le trait manquant du réservoir aquifère du continental intercalaire est son volume considérable dû à la fois à son extension (surplus de 600.000 Km<sup>2</sup> ) et à son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. Bien que l'intérêt majeur de ce système aquifère et qu'il est constitué par de grandes quantités d'eau qui ont été stockées au cours des périodes pluvieuses du quaternaire et peuvent être maintenant exploitées; il reçoit encore de nos jours une alimentation

naturelle par les eaux météoriques et présente donc un fonctionnement hydraulique caractérisée par une alimentation ,un écoulement et une série d'exutoires.

L'épaisseur totale du réservoir dépasse 250 mètres dans la plus grand partie du Sahara septentrional .Elle atteint 1000 mètres au Nord- Ouest. Le C.I affleure dans la partie Sud et Sud-Ouest par contre il plonge vers le Nord - Est .

La puissance de l'ensemble des formations aquifères existantes dans la région (crétacé inférieur ,Miopliocène ,Eocène et nappe phréatique)dépasse parfois 2000 mètres .

### **2.3 Lithostratigraphie des Nappes du Souf**

Les coupes des sondages profonds réalisées dans la région, montrent l'existence des formations suivantes ( annexe n°I ) :

#### **Nappe phréatique**

D'âge Quaternaire ,cette nappe est constituée de sable de type colline dans sa partie supérieure et d'argile évaporé correspondant au toit semi-perméable de la nappe des sables du Miopliocène dans sa partie inférieure .

#### **Nappe de C.T : ( annexe°I )**

#### **Nappe de Sable**

La nappe de sable existe dans l'étage Miopliocène est essentiellement constituée par un empilement de niveau alternativement sableux ,sable argileux , avec des intercalations de gypse et de calcaire .

Le Miopliocène repose sur la dernière couche éocène ,sa limite inférieure coricide avec le premier dépôt détritique (argile et sable ) son épaisseur varie entre 300 et 400 mètres .

L'écoulement des eaux de cette nappe se fait du Sud-Ouest vers le Nord-Est autrement dit ,vers les zone des chotts .

### **La Nappe phréatique**

Dans la partie supérieure des formations continentales une nappe non captive profond de 2 à 10m vient augmenter les réserves hydrauliques du Souf correspondant essentiellement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire formé de dépôts sableux de type éoliens donnant la naissance des dunes .

La puissance de la nappe phréatique varie de 39 à 67 m .

La circulation des eaux de cette dernière est relativement lente surtout dans le Souf , et plus particulièrement dans les zones d'intercalations gypseuses et argileuses influençant la perméabilité des sables .

### **Tectonique**

Les dépôts sédimentaires du Sahara ont subi des mouvements tectoniques verticaux et horizontaux au début de l'époque tertiaire provoquant l'affaissement du Sahara Nord Oriental .

La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate forme crétacée dont le fond à un très grand rayon de courbure , semble s'épaissir du Nord vers le centre de cette dépression , ce qui montre que l'approfondissement suit de près la sédimentation et retrace l'événement paléogéographique du Souf .

### **2.4 Interprétation des cartes piézométriques établies à partir des campagnes**

Il est important de noter que la carte piézométrique de la nappe phréatique de la région du Souf datée de 1968 n'était pas assez détaillée .

Les cartes piézométriques établies récemment nous ont permis de déterminer avec beaucoup plus de précision les paramètres suivants :

- le niveau piézométrique de la nappe phréatique .
- le gradient hydraulique .
- le sens d'écoulement .

Les campagnes ont été réalisées par (ANRH de Ouargla) sur presque 150 puits d'eau durant les périodes suivantes :

- première campagne : Février 1993 .
- deuxième campagne: Avril 1993 .
- troisième campagne : Juillet 1994.
- quatrième campagne : Juillet 1995 .

Tout cela pour constituer le réseau de surveillance et entre les mesures de niveau il a été procédé sur ces points ( puits ) un nivellement .

Les campagnes ont permis de dresser les cartes piézométriques de fluctuations schématisant clairement le phénomène de la remontée de la nappe phréatique qui affecte ces dernières années le Souf et qui tend à se propager dans les régions avoisinantes .

#### **2.4.1 Interprétation des cartes " isopièzes "**

##### **1-Campagne de Février 1993**

L'analyse de cette carte permet d'affirmer que le direction principale des écoulements des eaux souterraines ( nappe phréatique ) est Sud - Nord autrement dit pour la zone d'étude de Mouiha Ouensa - Oued El .Alenda - El. Oglia vers Reguiba -Houba et Foulia .

Dans la zone de Mouiha Ouensa et Oued El Alenda les courbes isopièzes sont bien espacées , elles se rapprochent au fur et à mesure qu'on s'approche de Guemar puis ont tendance à se confondre entre Reguiba et Houba . c'est à ce niveau que la vitesse d'écoulement semble importante:

Ceci explique par la morphologie du substratum imperméable , dont les irrégularités planimétriques ( sillons , crêtes ) sont mises en évidence par l'étude géophysique .Ces coupes géolétriques montrent clairement que la perte du substratum argileux s'accroît vers le Nord (figure n°II.8).

##### **\* Calcul du gradient hydraulique**

La zone d'étude est caractérisée par l'importantes variations du gradient hydraulique et c'est pour cette raison que nous l'avons subdivisée en six sous

FIGURE 5 (A) COUPE HYDROGEOLOGIQUE DU SOUF.

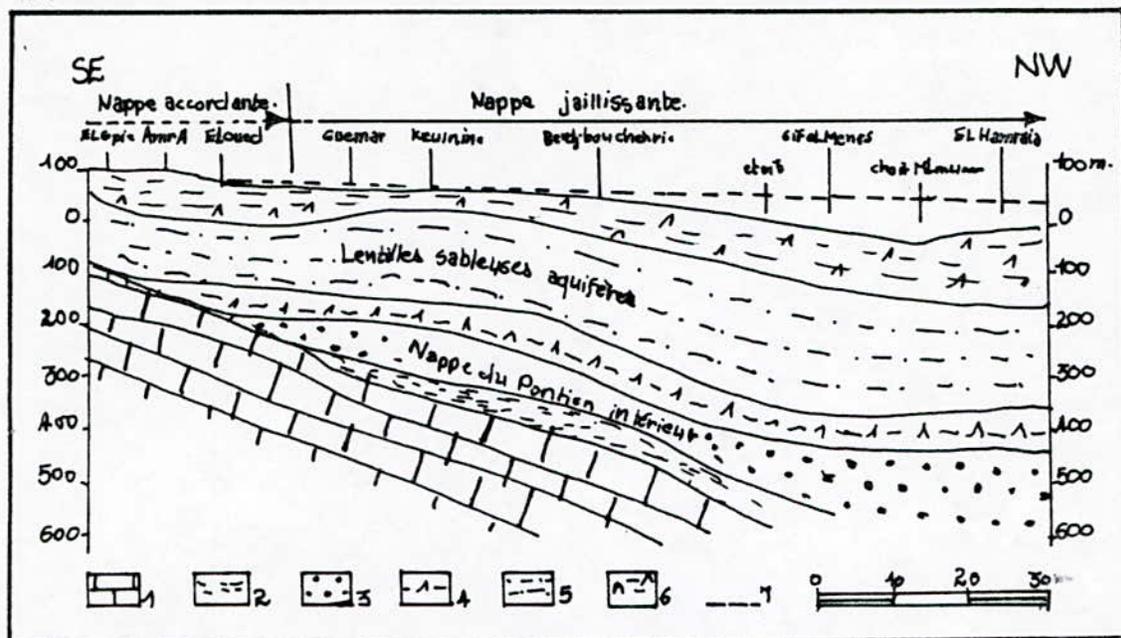


FIGURE 6 COUPE DE L'ALBIEN CONTINENTAL INTERCALAIRE.

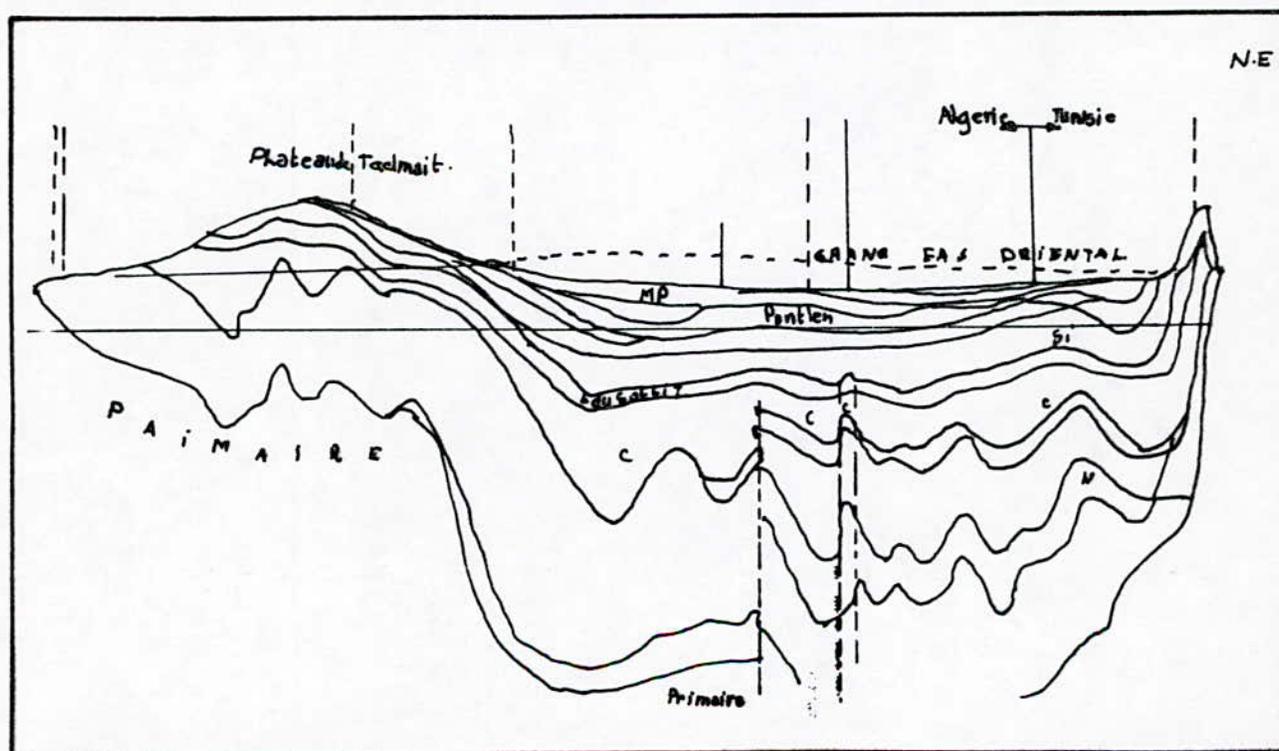
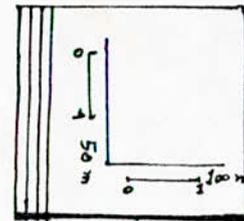


Figure: N° II.7

# Fig<sup>n</sup> II.7 : COUPE HYDROGEOLOGIQUE SCHEMATIQUE. EL HAMRAIA EL OUED F. BEL 1967.



NORD-OUEST

Sud-EST

El Hamraia  
16 m  
↓

Si F El Menadi  
F-1 m  
↓

Haube  
80 m  
↓

Goussar  
71 m  
↓

El Oued  
31 m  
↓

Amichr  
51 m  
↓

50 m  
↓

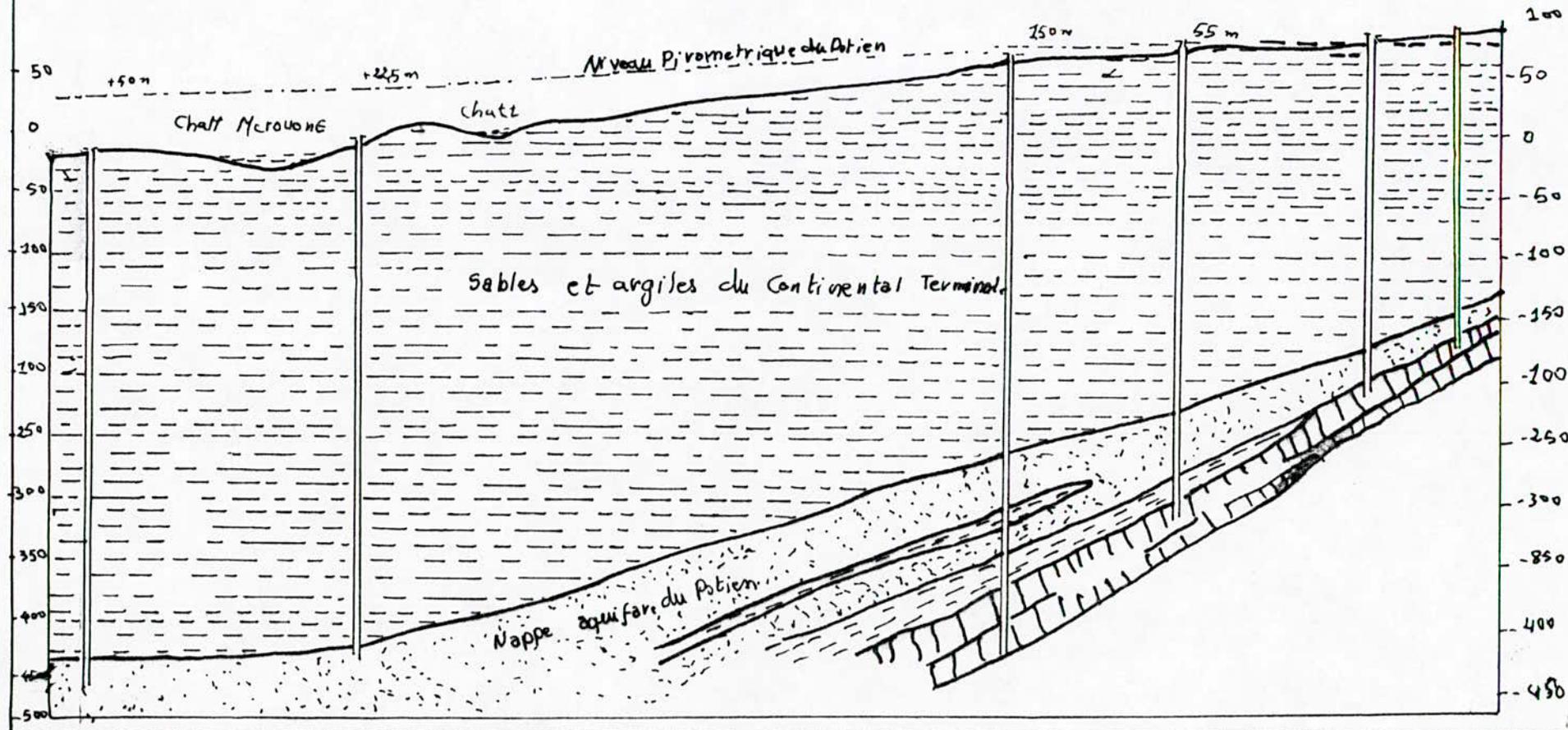
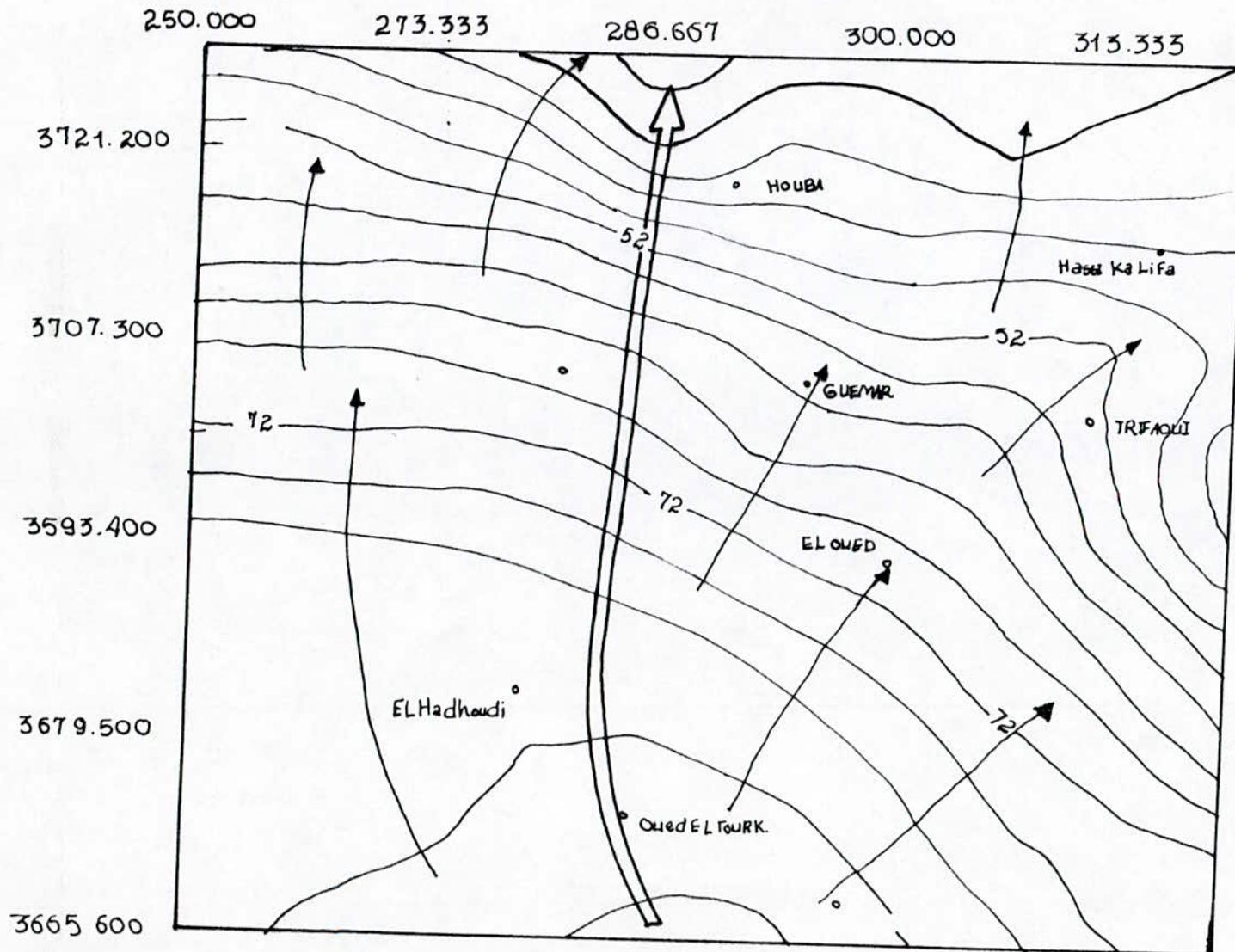


FIG. 1-8 CARTE PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE PHREATIQUE D'EL OUED (Avril 1993).



CARTE DRESSE PAR:  
A.N.R.H Ouargla

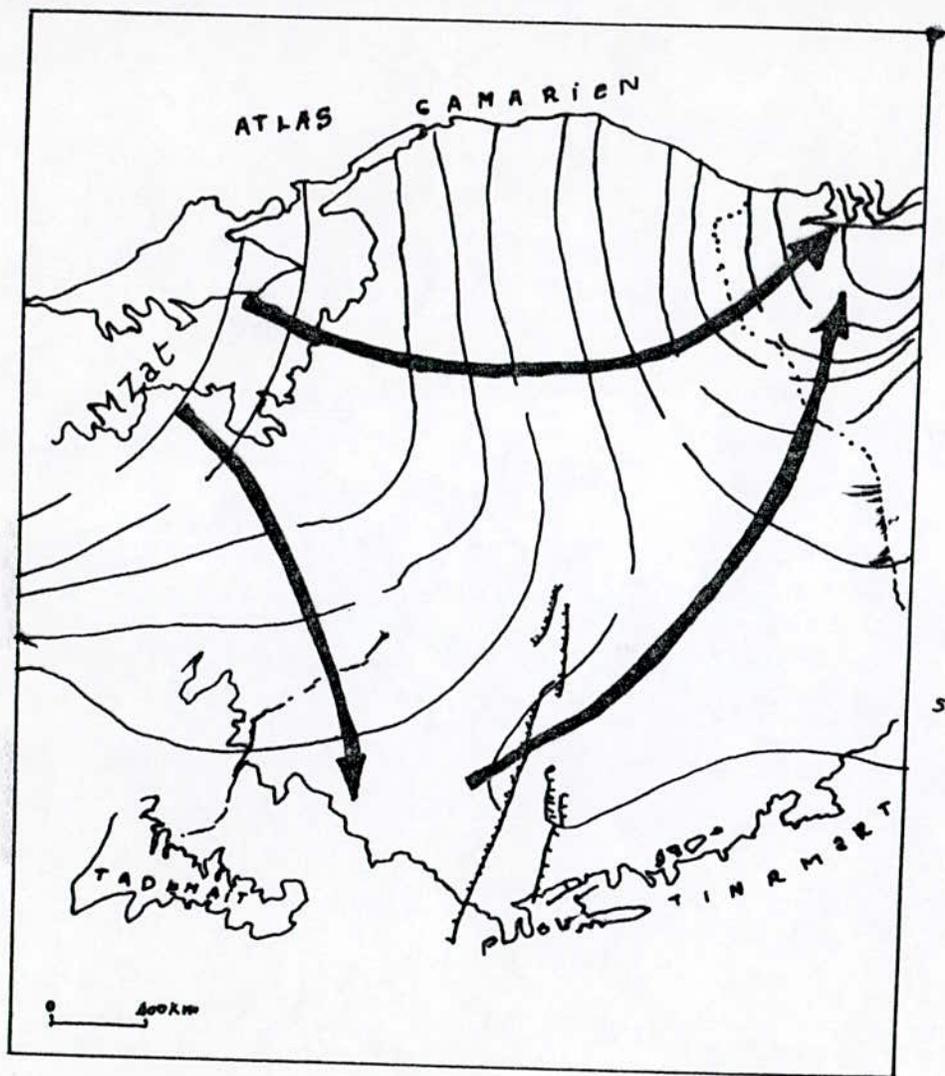


Figure 2. Carte piézométrique de la nappe  
du Continental Intercalaire. (1960).

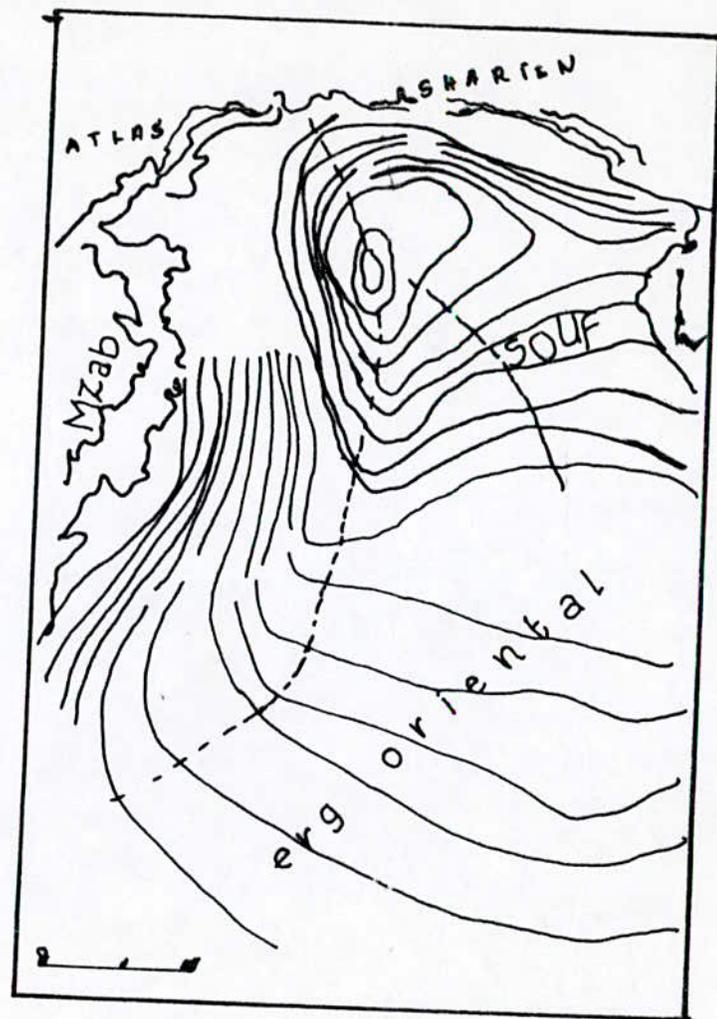


Figure 3. Carte piézométrique  
de la nappe du complexe  
Terminal. (1960).

zones ( A-B-C-D-E et F ) et ce afin de mieux visualiser le gradient de chacune d'elles (tableau n°II.1) .

**Tableau n°II.1:le gradient hydraulique de six sous zones ( A-B-C-D-E et F )**

Orientation	Nord $\longrightarrow$			Nord $\longrightarrow$		
	Sud			Sud		
Zones	A	B	C	D	E	F
Localités	Foulia Reguiba et Tlouba	EL Arfdji	Oudey El Tourk	Hassi Khalifa	Lizereg	EL- Ogla
Gradient Hydraulique $i=A_h/L$	$43 \cdot 10^{-4}$ à $23 \cdot 10^{-4}$	$17 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$14 \cdot 10^{-4}$	$12 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$

Cette méthode nous montre clairement que le gradient hydraulique augmente du sud vers le Nord de  $5 \cdot 10^{-4}$  à  $23 \cdot 10^{-4}$  pour atteindre son maximum ( $43 \cdot 10^{-4}$ ) aux environs de Reguiba et Houba puis se stabilise à  $23 \cdot 10^{-4}$  au niveau de Foulia .

## 2. Campagne d'Avril 1993

Il faut noter, que l'intervalle entre la première campagne et la seconde n'est que de 45 jours ; donc on ne s'attendait nullement à ce que les cartes isopièzes soient différentes ; en effet la deuxième carte piézométrique est venue confirmer les renseignements tirés de la première l'écoulement principal demeure inchangé , donc du Sud vers le Nord , les écoulements secondaires ont évidemment des directions diverses mais finissent pas rejoindre le sens principal .

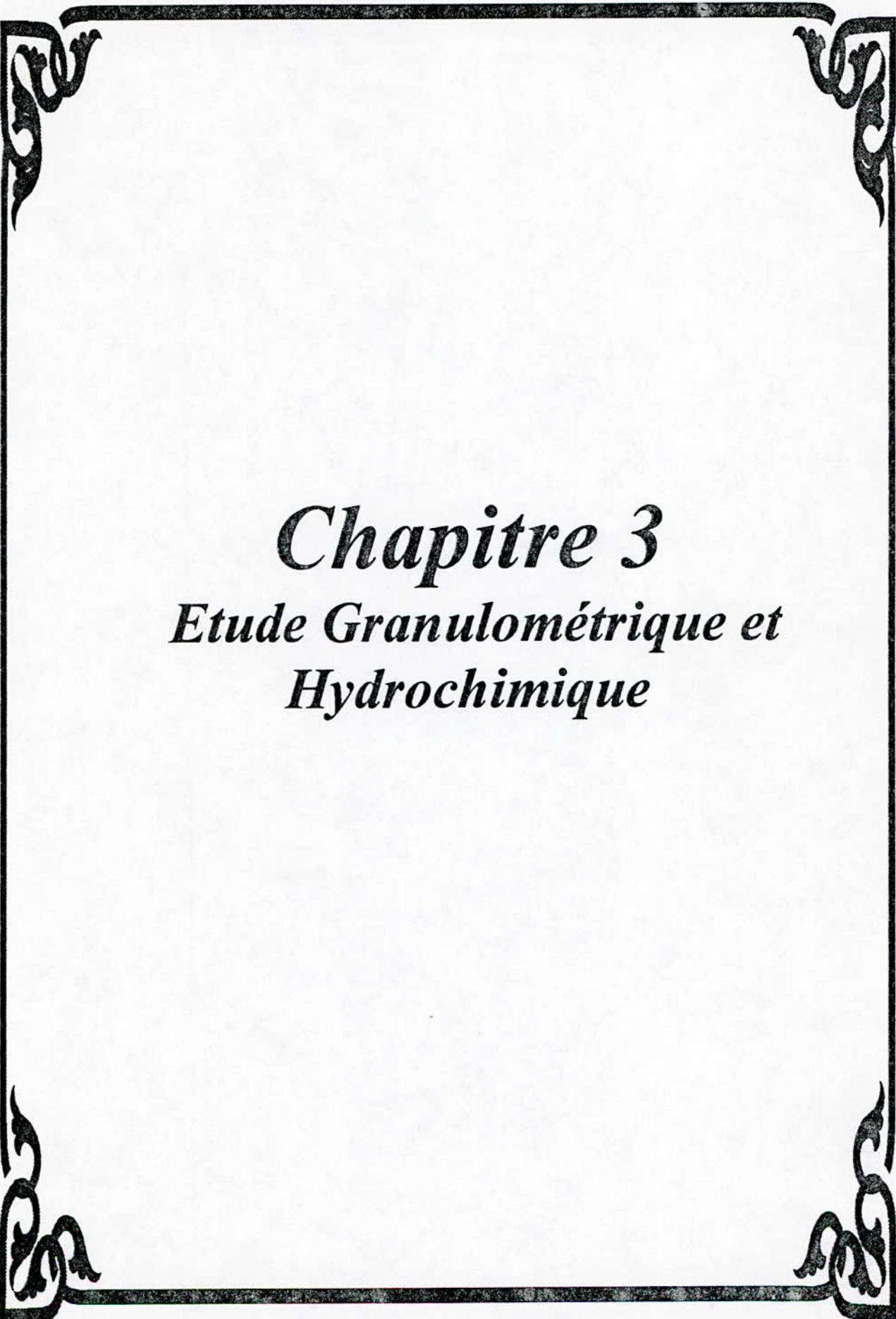
La vitesse d'écoulement des eaux demeure variable d'une région à une autre . La légère variation constatée au niveau des équipotentiels , s'explique par le petit intervalle de temps entre les deux campagnes précédentes .

**\* Calcul du gradient hydraulique**

Le tableau ci dessous montre que le gradient hydraulique augmente du Sud vers le Nord . La méthodologie adoptée comme pour la première campagne nous donne des résultats similaires à celle - ci .

**Tableau n°II.2 : le gradient hydraulique des six sous zones (A-B-C-D-E et F)**

Orientation	Nord →			Nord →		
	Sud			Sud		
Zones	A	B	C	D	E	F
Localités	Foulia Reguiba et Tlouba	EL Arfdji	Oudey El Tourk	Hassi Khalifa	Lizereg	EL- Ogla
Gradient Hydraulique $i=Ah/L$	$20 \cdot 10^{-4}$	$11 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$13 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$



*Chapitre 3*  
*Etude Granulométrique et*  
*Hydrochimique*

### III.1 Etude Granulométrique et physico-chimique de sable du Souf

#### III.1.1 Introduction

Dans ce présent chapitre ,nous allons essayer de caractériser la physico-chimie et la granulométrie du sable du Souf,ainsi que ses relations avec le climat et son influence sur la nappe phréatique et cela en citant et interprétant les résultats des expériences qui ont été élaboré dans ce sens .

#### III.1.2 Nature,Composition Granulométrique Minéralogique et Caractéristiques physico-chimiques du sable en place

Le sable est un milieu mécaniquement idéal.Il est homogène , isotrope , dans toute l'étendue de l'Erg ,que la sable soit pris en surface , ou en profondeur. Les grains sont à diamètres réguliers , compris entre (0.06 ou 0.010 à 0.25 ou 0.40 mm ) .

La composition granulométrique relevée sur de nombreux prélèvements est pratiquement semblable , comme par exemple le profil ci-dessous :

**Tableau n°III.1: la composition granulométrique d'un profil de sable du Souf [A.N.R.H,1995]**

Echantillon prélevé à(m)	Pourcentage en poids				
	m.insolu <sup>ble</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca <sup>+2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
-0.1	90.21	0.8	4.52	0.12	5.9
-0.2	89.02	1.0	4.55	0.04	6.47
-0.4	88.17	1.0	4.47	0.05	6.72
-0.5	/	1.0	5.21	1.50	7.47
-0.7	/	1.0	5.16	1.03	6.57
-1.0	/	0.6	5.39	0.54	6.51
-2.0	86.20	0.6	5.43	0.04	8.19
-4.0	88.40	0.9	4.32	0.05	6.42
-6.0	85.50	0.6	5.48	0.03	8.49
-8.0	86.20	0.9	5.14	0.03	8.01
-10.0	84.40	1	5.69	0.03	8.82
-11.0	80.80	0.6	7.52	0.04	11.37

### III.1.3 Interprétation des Résultats

De tous les constituants, le gypse est le seul à marquer une concentration entre 0.5 et 0.1 m de profondeur et principalement à 0.5 m.

Les minéraux lourds les plus fréquents sont :

Le Zircon, le rutile, la tourmaline et les grenats sont plus rares. Quelques topazes ont été retrouvés principalement à (-0.5m) et (-0.20 m). Les minéraux légers sont essentiellement représentés par 80 et 89 % de grains de quartz, généralement limpide rarement laiteux.

Les cristaux de gypse toujours en très petites quantités (1.5 %) au maximum, ils sont sous forme de "baguettes" tronquées.

En séparant les grains de quartz nous avons pu déterminer les pourcentages de chaque catégorie.

**Tableau n°III.2: Répartition des différents grains quartz dans le sable du Souf [A.N.R.H,1995]**

GRANS	> 0.7 mm			> 0.3 mm			> 0.15 mm		
	N.U	E.L	R.M	N.U	E.L	R.M	N.U	E.L	R.M
ECHANTILLON Pris à : ( m )									
-0.2	0	8	92	8	44	48	8	72	20
-0.5	0	8	92	20	36	44	16	52	32
-2.0	0	8	92	8	20	72	20	48	32
-6.0	0	24	76	8	40	52	32	36	32
-11.0	0	0	0	8	44	48	4	40	52

### III.1.4 L'Humidité Latente du sable

Le sable est généralement humide, à l'exception d'une couche superficielle de quelques centimètres (40 à 50 cm). Cette humidité lui confère

une certaine cohésion ,cette dernière s'accroît avec la profondeur, car c'est la composition de la nappe qui régit son équilibre .

### **III.1.5 Teneur en eau naturelle**

#### **Profil de Succion, Propre du Sable**

La capacité propre de rétention capillaire de ces milieux sableux est obtenue au laboratoire à l'aide des essais le potentiel de succion , valable pour une température déterminée qui s'exprime par la courbe de variation de la teneur en eau d'équilibre des pores en fonction de la distance ( Z ) au dessus de la nappe phréatique .

Cette courbe a été déterminée en utilisant plusieurs méthodes : humidification dans une atmosphère a hydrométrie contrôlée , membrane semi-perméable , pierre poreuse , d'abords par humidification puis par dessiccation , dans une ambiance à 20 °C et sur sable de densité apparente de l'ordre de 1.55 Kg/dm (exprimé en poids de sole sec ) ( fig n°III.1 ) .

Cette courbe reprisent les valeurs de teneurs en ( % ) de poids sec en fonction des distances par rapport à la nappe phréatique .

Nous constatons que chaque fois que les échantillons de sable prélevés sont proche du niveau de la nappe , la teneur en eau dans ce sable augmente , et cela est due principalement la capacité propre de rétentions capillaire du sable .

Cette dernière peut être favorable pour les différentes cultures pratiques dans le Souf , mais elle peut jouer un rôle dangereux ; dans le cas des infrastructures construites sur un sable recouvrant une nappe phréatique , car la capacité de rétentions capillaire , aide les eaux à remonter vers les murs et les planches des constructions ce qui mène à leurs destruction .

### **III.1.6 Variation de la Teneur en eau observée sur place**

A EL Oued la teneur en eau du sable varie entre 0.2 et 2 % , on a procédé des sondages successifs et des prélèvements systématiques en prenant

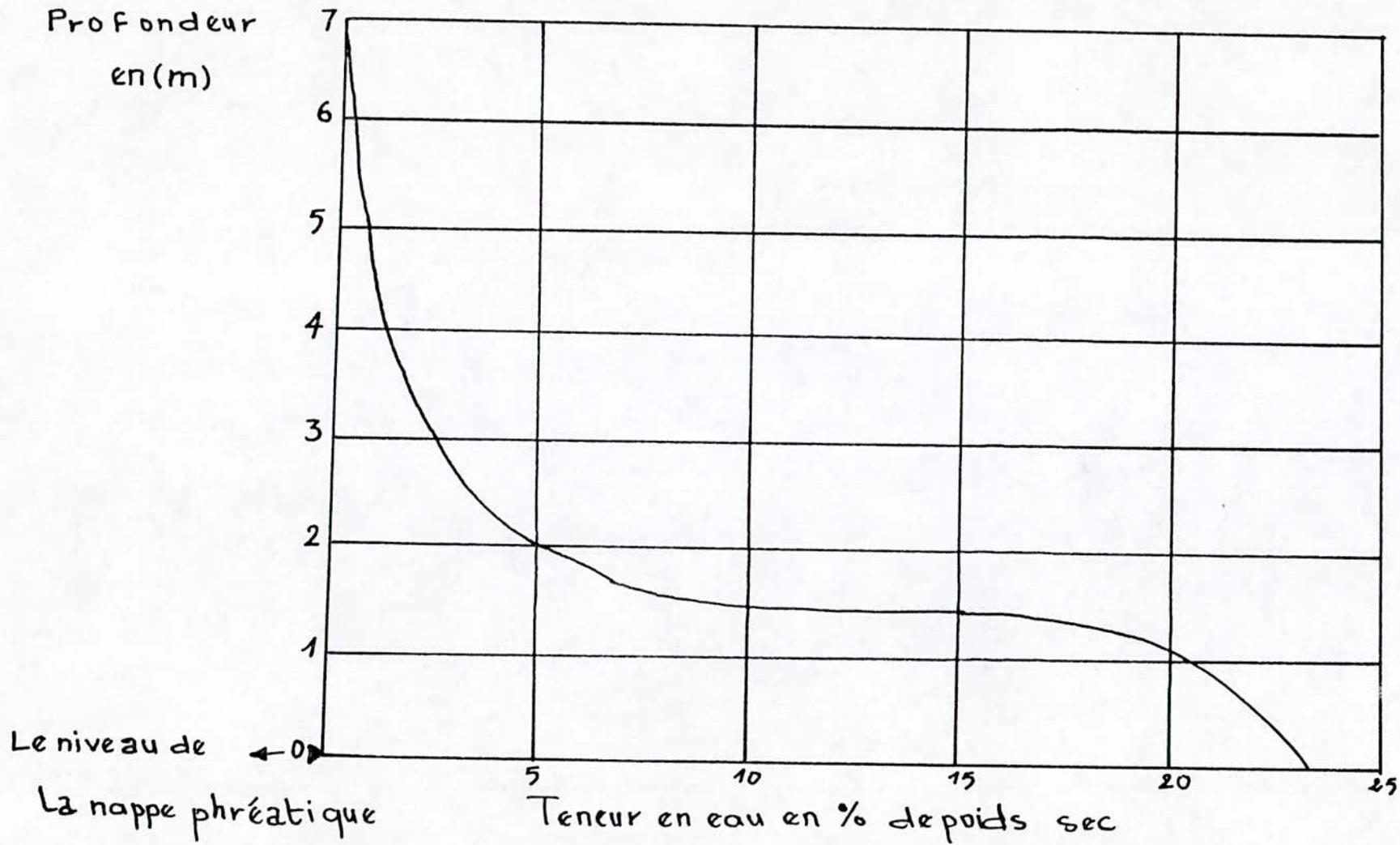


Figure n° III-1 : Potentiel capillaire théorique  
 du sable d'El Qued d'après les essais de laboratoire en 20°C.

source: A.N.R.H  
 Ouragla 95.

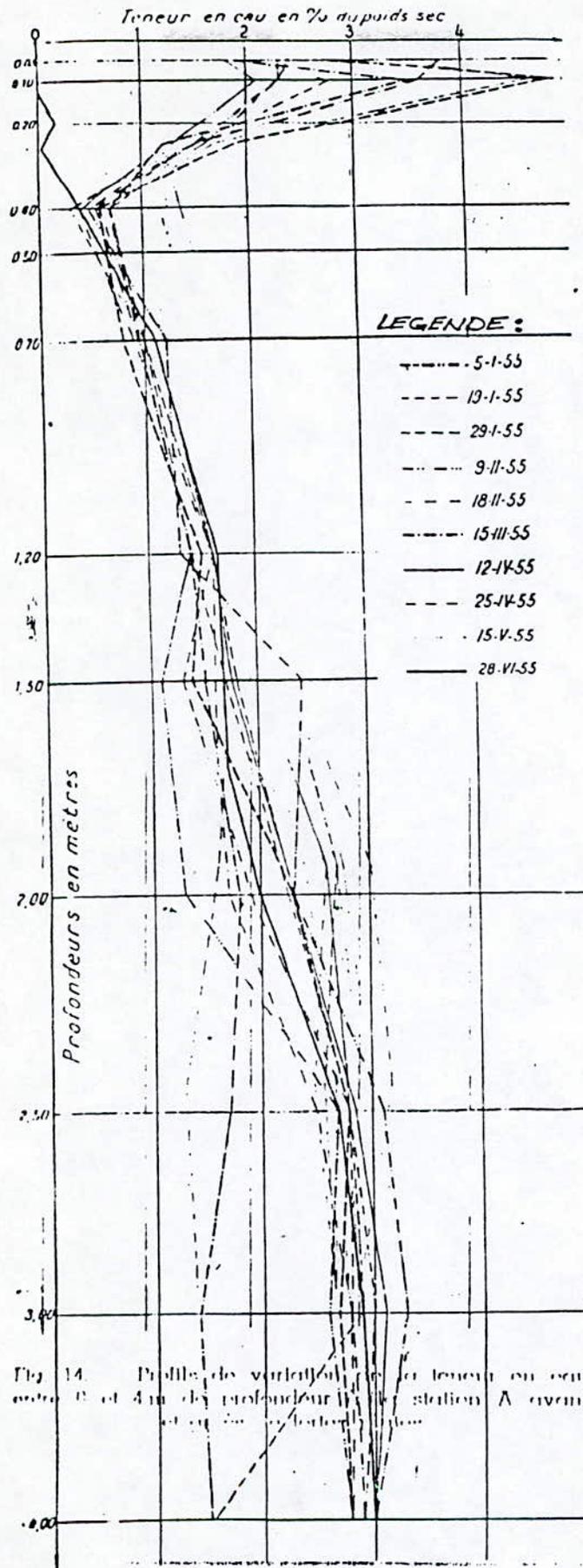


Fig. 14. Profils de variation de la teneur en eau entre 0 et 4 m de profondeur à la station A avant et après de fortes pluies.

Fig. 14. Profils de variation de la teneur en eau entre 0 et 4 m de profondeur avant et après de fortes pluies

des pesés de quantité de sable humide , puis peser la même quantité de sable à sec et cela à différentes profondeurs entre 0 et 0.3 m , ce qui nous permet d'observer que , jusqu'à 50 ou 70 cm de profondeur . Ces teneurs en eau sont immédiatement affectées par les condition extérieures , la pluie en particulier . Les prélèvement des profils de teneur en eau par premièrement d'échantillons avant et après des fortes pluies , sont représentés sur la fig III-2.

Cette figure représente les variations de la teneur en eau en % du poids sec en fonction des profondeurs après les fortes pluies .

Nous remarquons que les profils s'articulent ou tour d'un point neutre qui se situe au voisinage de 50cm de profondeur, ce qui conduit à distinguer dans les milieux étudiés deux zones bien distinctes :

- La première est superficielle, elle est affectée directement par les précipitations atmosphérique ou d'une évaporation interne .
- La seconde se situe entre 50 cm de profondeur et la nappe . Cette couche est affectée indirectement par les conditions extérieures . C'est pour cela que le profil de teneur en eau varie dans d'étroites limites autour d'un profil moyen représenté par la couche de succion théorique .

Les effets des températures sur les fluctuations périodiques de la côte géométrique de la nappe phréatique sont évidentes .

Le sable dispose de plusieurs caractéristiques thermiques , dont les deux les plus essentielles sont :

**a)** Amortissement rapide des variations journalières de la température ; Les effets de fluctuations journalières des températures sont amortis à profondeur de 50 cm dans un milieu de sable homogène , uniforme et fin , et cela quelque soit la saison et quelque soit les écarts journalières .

**b)** Diffusion de la température à une profondeur dans le sol supérieur à 50 cm:

Seules les variations saisonnières sont susceptibles d'influencer le sol profond .

### III.1.7 Détermination du coefficient de perméabilité du sable d'EL Oued

Les conditions de migration de l'eau à travers des pores non saturés sont fonction de la teneur en eau . En utilisant la méthode des cellules cylindriques pourvues de réservoirs d'eau distillée , obturé par des pierres poreuses à grain très fin .Une équipe de recherche française avait élaboré des essais de perméabilité sur un sable a l'état saturé , il a été mis en place à des densités comprise entre [ 1.62 et 1.75 ] Kg/dm , tous les points obtenus ont été portés sur la figure n°III-4,le coefficient de conductivité capillaire de ce sable peut varier de  $10^{-2}$  a  $10^{-8}$  cm /s .

Cette figure représenté les variations de conductivité capillaire (ou de perméabilité) et de la teneur en eau du sable en fonction de son état de succion obtenue au moyen d'un appareil des cellules cylindriques .

La plus forte variation se localise entre l'état de succion et celui correspondant à une dépression de 40 cm d'eau , environ  $10^{-2}$  -  $10^{-6}$ .

Les tranches de sable où la teneur en eau est faible ne jouerait vis a vis de la fluctuation du niveau de la nappe phréatique qu'un rôle de transmission des pressions à travers les pores de ces sables .

**CONCLUSION :**

Les résultats généraux qui ont été exposé précédemment ont permis de mettre en évidence l'importance des caractéristiques granulométrique et physico-chimique du sable du Souf.

Nous avons remarqué ,que ce milieu dispose d'une grande influence sur les pertes et les apports atmosphériques . Ainsi que sur les échanges entre l'atmosphère et la nappe phréatique . Il est à noter , que le milieu sableux protégé les eaux de la nappe phréatique contre l'évaporation , surtout dans le cas où elle se trouve éloignée de la surface du sol .

## III.2 Etude Hydrochimique

### III.2.1 Introduction

L'hydrochimie a pour but de définir les caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique et de déterminer la relation entre cette eau et la sol.

Dans ce présent chapitre nous allons essayer de quantifier les divers éléments chimiques dissouts dans l'eau , c'est pour cela que nous allons procéder à la comparaison de ces derniers entre la campagne de 1993 et celle de 1994 , ainsi que celle de 1993 et les échantillons que nous avons prélevé en Mars 1996 et analysé à l' ANRH de Blida il faudra noter encore , qu'on va estimer l'appréciation de la potabilité des eaux et leur aptitudes pour les utilisations en irrigation .

Signalons enfin que les mesures des paramètres physico-chimiques ont été effectuées en 1993 et en 1994 un laboratoire de l' ANAH de Ouargla , le dosage a porté sur les éléments majeurs suivants :

-Cation :  $\text{Ca}^{++}$  ,  $\text{Mg}^{++}$  ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$

-Anions :  $\text{Cl}^-$  ,  $\text{SO}_4^-$  ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{NO}_3^-$

### III.2.2 Caractéristiques physico-chimiques des eaux

#### 2.1 Conductivité

Les mesures de la conductivité électrique faites sur le terrain se localisent entre 2700 Us/an et 10300 Us/an .

#### 2.2 La Température

D'après les résultats de la campagne de 1993 les températures ne dépassent jamais les  $23.2^\circ\text{C}$  ; elles oscillent entre  $15.3$  et  $23^\circ\text{C}$  .

#### 2.3 Degré hydrotrimétrique (D.H)

Lorsque la concentration des sels de  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  est trop élevée l'eau est dure .

L'eau analysée a présenté un D.H supérieur à  $133.75$  °F .

**Tableau n°III.3:Résultats des analyses chimiques ( année 1993 ) [A.N.R.H]**

PUITS D'EAU	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	Na <sup>++</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>++</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
H003	674	397	1013	68	1570	3200	107	18
H013	648	125	158	18	240	980	67	54
H016	687	99	200	14	280	250	64	77
H023	685	289	775	47	1200	2800	145	65
H031	620	140	263	22	410	1813	88	86
H033	723	290	288	37	1370	2900	153	45
H039	610	170	225	79	400	2140	79	110
H045	524	115	125	20	210	2750	59	47
H046	584	130	193	18	300	2000	69	68
H049	580	115	193	79	280	1915	52	
H056	670	81	280	86	440	2000	59	82
H060	721	86	223	47	350	2100	55	110
H066	565	57	120	19	190	1438	55	85
H067	500	201	200	17	280	2080	50	148
H068	543	176	268	19	410	2000	136	68
H071	487	31	173	12	270	1300	53	57
H076	500	21	128	18	200	1200	58	94
H079	580	139	440	37	680	1000	96	74
H081	605	124	228	37	350	1920	117	71
H083	603	315	450	35	700	2438	259	41
H086	583	48	165	18	250	1600	43	74
H093	597	76	140	15	210	1725	46	88
H094	680	209	450	26	700	2250	172	70
H096	577	191	400	33	620	1988	115	43
H103	569	209	488	39	750	2250	93	65
H107	642	131	473	26	740	2000	143	82
H110	543	113	175	27	270	1750	61	58

**Tableau n°III.4: Résultats des analyses chimiques( année 1993 ) [A.N.R.H]**

PUITS D'EAU	TEMP T°C sur terrain	COND à 25°C US/CMsur terrain	RESIDU SEC mg/l	Mineralisa-tion mg/l	SAR %	TH °F	PH
H003	21.5	10300	8851	8759.5	7.62	33.75	7.96
H013	17.5	3600	3373	2730.7	1.49	241.00	7.85
H016	18.1	4000	3585	334.1	1.88	213.00	7.72
H023	20.7	7800	6959	5916.6	6.38	279.00	7.94
H031	15.0	4300	3828	3261.7	2.47	213.25	7.96
H033	21.8	9200	7600	6978.6	7.03	301.50	7.89
H039	20.1	4300	3254	3261.7	2.34	223.25	7.92
H045	18.4	3100	2783	2351.4	1.28	178.75	7.82
H046	18.3	3600	3311	2730.7	1.87	200.00	7.86
H049	19.9	3700	3370	2806.6	1.35	192.75	7.77
H056	19.2	4700	4184	3565.1	2.71	201.25	7.90
H060	19.5	440	4022	3337.6	2.08	216.00	7.86
H066	21.4	2900	3059	2199.7	1.28	165.00	7.93
H067	22.1	4200	3963	3185.8	1.90	208.75	7.86
H068	21.9	3800	3782	2882.5	2.54	209.00	8.29
H071	19.5	2800	2487	2123.9	2.05	134.50	7.87
H076	20.9	2700	2361	2048.1	1.52	133.75	7.54
H079	21.9	4600	4183	3489.3	4.24	202.75	7.95
H081	19.5	3900	4443	2958.3	2.20	202.75	8.13
H083	19.0	5900	5529	4475.4	3.68	282.00	7.83
H086	17.0	3200	3052	2427.3	1.76	166.00	7.70
H093	19.8	33200	3117	2427.3	1.43	180.75	7.90
H094	21.5	6100	5559	4627.1	1.86	257.00	7.95
H096	18.6	5600	4872	4247.8	3.67	223.75	7.93
H103	23.0	5900	5291	4475.4	4.43	299.25	7.86
H107	22.4	5000	4433	3792.7	4.43	215.00	8.14
H110	20.8	3300	3206	2503.2	1.77	183.25	7.57

Nous remarquons que dans tous les puits ( échantillons ) le PH est situé dans la norme maximale est acceptable .Le résidu sec est généralement supérieur à la concentration maximale .

**Tableau n°III.5 : Les Normes Applicables Aux Eaux Destinées à L'Alimentation Humaine , selon (OMS)**

SUBSTANCE	CONCERTATION MAXIMALE ACCEPTABLE (mg/l)	CONCERTATION MAXIMALE ADMISSIBLE (mg/l)
Résidu SEC	500	1500
P.H	7 à 8.5	6.5 à 9.2

La potabilité chimique de l'eau peut également être évaluée par la dureté ou titre hydrométrique qui correspond à la somme des concentrations en calcium et Magnésium .

$$HT = Ca^{++} + Mg^{++} \text{ (Meg / l )}$$

$$\text{Delta Ht} = (Ca^{++} + Mg^{++}) \times 5^{(°f)} .$$

**Tableau n° III.6:Potabilité en fonction de dureté de l'eau[A.N.R.H,1995]**

HT °F	0 - 7	7 - 22	22 - 32	32 - 54	54
Dureté d'eau	Douce	modérément douce	assez douce	dure	très dure

La conductivité traduit le degré de minéralisation d'une eau elle augmente en fonction de la matière en suspension si cette dernière est grande alors la première augmente et l'inverse est juste .

D'après les mesures effectuées sur le terrain , nous remarquons que la conductivité oscille entre 2700 Us/an et 10300 Us/an avec des valeurs exceptionnelles , égale à 1800 Us/an enregistré au puits 78 et 17400 Us/an au puits HO1.

### III.2.3 Etude comparative pour le résidu sec entre 1993 et 1994

Pour mieux suivre les variations du taux de résidu sec (R.S) dans le temps, nous allons procéder à une comparaison entre des résultats obtenus en 1993 et d'autres obtenus en 1994 dans les régions Nord et Sud du Souf.

**Tableau n°III.7: Tableau Récapitulatif des Résultats d'Analyse**  
[A.N.R.H,1995]

SITUATION GEOMETRIQUE	N° DU PUIT	R.S EN 1993 (g/l)	R.S EN 1994 (g/l)
SUD ET SUD-EST	H03	5291	5661
	H26	3100	3278
	H11	3200	3453
NORD ET NORD-OUEST	H56	4184	4104
	H85	4443	3204
	H28	5529	3783

Nous constatons que le taux des ressources des résidus secs enregistrés en 1993 est beaucoup plus importants que celui enregistrés en 1994 dans les puits de la région Nord et Nord Ouest, donc la salinité des eaux de la nappe phréatique était beaucoup plus changée en 1993 qu'en 1994.

Il est à noter que la région d'implantation des puits considérés n'est pas affectée, par une persistance continue du phénomène de remontée.

Dans la région du Nord et Nord Ouest où le phénomène de remontée persiste, nous avons constaté qu'il y a, une augmentation alimentée du taux de salinité en 1994 par rapport aux mesures de 1993.

Cette augmentation progressive en salinité ne peut être expliquée que par l'effet de pompage accompagné d'une évaporation intense sous l'effet de la température (période basses eaux) et surtout que la zone Nord est une zone de collecte des eaux (absence d'exécutoire), par conséquent il y'a eu

transformation de cette dernière à un marécageux ; où la géophysique nous a confirmé que la profondeur du substratum de la nappe en question tend à s'émerger en surface dans la partie Nord du Souf par fois les 50 m par rapport à la surface .

### **III.2.4 Interprétation des cartes d'égal résidu-Sec de la nappe phréatique**

#### **1) carte d'égal Résidu-Sec de 1993**

La minéralisation sur cette carte est représentée par des valeurs très élevées qui varient entre 2500 et 8000 mg/l la minéralisation la plus faible est égale à 2361 mg/l située au Nord - Est d'El-Ogla au puits H76 , par contre la plus élevée est égale à 8851 mg/l situé au Sud Est de Foulia au puits H03 .

En général nous constatons que la minéralisation augmente du Nord-Est vers le Nord-Ouest qui semble être une zone de collecte des eaux chargées (fig III.3 )

#### **2)- Carte d'Egal résidu-sec de 1994 ( basses eaux ) (figure n°III.4)**

La carte d'isorésidu-sec des eaux de la nappe en question montre clairement une augmentation progressive de celui-ci le long de la direction d'écoulement : ( Sud-Est , Nord-Ouest ). Cette carte a fait sortir les localités suivantes :

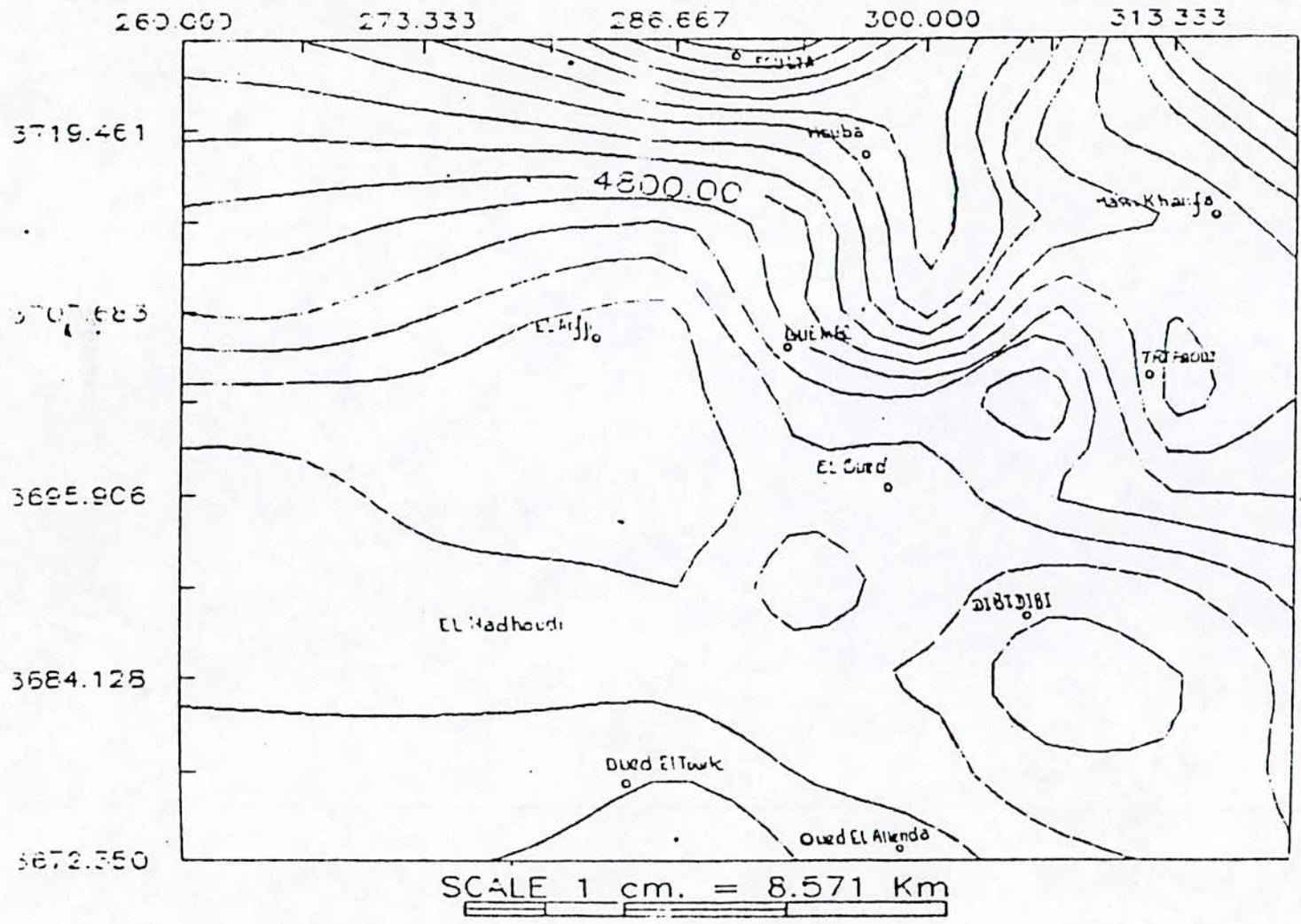
- Une zone Faiblement a moyennement minéralisée ( moins de 3 g/l ) au Sud de Ouermes , de Dirmiri et d'El Guedachi .
- Une zone à très forte minéralisation supérieur a 4 g/l , située principalement au Nord de l'axe menant à El-Arfdji , Sehine , Hassi Khalifa .

La faible salinité affectant la première zone correspond aux infiltrations récente donc il s'est produit une dilution , où à l'absence de niveau gypseux au sein des formations sableuses de l'horizon de la nappe phréatique ( voir coupe géologique ).

### **III.2.5 Les Caractéristiques chimiques des eaux de la nappe phréatique**

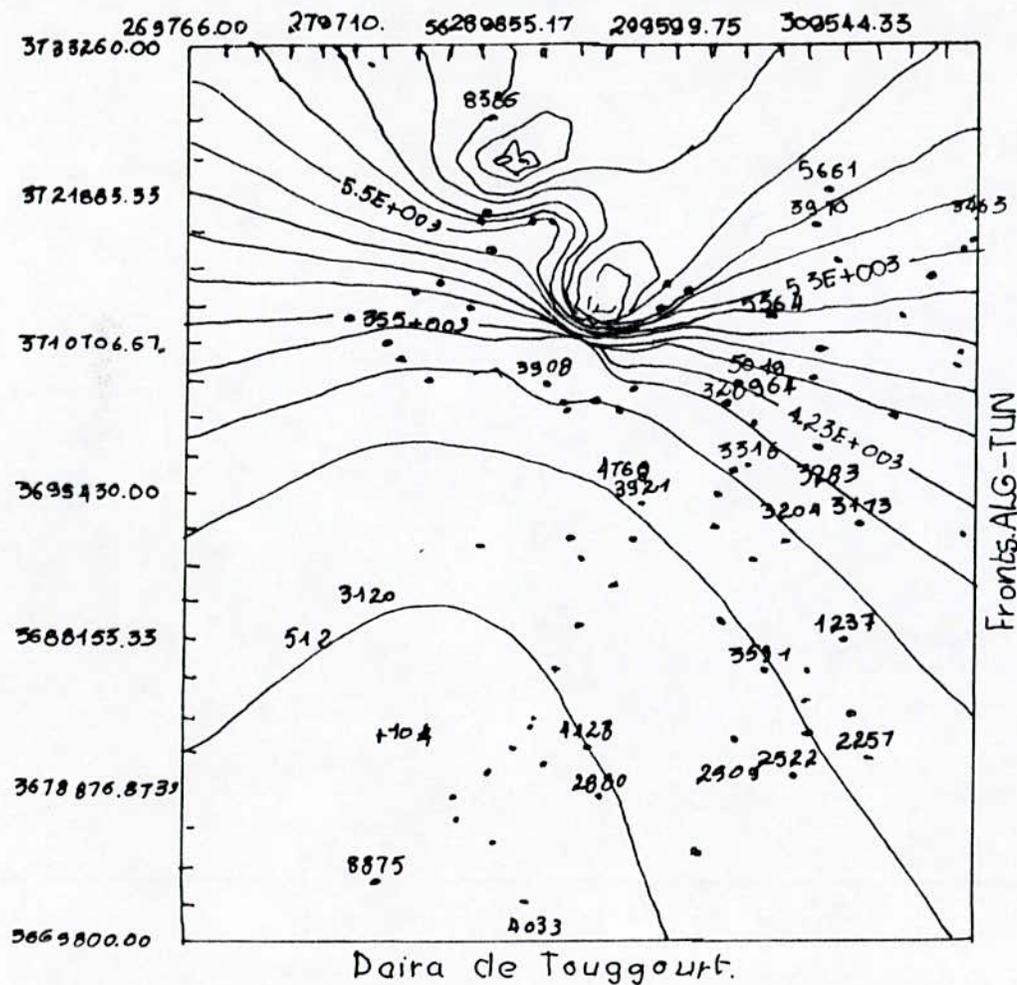
Le dosage des éléments majeurs des échantillons prélevés lors de la campagne effectué en 1993 a donnée les résultats qui son reportés sur le

FIGURE III.3 CARTE HYDROCHIMIQUE (Egal Residu Sec)



CARTE DRESSEE PAR:  
A.N.F.H OUARGLA  
(1993)

Figure 4 CARTE HYDROCHIMIQUE DE LA NAPPE PHREATIQUE DU SOUF



Carte d'egales Residu-Secs de la nappe phreatiq  
 du Souf (Periode Basses eaux 1994) ainsi aux  
 les points de prelevements des chantillons d'eau.

SCALE 1 cm = 9666 km

tableau ci-dessous , à fin de suivre l'évolution des éléments en fonction du temps nous avons procédé à une comparaison entre les résultats d'analyse effectués en 1993 et ceux de 1996 , concernent trois puits seulement H107 , H98 , H10 ainsi que les eaux de la station de chaînage (station 10) représente de lieu d'accumulation des eaux drainées qui sont généralement très chargées de sel .

Nous constatons de façon générale que les taux de cation a subie une augmentation dans les trois dernières années . Par contre on remarque une légère augmentation , mais ils tendent vers une stabilité entre les deux horizons considérés .

#### • Classification des eaux sur diagramme de PIPER

Cette classification est basée sur la représentation des quantités en réaction en pourcentage . calculés par rapport à la concentration des ions de même signe.

Elle nous permet d'avoir une idée sur les faciès chimique des eaux de la région du SOUF .

C'est ainsi que nous avons pris des échantillons des puits suivants ( H95 ,H 107 , H110 ) et un autre de la station de drainage (station 10) et par la suite nous avons établi un diagramme PIPER pour la nappe phréatique , qui nous a donné les résultats suivants (figure n°III.5)

- Le puits H98 , contient une eau hyperchlorurée Ca sulfatée Ca (anormal)

- Le puits H107 , contient une eau hyperchlorurée Ca sulfurée Ca (anormal )

- Le puits H110 , contient une eau hyperchlorurée Ca sulfurée Ca (anormal )

- Station 10 , contient une eau hyper chlorurée Na (normal )

#### III.2.6 Interprétation du diagramme de schooler -Berkaloff(voir annexe n°II )

# DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

d'après PIPER (US Geological Survey)

## LEGENDE

- eau du puit H110
- × eau du puit H107
- eau du puit H98
- eau de la station 10

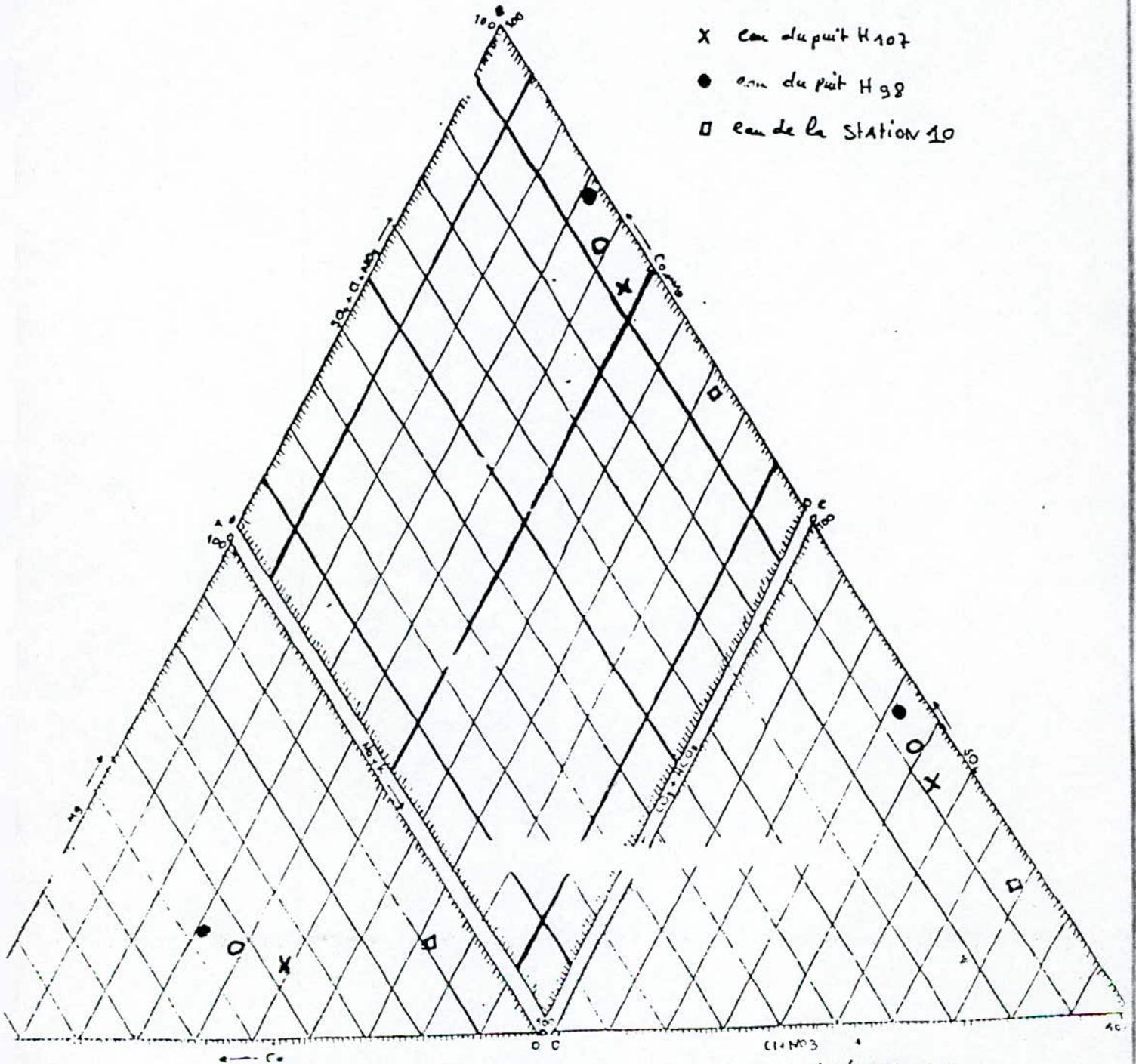


FIG. N° 101 - Diagramme de PIPER DES EAUX DE LA NAPPE  
phréatique de Cued Souf.

Le diagramme de schoeller nous aide à classer la potabilité de l'eau en fonction du rapport des éléments entre eux .

### III.2.7 Teneur Admissible

La qualité d'une eau est fonction de ses caractéristiques physico-chimiques

Selon l'O.M.S les normes sont les suivantes :

**Tableau n°III.9 :Substances chimiques influants sur la potabilité de l'eau(O.M.S)[A.N.R.H,1995]**

Substance	Concentration maximale acceptable (mg/l)	Concentration maximale admissible (mg/l)
Ca <sup>++</sup>	15	200
Mg <sup>++</sup>	50	150
So <sub>4</sub> <sup>-</sup>	200	400
Cl <sup>-</sup>	200	600
No <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50	100

Selon Rodier (1979) la concentration maximale acceptable se limite à partir de la quelle la qualité d'une eau est diminuée et peut provoquer chez le consommateur une certaine réticences tolérées ,des teneurs supérieurs peuvent être dangereuse pour la santé.

D'après les résultats d'analyses chimiques qui sont mentionner sur le tableau n°III.8 la concentration maximale admissible en So<sub>4</sub><sup>-</sup> et Ca<sup>++</sup> est trop élevée (plus de 100% pour les deux éléments ),par contre pour Cl<sup>-</sup> , No<sub>3</sub><sup>-</sup> et Mg<sup>++</sup> elle est respectivement de 37,33% et 11% .

On remarque qu'il y a une concentration eb sulfate (So<sub>4</sub><sup>-</sup>) et en calcium (Ca<sup>++</sup>) qui est supérieure à la concentration maximale admissible , ce qui veut dire que les eaux de la nappe phréatique du Souf ne sont pas potable .

### III.2.8 l'Aptitude des eaux de la nappe phréatique pour l'irrigation

La qualité d'eau d'irrigation est déterminée par la concentration et la composition des sels dissous dans l'eau . les principaux paramètres qui déterminent la qualité d'eau d'irrigation sont :

- \*la concentration totale de sel soluble et dissous dans l'eau ;
- \* la concentration réelle de  $\text{Na}^{++}$  par rapport aux autres cations ;
- \* la concentration des éléments toxiques ;
- \*dans certains cas la concentration de  $2\text{Co}_3$  par rapport au Co et Mg .

#### III.2.9.1 Détermination de la qualité d'eau

##### a) En utilisant la conductivité ( risques de salinité )

la concentration des sels dans l'eau peut être déterminée en terme de conductivité électrique , donc l'eau d'irrigation peut être classer comme suite :

- \* si la conductivité est inférieure à 250US/CM l'eau ne présente aucun risque ;
- \* si la conductivité varie entre 250 et 750 US/CM l'eau peut être utilisée pour l'irrigation , mais avec des précaution pour certaines cultures sensibles .
- \* si la conductivité varie entre 750 et 2250 US/CM l'eau ne peut être utilisée que s'il y a un bon drainage ;
- \* si la conductivité est supérieure à 2250US/CM l'eau est considérée impropre à l'irrigation .

N.B:la conductivité électrique mesurée sur place à El Oued avait donné des résultats qui oscillent entre 2700 et 10300US/CM,ce qui nous mène que cette eau est impropre pour l'irrigation .

##### b) En utilisant l'indice du taux d'absorption de $\text{Na}^+$ (SAR) (risque d'alcalination)

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

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / ((\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2)^{1/2}$$

S: Sodium;

A: Adsorption;

R: Relation.

$\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  représentent les concentration en mg/l les valeurs de SAR ont été calculé en fonction des données du tableau n°III.8 .

On remarque que 25% des échantillons n'ont pu être positionnés du fait de leurs teneur élevée en sel (la conductivité est supérieure à 5000 US/CM) et 90% des échantillons ayant un SAR inférieur à 10 , présente un risque d'alcalination du sol .

### III.2.9.2 Relation entre la salinité et la piézométrie

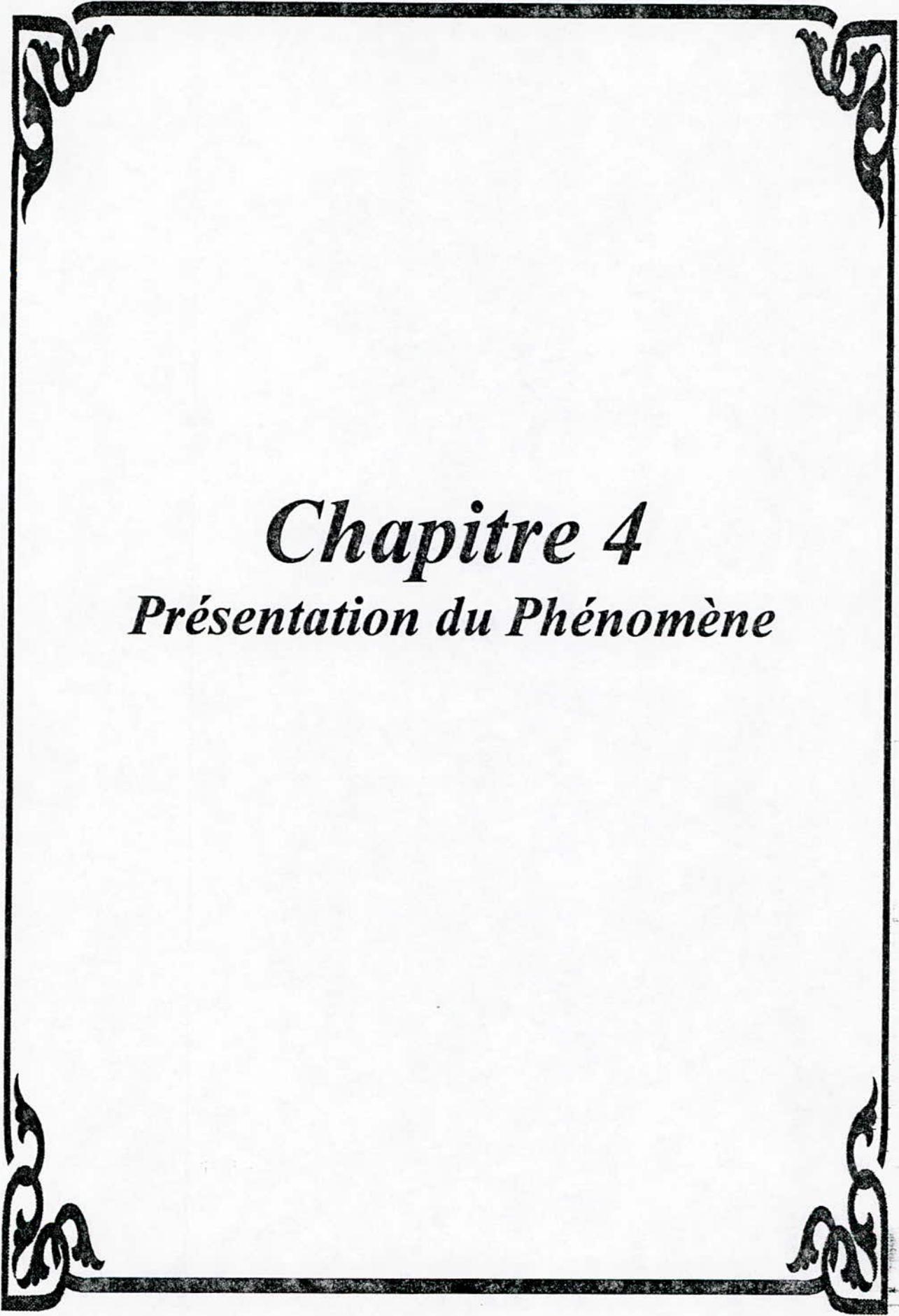
La figure n°III.5 nous montre la relation entre le taux de salinité des eaux de la nappe phréatique et la piézométrie ; cette dernière nous révèle que la ou les zones sont affectées d'une eau ayant un résidu sec important montre que le problème de remontée est bien visible (cas du Nord de Guemar).

## Conclusion

la charge chimique de la nappe phréatique semble augmenter en fonction du temps .

Généralement les éléments rencontrés sont d'origine géologique , autrement dit, ces sels sont libérés par la roche mère qui libère les minéraux riches en sodium, ce type de salinisation se développe dans les dépressions soumises à un climat évaporant .

Nous avons remarqué également qu'il y a une relation claire entre la salinité et la piézométrie, car nous constatons que la salinité s'accroît en fonction du sens d'écoulement de la nappe , ce qui nous laisse à dire que les régions du Nord d'El oued sont plus menacées que ceux du sud . La classe des eaux en question à montrer quelles sont non potables et impropre pour l'irrigation . Il faut noter enfin , que la remontée des eaux de la nappe phréatique , peut détenir toutes les surfaces agricoles utiles (SAU) à cause de la charge chimique élevée de ces eaux .



*Chapitre 4*  
*Présentation du Phénomène*

## **IV PRESENTATION DU PHENOMENE**

### **IV.1 Principales Causes de la remontée des eaux dans le Souf**

#### **IV.1.1 Introduction**

La nappe phréatique du Souf subit une remontée progressive des eaux provoquée par plusieurs facteurs .

L'apport en eau alimentant cette nappe devient de plus en plus important et entraîne par conséquent l'inondation de nombreux " Ghoutts" et dépressions . A ce jour on dénombre plus de 500 Ghoutts touchés [ D.S.A EL Oued,1994]Les premières apparitions de ce phénomène remontent à 1969 et continuent à ce jour . Cette situation a entraîné une baisse considérable du rendement des palmiers puis leur dépérissement progressif . Afin de régler le problème des eaux résiduaires , les habitants de la région utilisent des fosses septiques , ainsi ils participent involontairement à la destruction de leur environnement .

Il est important de noter que l'équilibre naturel qui existait , il y a plusieurs années a été détruit à cause de l'explosion démographique d'une part et d'un développement anarchique de l'habitat d'autre part .

#### **IV.1.2 Etat du réseau d'eau potable d'El Oued 1989**

Lors de la visite de Mr P.Giersch "Ingénieur diplômé de l'Université des Travaux Ruraux de Strasbourg",il avait constaté que le fonctionnement du réseau d'alimentation en eau potable n'a pu être explicitement formalisé par les responsables locaux .Il n'existait pas de schéma fonctionnel permettant d'avoir une vue d'ensemble et permettant la détection rapide d'anomalies permanentes ou occasionnelles dans la distribution .

#### **\* Production**

L'état récapitulatif des forages situés dans la commune d'El Oued montre que entre 1956 et1989, 15 forages ont été réalisés. Les forages du Pontien

produisent 175 l/s et sont exploités par pompage. Les forages de l'Albien produisent en Artésien 430 l/s d'eau à une température avoisinant 70 °C .

La production disponible est ainsi de l'ordre de 52 000 m<sup>3</sup>/j qui semble être entièrement mobilisée. On distribue ,pertes et usages publics compris ,environ 700 l/ hab/jour. Notons que pour des villes européennes de même taille la consommation spécifique est de 200 à 250 l/ hab/jour seulement.

#### **\* Stockage**

Le projet initial prévoit 10.000 m<sup>3</sup> de stockage répartis en 6 forages. Compte tenu du débit de production disponible ,ce volume est confortable . La hiérarchisation entre les différents réservoirs , la composition de leurs équipements et des types d'asservissement manuel ou automatique existants n'ont pu nous être expliqué . Aucun document cohérent n'a été produit .

#### **\* Réseau de distribution**

Le réseau de distribution comprend des canalisations de divers diamètres à partir de DN 500mm . Ces tuyaux sont en amiante ciment et en polyéthylène . Aucun plan d'ensemble cohérent et complet n'a été produit .

Les branchements privés sont réalisés directement par les particuliers . Le matériau choisi étant généralement le polyéthylène . Le système de piquage sur le réseau public n'est pas défini par la collectivité . Un tour au marché nous a permis d'observer une offre importante de colliers de prise de fabrication artisanale .

Aucun robinet d'arrêt n'est disposé au droit des piquages . La canalisation est sans doute choisie indépendamment de sa résistance à la pression de service . Il ne faut donc pas s'étonner de constater 15 éclatements du réseau par jour , généralement sur des branchements particuliers . La perte journalière due à ces éclatements peut être évaluée à environ 2000 m<sup>3</sup> d'eau .

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

On peut noter encore l'absence de compteurs sur les branchements particuliers et des compteurs généraux sur les réseaux, par exemple aux sorties des réservoirs.

Toutes les distributions sans compteurs portent en elles le risque de consommations excessives. A El Oued nous avons pu observer que l'arrosage des palmiers publics et privés par exemple se faisait sans économie et sans respect de la dose utile, le surplus percolant en pure perte dans le sous-sol

#### **\* Etat du réseau d'assainissement d'El Oued**

De très lourds travaux d'assainissement sont engagés à El Oued depuis 1981 avec une faible efficacité.

- Une station de pompage avec sa conduite de refoulement en 2x DN 400mm sur 4 Km de long.

- 55.000 ml de collecteurs eaux usées posés sans regards et sans branchements.

Il reste à réaliser sur la base du projet actuel 30.000 ml de collecteurs publics, 8 stations de pompage, 9 équipements électromécaniques des stations et tous les branchements particuliers.

#### **IV.1.3 Pourquoi alors la nappe remonte-t-elle? [A.N.R.H,1995]**

##### **Causes du phénomène**

Il existe plusieurs causes de la remontée de la nappe phréatique et nous notons essentiellement :

##### **3.1 Pluviométrie exceptionnelle**

Généralement les précipitations dans la région du Souf ont lieu de Novembre à Février, elles sont le plus souvent, fines modérées et de courte durée. Elles peuvent parfois devenir torrentielles et engendrer des dégâts

importants tels que ceux de l'année 1969 , qui ont touché les communes de Hassi-Khalifa et Magrane , où environ 150 ha ont été inondés . De fortes pluies ont été enregistrées à nouveau dans la région en 1988 .

### 3.2 Hypothèse N° 1

Transfert naturel ou artificiel direct entre nappes profondes et nappes phréatiques .

L'apport des eaux à partir des nappes profondes contribue énormément à la remontée de la nappe phréatique .

- Soit naturellement (établissement de circulations d'eau par suite de fissuration dans le sol ) .
- Soit par l'intermédiaire de malfaçons lors de la créations de quelques forages de la région . En effet , un important volume sur les 1600 m<sup>3</sup> pompés quotidiennement viennent s'ajouter à celui de la nappe phréatique .

Les conduites vétustes accroissent le débit , ainsi que les rejets qui sont équivalents à 80% du débit de consommation. L'absence de réseau d'assainissement fait que le taux d'alimentation de la nappe phréatique augmente .

Enfin, l'évolution de l'agriculture dans la région a motivé la réalisation d'autres forages destinés à l'irrigation comme celui de Sahan-Berry qui pompe un débit de 250l/s des eaux de la nappe Albienne et participe ainsi à une suralimentation de la nappe phréatique.

### 3.3 Hypothèse N° 2

Modifications des caractéristiques hydrodynamiques et géologiques de la nappe. Lors de fortes crues un Oued modifie ses caractéristiques géométriques ou hydraulique ( érosion d'une part et dépôt d'autre part ) . La nappe phréatique (Oued souterrain du Souf ) peut elle aussi modifier les caractéristiques des

sols traversés ( migration fines , colmatage de certaines couches ) entraînant la remontée d'un coté et éventuellement une baisse de l'autre .

### 3.4 Plus de rejets et moins de prélèvements

C'est la cause la plus importante du phénomène de la remontée car l'augmentation des rejets et la constance des prélèvements concrétise un déséquilibre naturel. D'après la Figure n°IV.2 , les rejets atteignaient les 3200 l/s en 1992 (doter à 80 % des prélèvements ) .

### 3.5 L'Absence d'un réseau d'assainissement

L'absence du réseau d'assainissement oblige les habitants à utiliser les fosses septiques et les puits abandonnés pour l'assainissement et tous ceci influe sur le réservoir de la nappe phréatique et détériore d'avantage la qualité de l'eau .

### 3.6 L'Absence d'exutoire

L'évacuation des eaux usées se fait par fosses septiques et aussi par un réseau d'assainissement ( environ 30 % de la ville d'El Oued ) .

La zone du Souf n'étant pas pourvue d'un exutoire. Les eaux usées n'ont qu'un seul chemin, traverser le sable pour atteindre la nappe phréatique .

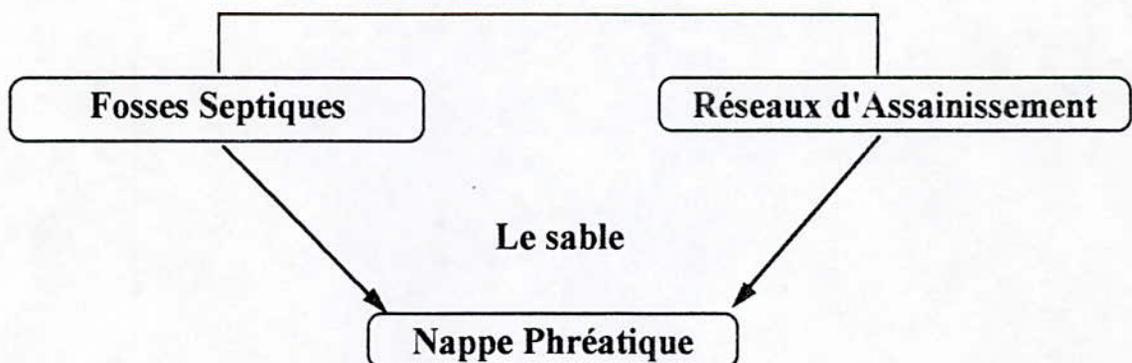
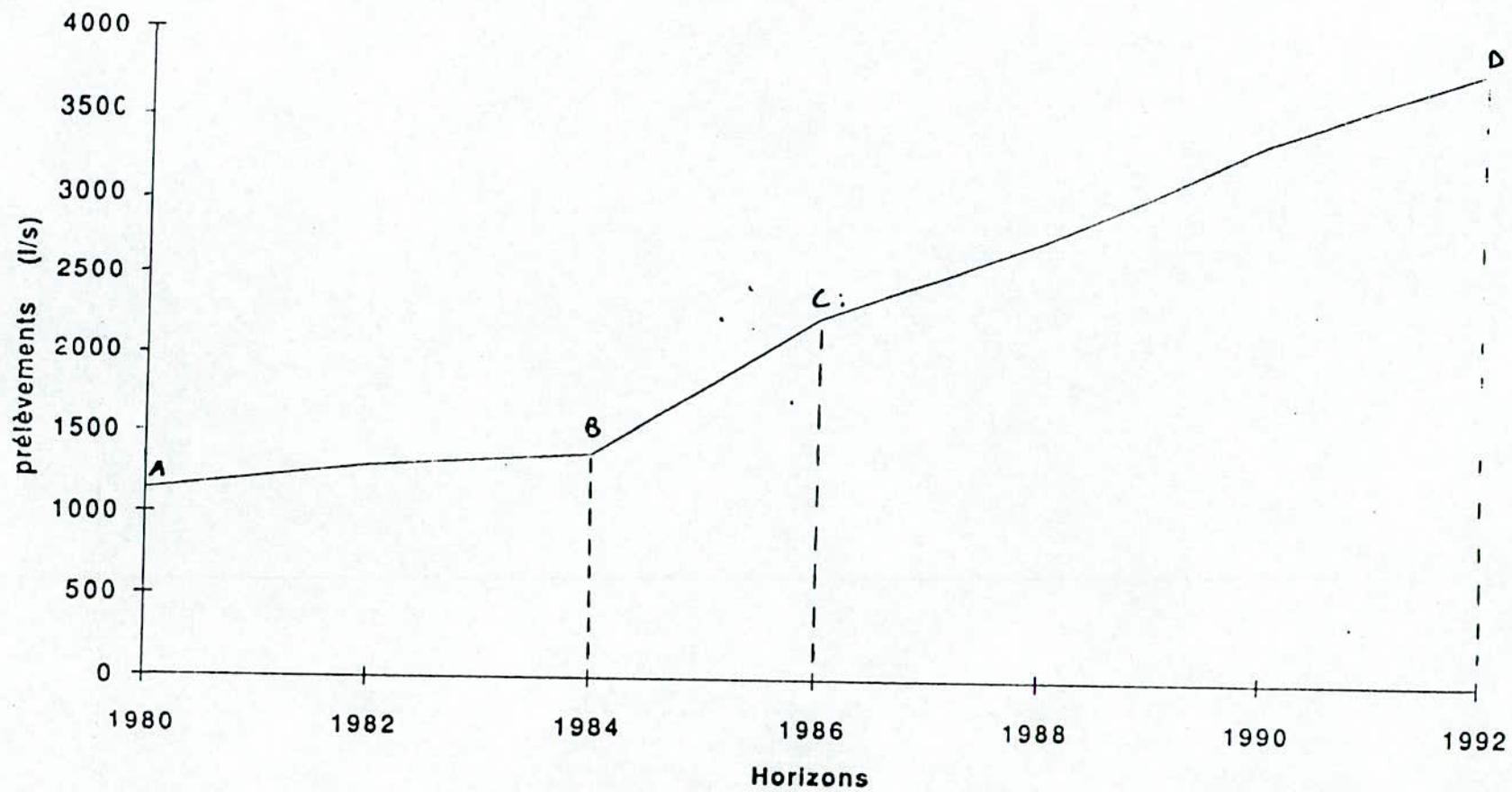


FIG. 12 Evolution des prélèvements dans la zone du souf



#### IV.1.4 Interprétation de la Figure n°IV.2

Cette figure représente les différentes étapes de l'évolution des prélèvements dans la zone du Souf . Nous pouvons constater que depuis 1980 les prélèvements commençaient à s'accroître pour atteindre au bout de (4 ) années les 1400 l/s . Cela est due principalement à la réalisation de 6 forages d'A E P plus un autre destiné à l'irrigation . Le débit total de l'ensemble des forages ajoutés est de 239 l/s . Cette évolution est représentée sur la figure n°III par le segment de droite (A B ) .

Après 1984 le taux des prélèvements ont augmenté d'une façon très remarquable , elle atteint les 2400 l/s . Après deux années seulement comme l'indique le segment de droite (B C ) .

Cette augmentation est due plus précisément à la réalisation de 7 forages destinés à l'AEP plus un autre pour l'irrigation . L'un de ceux de l'AEP a été capté de l'Albien , leurs débit total se rapproché de 1000 l/s . A la suite de la réalisation de 34 forages dans les 6 années qui viennent après , le taux des prélèvements a évolué jusqu'à atteindre près de 4000 l/s en 1992. 27 de ces derniers ont été destinés pour l'AEP dont 2 ont été captés de l'Albien , les sept (7) autres ont été destinés à l'irrigation .

En fin il est à noter, que cette évolution des prélèvements aboutie obligatoirement à l'augmentation des rejets , ce qui influe négativement sur l'équilibre de la nappe phréatique .

## **IV-2 PRESENTATION DU PHENOMENE**

### **IV.2.1 Introduction**

La recherche des solutions au phénomène de la remontée des eaux passe, obligatoirement, par l'identification des causes qui l'ont entraîné.

Dans ce présent sous-chapitre, nous allons donner les éléments nécessaires pour mieux comprendre ce phénomène et cela en commençant par l'historique de la remontée de la nappe phréatique, en passant par la chronologie hydraulique et l'évolution de cette remontée tout en expliquant ses causes ainsi que les dégâts causés qu'elle engendre.

Durant la dernière décennie, il a été constaté une remontée progressive de la nappe phréatique ayant pour conséquences l'inondation des cratères et des dépressions provoquant ainsi des problèmes d'hygiène et d'écologie.

### **IV.2.2 Historique et Présentation du phénomène de la remontée**

Les premières mesures ont porté sur l'observation de quelques puits existants. On constata ainsi que le niveau de la nappe présente des fluctuations d'amplitude variable suivant le lieu, comprise entre 10 et 40 cm. D'une année sur l'autre, on remarque une baisse de certains puits, baisse faible et non générale.

En regardant de plus près la forme de la nappe au voisinage d'un grand jardin d'Ouzitène, on observa que, contrairement à ce que l'on aurait pu penser, le niveau de l'eau dans le jardin apparaissait plus élevé qu'au voisinage. Mais ces mesures étaient sommaires et perturbées par des puisages qu'on ne pouvait songer à interdire.

Une station expérimentale fonctionne à EL Oued depuis le début de l'année 1953 .On dispose donc pour la plupart des phénomènes observés d'une série quasi continue de mesures .

Le présent chapitre a pour objet de souligner le caractère imprévu de certaines des conclusions auxquelles nous sommes ainsi parvenus et d'essayer d'en comprendre les raisons à la lumière de la théorie, nouvelles pour certains , de la succion qui tend de plus en plus à supplanter celle de la capillarité .

#### **IV.2.3 Influences des caractéristiques hydrologiques d'EL Oued à la remontée de la nappe**

Milieu essentiellement perméable, le sable contenant la nappe phréatique du Souf semble de voir être le siège d'échanges intenses avec l'atmosphère. Coefficient d'infiltration des pluies élevé , taux d'évaporation intense, telles sont les caractéristiques hydrologiques qu'on serait tenté d'attribuer à cette région .

Les fluctuations périodiques du niveau de la nappe confirment à première vue cette impression: maximum vers le mois de Mars, ce niveau s'abaisse progressivement jusqu'au mois de Septembre , précisément pendant la période où l'évaporation est la plus intense, puis il s'élève à nouveau de Septembre à Mars sans qu'on connaisse d'ailleurs l'alimentation responsable de cette remontée dont la régularité exclut une origine purement pluviale .

L'amplitude du phénomène fait penser que la nappe bénéficie , pendant La période relativement froide et humide d'abondantes condensations compensant au moins partiellement l'hiver, les pertes par évaporation pendant l'été .

L'observation classique des sahariens suivant laquelle l'humidité du sable varie avec l'heure et la saison vient d'ailleurs confirmer cette hypothèse selon laquelle le sable peut absorber de l'eau en l'absence de toute pluie .

Ce qui précède explique pourquoi les mesures faites à El Oued ont été nettement orientées par le souci de mettre en évidence et de mesurer , ces compensations éventuelles et par celui d'apprécier dans quelle mesure elles participent à l'alimentation de la nappe .

Les idées préconçues suivantes :

- a) - Une partie notable des pluies devait être absorbée par le sable, puis precoler lentement par gravité jusqu'à la nappe .
- b) - à ce phénomène occasionnel et irrégulier devait s'ajouter un phénomène périodique: alternances d'évaporation et de condensation.
- c) - Les fluctuations périodiques de la nappe donnaient une idée du bilan de ces divers échanges qui restaient à mesurer avec plus de précision pour mieux prévoir l'évolution future de la nappe et définir les règles de son exploitation rationnelle .

#### **IV.2.4 Influence des Caractéristiques hydrogéologiques**

Un premier démenti à ces conceptions nous fut précisément donné par l'observation du bac de 2m de profondeur . En communication permanent avec l'atmosphère, celui-ci se trouva soumis dès la première année de sa mise en service à deux averses de 10 et 23.5 mm en Mars 1953 et une averse de 45 mm en Novembre 1953 provoquant en effet des remontées du niveau de ce bac d'une ampleur correspondant à un coefficient d'infiltration presque égale à l'unité, compte tenu de porosité du sable .

Notons l'averse de 45 mm survenue en le 20 Octobre de la même année n'interrompt pas la courbe généralement descendante manifestée par le niveau de ce bac pendant le courant de ce mois .

Depuis l'averse de 45 mm survenue en Novembre 1953 , la plus forte averse à El Oued n'a pas dépassé 13 mm ( en Novembre 1954) .

Aucune de ces nombreuses pluies , dont le total représente une chute d'eau de l'ordre de 150 mm n'a provoqué de discontinuité dans le niveau d'eau mesuré dans ce bac de 2m pourtant ouvert à l'air libre . Bien au contraire , ce niveau a suivi une courbe sinusoïdale régulière , parallèle à celle tracée par le niveau du bac de 2m recouvert d'une verrière que l'on observe simultanément .De plus , ces fluctuations sont en opposition de phase par rapport aux fluctuations de la nappe naturelle , c'est ainsi que le niveau d'eau dans les bacs de 2 m. Qu'ils soient couverts ou non d'une verrière , baisse régulièrement pendant l'automne et l'hiver et s'élève pendant le printemps et l'été .

Ainsi, contre toute attente, le niveau de la nappe artificielle crée dans le bac de 2m, à environ 1.5 m de profondeur sous le niveau du sol naturel, se trouve actuellement, 4 ans après la mise en service de ce bac, plus élevé qu'il n'était à l'origine alors qu'il n'a bénéficié d'aucune alimentation artificielle et que les seules pluies ayant en sur celui-ci un effet marquant sont celles , d'ailleurs exceptionnelles, survenues au cours de l'année 1953.

Si une nappe aussi proche de la surface du sol est soumise aux effets de l'évaporation , que penser pour la nappe située à 15 m de profondeurs , soit à une profondeur 10 fois plus grande? pour celle-ci , les échanges avec l'atmosphère , loin d'être un phénomène normale et prépondérant , doivent revêtir un caractère tout à fait exceptionnel .

Précisons qu'au contraire le comportement du bac de 1m de profondeur où la nappe artificielle est maintenue à niveau constant grâce à de fréquents apports d'eau manifeste une étroite dépendance entre cette nappe et l'atmosphère .

Il apparaît donc que , dans l'épaisseur de sable qui surmonte le niveau libre de la nappe , deux zones sont à distinguer qui suivent respectivement des régimes différents une zone superficielle dont l'épaisseur est de l'ordre de 50 cm est le siège d'échanges intenses avec l'atmosphère . Ces échanges , thermiques et hydrauliques , se manifestent par des fluctuations périodiques de la température et de la teneur en eau . C'est dans cette zone que les condensations sont localisées . Celles-ci se manifestent par des pointes de teneur en eau comprises entre 2 % et 5 % , aux environs d'une dizaine de centimètres de profondeurs , alors que vers 50 cm de profondeur la teneur en eau normale du sol naturel ne dépasse pas 1 % .

Au-dessous de cette zone superficielle , toute l'épaisseur de sable qui surmonte la nappe est indépendante des précipitations atmosphériques , sauf lorsque celles-ci revêtent le caractère de pluies torrentielles . Elle subit par contre l'effet des fluctuations thermiques saisonnières de l'atmosphère qui se manifestent principalement par des fluctuations périodiques de la température du sable et accessoirement par les fluctuations du niveau de la nappe .

Nous croyons en effet que ces fluctuations , loin de correspondre à la manifestation d'échanges périodiques avec l'atmosphère , sont seulement l'effet de la variation de la température de la masse de sable comprise entre le niveau libre de cette nappe et l'atmosphère .

En résumé , les observations faites à El Oued sont venues bouleverser les idées classiques selon lesquelles on s'apprêtait à les interpréter .

Celles-ci donnaient à penser que , dans la trachée d'une quinzaine de mètres d'épaisseur de sable non saturée située au - dessus du niveau de la nappe , seuls les quelques décimètres inférieurs, compris dans la hauteur d'ascension capillaire, étaient directement soumis à l'influence de cette nappe alors que tout le reste était sous l'influence prépondérante des phénomènes atmosphériques .

Bien au contraire , les mesures faites démontrent que seule une couche d'épaisseur limitée de l'ordre de 50 cm, se trouve sous l'influence des phénomènes atmosphériques tandis que tout le reste est sous l'influence prépondérante de la nappe .

#### **IV.2.5 Evolution des Prélèvements :**

Dans le passé, les habitants de Souf utilisaient uniquement les ressources offertes par la nappe phréatique , ceci est due en partie à la faible implantation humaine qui permettait l'utilisation des ressources existantes sans modification des phénomènes naturels .Le développement de l'exploitation, allait, par contre, au dix-neuvième siècle assisté à une sensible diminution du niveau de la nappe phréatique .

Deux causes principales ont entraîné l'abaissement de la nappe:

1- Une augmentation de la consommation , en relation avec l'extension des cultures ( palmiers et maraichères ) .

2- Une augmentation importante de la population 379.522 habitants en 1995. La baisse du niveau de la nappe phréatique a imposé le recours aux nappes

profondes telles que: l'Albien. Au dix-neuvième siècle on a foré des puits profonds ; c'est en 1956 que fut réalisé le premier forage exploitant les niveaux aquifères du Pontien supérieur dans le Souf. Les forts débits obtenus vont justifier la poursuite des forages dans la même nappe .

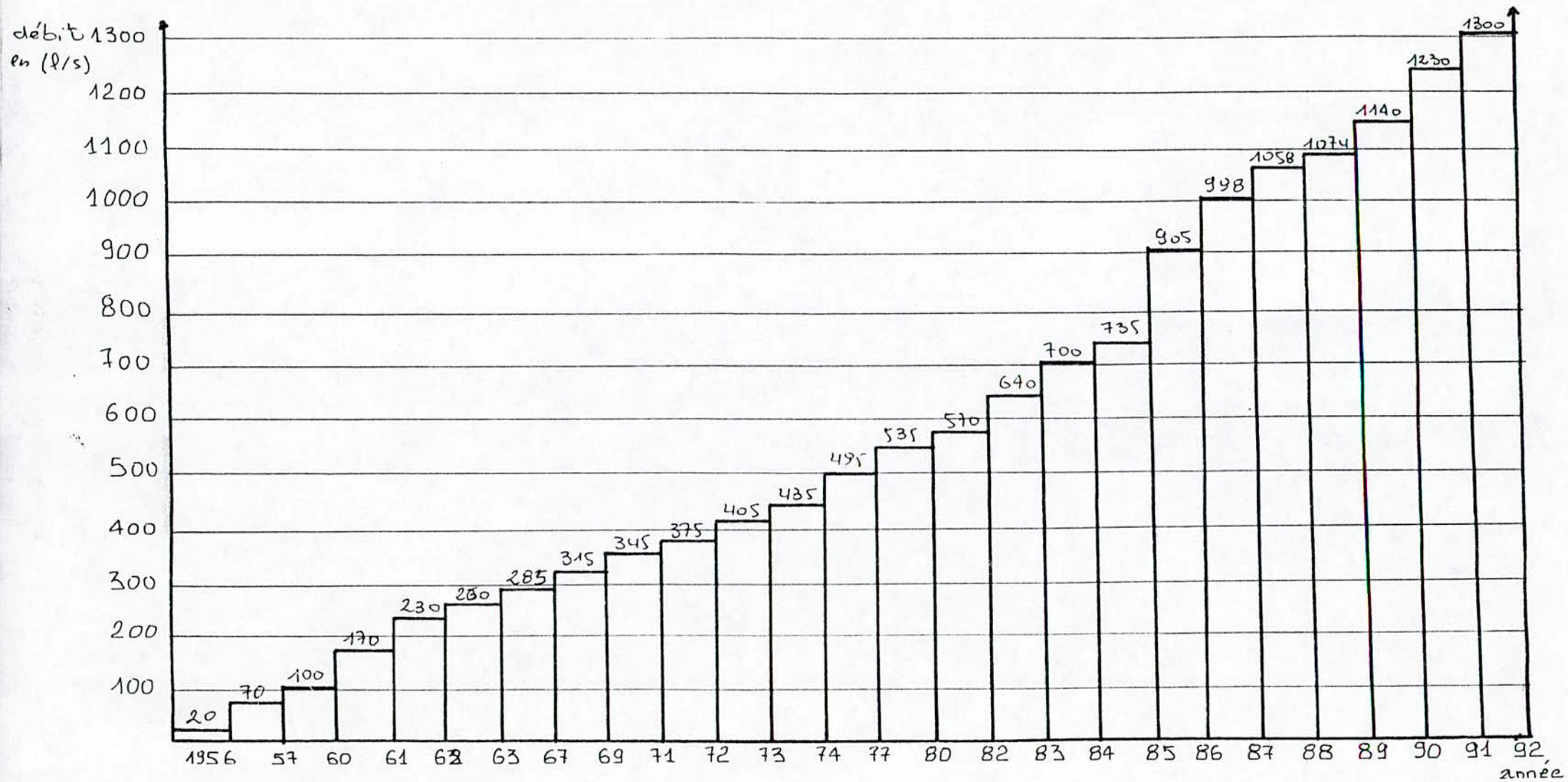
En 1986 , un forage captant la nappe Albienne fut exécuté, suivi de deux autres à El Oued (ville) et à Sahn-Berry avec un débit moyen de 200 l/s chacun. Ainsi, chaque année, un forage apparaît , soit pour l'irrigation d'un nouveau périmètre, soit pour l'approvisionnement en eaux potable. (Tableau n° IV-2 ).

**Tableau n° IV.1: Chronologie hydraulique de la zone du Souf [D.H.W,1995]**

Forage	Date de réalisation	Usage	Débit l/s	Observations
El Oued	1956	AFP	20	
Guemar Hobba 1	1957	AEI irrigation	20 30	
Akfadou 1	1960	AEP	30	
Magrane Kouinine1 Robbah 1	1961	AEP AEP Irrigation	30 30	
Sidi Aoune 1	1963	AEP	30	
Tiksebt 1	1967	AEP	25	
Akfadou 2	1969	Irrigation	30	pluies exceptionnelles ont été enregistrées, 150 ha envoyés à Magrane et à Hassi-Khalifa
Hobba 2	1971	Irrigation	30	
Sahane-Berry 1	1972	Irrigation	30	
Sahane-Berry 2 et 3	1973	AEP	30	
Debila centre	1974	AEP	30	
12 Forages dans le Souf	1977	9 AEP 3 Irrigation	20-40	
Mehri 1	1980	Irrigation	40	Remontée de la nappe aux environs de la ville d'El Oued
Réguiba	1982	AEP	35	
El-Houd Robbah 2	1983	AEP AEP	34 35	
Miha-Ouenssa OuedEl-allenda	1984	AEP AEP	30 30	
Mehri 2	1985	AEP	35	La remontée de la nappe à

				affecté les alentours de la ville
6 Forage :1Albien	1986	5 AEP 1 Irrigation	30-70 200-500	
6Forages:2Albiens	1987	3 AEP 3 Irrigation	20-50 230	
5 forages	1988	4 AEP 1 Irrigation	20-40	
6 forages	1989	5 AEP 1 Irrigation	4-12	
7 forages	1990	6 AEP 1 Irrigation	15-50	
S.El-Mellah Khobna	1991	Irrigation AEP	40 50	
8 forages	1992	5 AEP 3 Irrigation	20-50	Pratiquement toute la partie Sud est affectée par la remontée de la nappe

Figure n° IV.3:chronologie hydraulique de la zone du Souf



Fig<sup>n</sup> IV.3: Chronologie Hydraulique dans la zone du Souf.

#### IV.2.6 Evolution de la remontée :

La remontée de la nappe phréatique a commencé en 1969 . A partir des années quatre-vingt ; la remontée est devenue alarmante , au tour de la ville , puisque les eaux atteignaient quatre-vingt ( 80 cm ) de profondeur et beaucoup de constructions sont touchées par l'humidité .



Vue du palmeraie avec terre constamment humidifiée à l'Est de Guemar

#### IV.2.7 L'évolution spatiale et Temporelle des Superficies Endommagées

Le niveau de la remontée maximale , correspond à la zone de concentration des forages dans la dépression d'El Oued .

La périphérie d'El Oued a été affectée vers l'année 1986, les ( Ghoutts ) se trouvant tout autour de la ville ont été endommagés ce qui suppose que la

remontée continue toujours, la plupart des Ghoutts endommagés et abandonnés servent actuellement à d'autres usages (marché , stade,...etc).

#### **IV.2.8 Estimation des dégâts causes par la remontée de la nappe:**

La quantification des dégâts causés par la remontée de la nappe a été faite en fonction des données recueillies auprès des communes et de la DSA (Direction des Service Agricoles ) d'El Oued .



*Vue d'un grand lac au centre ville d'El Oued*

La superficie agricole utile endommagée a été déterminée à partir du nombre de palmiers affectés dans un « Ghoutt », sont plantés cent palmiers , la superficie d'un « Ghoutt » est estimée a 1ha .

Le nombre et la zone du Souf 222594 palmiers ont été endommagés .La superficie agricole utile ( SAU ) affectée est mentionnée dans le tableau n° IV .3

Vue des palmiers détruits avec des bambous à l'Est de Guémar.



Tableau n°IV.3 Récapitulatif des dégâts de la remontée[D.S.A d'El Oued ,1995]

Commune	Nombre de palmiers total	Nombre de palmiers affectés	% de palmiers affectés	Evaluation des pertes 500 DA par palmier
EL Oued	17.975	16.178	90	80.89.000
Guemar	72.300	10.400	14	5.200.000
Reguiba	11.700	5.000	04	2.500.000
Tagzout	43.000	6.000	14	3.000.000
Ourmes	28.000	0.000	/	0.000.000
Kouinine	20.400	9.604	47	4.802.500
Robbah	26.500	28.175	95	14.087.500
Nakhla	75.000	22.500	30	11.250.000
Beiadha	35.000	35.000	100	17.500.000
El Ogla	20.000	6.000	30	3.000.000
Miha Ouenssa	60.000	1.037	02	5.185.500
Debila	59.300	41.510	70	2.075.500

Hassani Abdelkerim	51.000	30.600	60	15.300.000
Hassi Kalifa	65.000	6.500	10	3.250.000
Trifaoui	59.750	4.128	07	2.091.000
Magrane	55.000	5.500	10	27.500.000
Sidi Aoune	42.600	3.408	08	17.040.000
			Total:	217.047.000

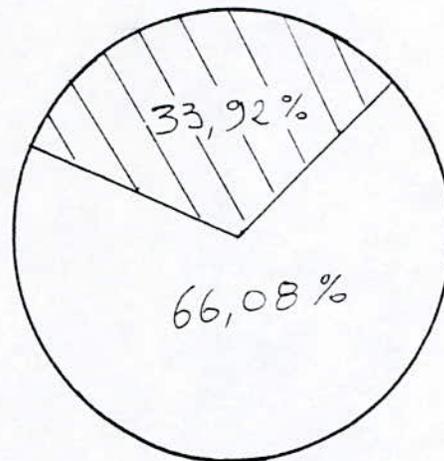


Figure n°IV.3: Représentatif des dégâts causés par la remontée des eaux

Vue des palmiers  
detruits à l'Est  
de Guémar



La superficie agricole utile ( SAU ) affectée est mentionnée dans le tableau suivant :

**Tableau n°IV.4** Recapitulatif des ( S A.U ) endommagée par la remontée[D.S.A,1995]

Commune	SAU total (ha)	SAU endommagée (ha)	Pourcentage
El Oued	180	162	90
Reguiba	1.170	150	13
Tagzout	430	60	14
Ourmas	280	/	/
Kouinine	204	96	47
Robbah	265	252	95
Nakhla	750	225	30
El-Bayadha	350	350	100
El-Ogla	200	60	30
Mih Ouenssa	600	10	02
Oued Allenda	35	/	/
Debila	593	415	70
Hassani Abdel Kerim	510	306	60
Hassi-Kalifa	650	65	10
Trifaoui	597	42	07
Magrane	550	55	10
Sidi Aoune	426	34	08
Guemar	723	104	14

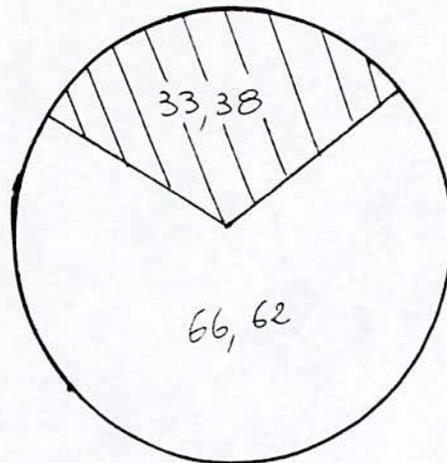


Figure n°IV.4:S.A.U endommagées par la remontée des eaux



Vue d'un grand lac dans le centre ville d'El Oued

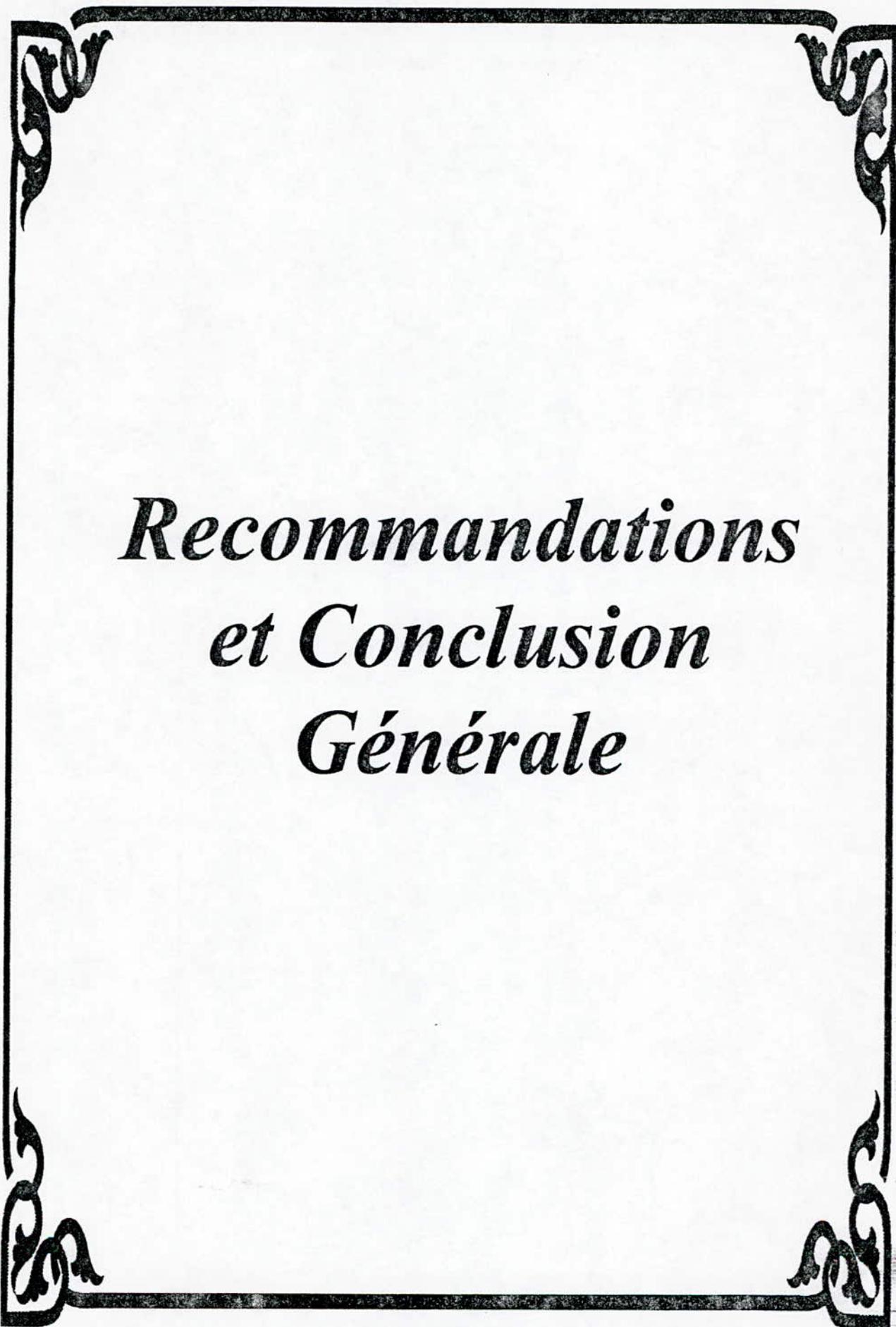
#### **IV.2.9 Communes Concernées:**

Les communes les plus touchées sont celles situées aux alentours et au Sud de la ville d'El Oued. Les communes d'El Oued , Beiadha et Robbah sont les plus affectées .

Les pourcentages de palmiers endommagés dans ces communes sont respectivement de l'ordre de 90 % , 100 % et 95 % .

Il faut noter qu'à ce niveau se concentrent le plus grand nombre de forages avec deux forages Albiens. La concentration de la population nécessite un grand nombre de forages pour l'AEP, c'est le cas d'El Oglâ , Nakhla et Mih-Ouenssa. En quelques années après l'installation des forages pour l'AEP , une remontée de la nappe a été observée au niveau de ces communes .

Plus au Nord , les dégâts enregistrés sont moindres .



*Recommandations  
et Conclusion  
Générale*

## RECOMMANDATIONS

Afin de mettre un terme à la remontée des eaux de la nappe phréatique du Souf, il est indispensable de prendre en considération les recommandations suivantes :

1. Amélioration du fonctionnement et de la gestion du réseau de production de stockage .
2. Réorganisation des pratiques d'intervention sur le réseau de distribution pour les extensions et les branchements particuliers .
3. Installation des compteurs adéquats (eau chaude et froide ) sur les branchements particuliers , sensibilisation des citoyens et révision des tarifs de l'eau à la hausse .
4. Afin d'établir la courbe de distribution journalière et de définir le coefficient de pointe, il est nécessaire d'installer à la sortie de chaque réservoir un compteur général .
5. La recherche périodique et systématique des fuites d'eau au niveau des conduites détériorées doit être entreprise .
6. Contrôle sévère et régulier du débit d'exploitation des forages destinés à l'AEP et l'irrigation .
7. Réalisation d'un réseau d'assainissement et ce , sous la base d'une étude soignée et détaillée . Prendre en compte l'ennemi mortel du réseau d'assainissement qui est la sable .
8. Introduction de nouvelles techniques d'irrigation (Goutte à goutte , aspersion , Capillarité... etc ) .
9. Bouchage impératif de vieux forages et particulièrement ceux non utilisables.
10. Bouchage systématique des forages pétroliers reconvertis en puits d'eau .
11. Mise en place d'une méthodologie rigoureuse de gestion des ressources en eau .

12. Mener des campagnes de sensibilisation des situées sur les conséquences que peut entraîner le gaspillage de l'eau ( Création d'une Association écologique locale ).
13. Plantation d'arbres résistants au climat aride et à forte évapotranspiration et permettant de lutter contre les eaux stagnantes tels que :
- L'EUCALYPTUS .
  - LE TAMARIS AFRICANA .
  - L'ACCACIA SIANOPHILA .
  - LE CASNARISA .
14. L'évacuation des eaux collectées vers une zone de rejet préalablement étudiée ( Chott Seial , chott Melghir ou Merouane ).
15. Installation de stations d'épurations .
16. Observation continue des fluctuations de la nappe étudiée ; par la mise en place de limnigraphes sur les piézomètres .
- Cette observation permettre de vérifier l'efficacité des recommandations après leur en application
17. Mener des campagnes de sensibilisation des citoyens (les agriculteurs des palmiers en particulier ) pour les solutions partielles appliquées actuellement a Ourmes concernant la méthode d'enfouissement des Ghoutts et l'irrigation et aussi la méthode de marcottage .

Vue des palmiers  
après l'application  
de la méthode  
d'enfouissement  
au village  
d'Ourmès



18. Nous proposons en fin , la collaboration des service de l'hydraulique et l'université pour le lancement d'une équipe de recherche pour l'élaboration d'une étude plus approfondie sur la nappe phréatique du Souf et l'élaboration aussi d'un modèle mathématique pour la gestion des ressources pour la nappe en question .



Vue du palmeraies touchées par la remontée  
de la nappe au village d'Ourmès

**Conclusion :**

Le phénomène de la remontée des eaux de la nappe phréatique , est apparu pour la première fois en 1969.

En 1980, Nous avons constatés qu'il y avait une remontée progressive de la nappe phréatique , qui est due a l'augmentation des rejets et la diminution des prélèvements a cause de l'extension des cultures ainsi qu'une augmentation importante de la population .

On peut dire que les causes du phénomène sont due principalement a l'absence de l'exécution naturelle dans le Souf , le transfert naturel ou artificiel direct ou indirect entre les nappes profondes et la nappe phréatique , et la modification des caractéristiques hydrodynamiques et géométriques de la nappe qui reste à vérifier .

## *Conclusion Générale*

La région du Souf , vit un contraste entre l'aridité extrême du climat et la permanence d'une immense nappe phréatique à peine séparée de l'atmosphère par une couche de sable peu épaisse . Cette région se situe au Nord -Est du Sahara septentrional ; elle est couverte d'innombrable dunes , elle couvre une superficie de 44586 Km<sup>2</sup> avec 379522 habitants .

Les formations géologiques changent d'un secteur à un autre , on trouve des formations Miopliocène qui affleurent dans une zone , dans d'autre elles sont recouverte par des dunes qui donnent naissance à un immense Erg .

Son climat de type Saharien , caractérisé par un été chaud et sec , dont la température peut atteindre les 47 °C , un hiver doux et un printemps dominé par des vents de sable .

D'après les coupes des sondage de forages réalisés dans la région , nous distinguons deux (2) types d'aquifères ; le premier libre correspondant au complexe terminal et l'autre captif qui est le continental intercalaire . Ces deux systèmes aquifères sont présents pratiquement sur toute l'étendue du Souf .

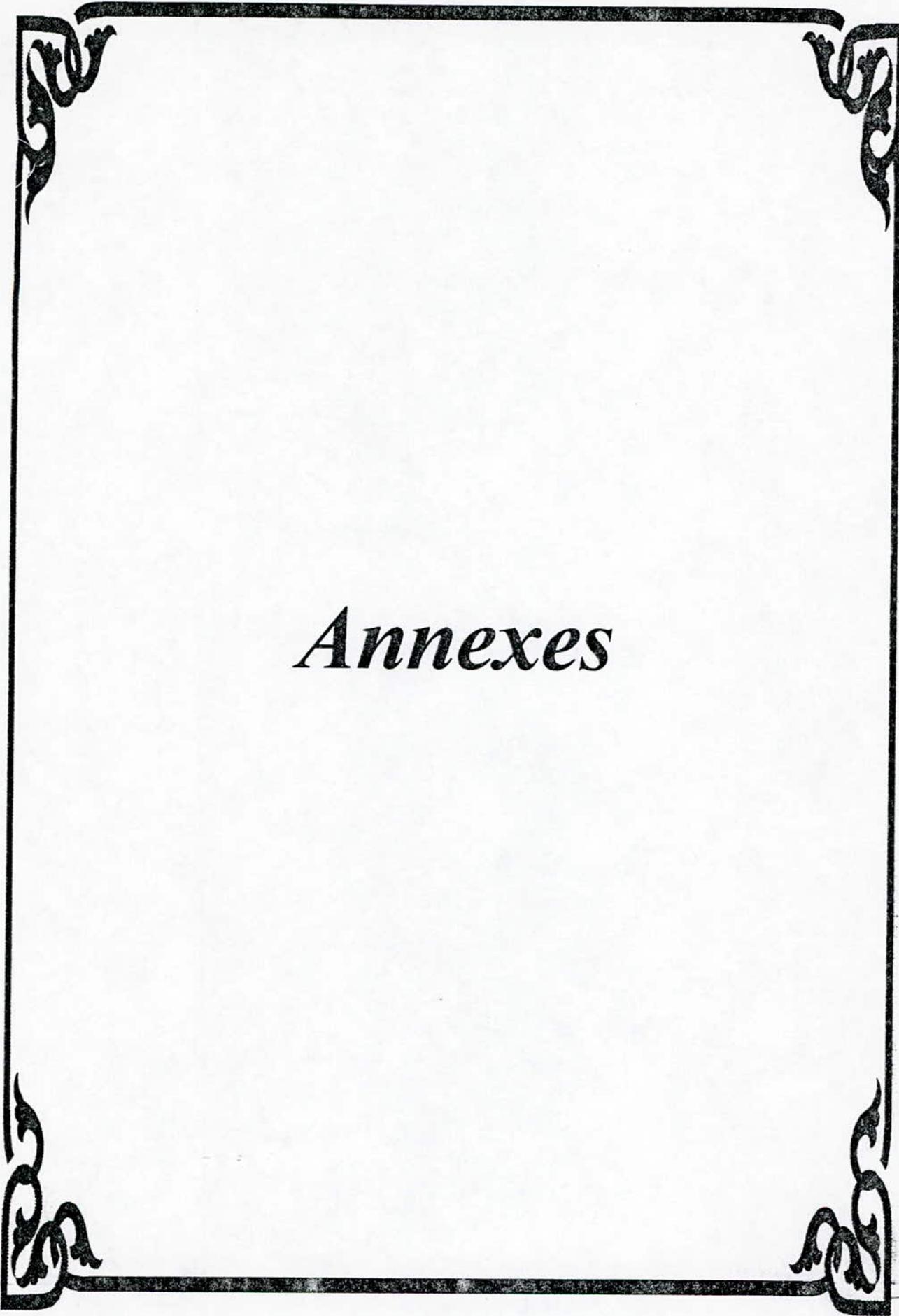
Les résultats d'analyses chimiques des eaux de la nappe phréatique révèlent qu'elles sont impropre à l'irrigation . Leur potabilité est momentanément mauvaise à cause d'un taux de résidu sec trop élevé .

La remontée de ces eaux souterraines a incité une partie de la population locale à abandonner maisons et palmeraies . Ces dernières faisaient autrefois le charme du Souf ont laissé place à des marécages d'eaux salées . Il serait nécessaire de commencer l'application immédiate des recommandations proposées précédemment et en particulier la dernière qui consiste à la méthode d'enfouissement et de marcottage locale ( économique , simple , résultat rapide ) ,

pour parer au plus pressé et sauver ce qui peut être sauver des palmeraies du Souf de l'asphyxie .

Compte tenu des problèmes engendrés par la suralimentation de cette nappe phréatique entraînant la remontée en surface des eaux , cet aquifère devrait faire l'objet d'une étude intégrée de manière à :

- établir un bilan complet qui permettra d'évaluer précisément les apports .
- déterminer les différents sens d'écoulements des eaux .
- Evaluer les volumes extractibles à même de désengorger la nappe phréatique permettant de rapprocher à l'état d'équilibre initial de cette nappe .
- Identifier des sites de rejet en assurant un non retour à la nappe .



*Annexes*

Annexe I

FORAGE F2 (Eloued)

X 885 300

Z = 98m

Y 314 000

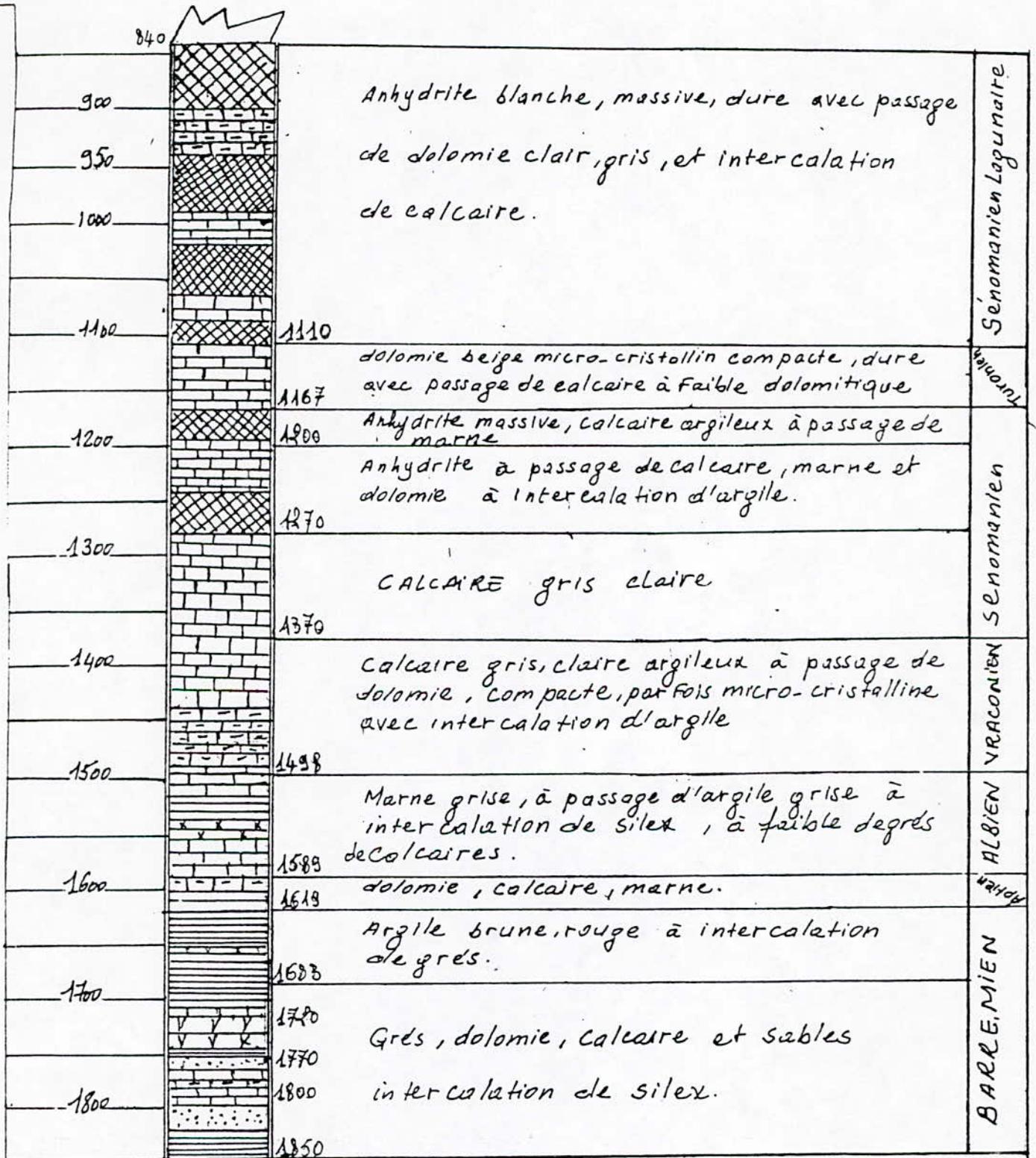
ECHELLE DE LA COUPE 1/50.00

profondeurs et cotes	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	ETAGE
0		00	
50		ALTERNANCE d'argiles parfois sableuses et sables à grains différents à intercalation de gypses.	MIO - PLIOCENE
100			
200			
300			
300		300	
400		ALTERNANCE DE CALCAIRE FISSURÉ ET DU MARBRE.	Eocene
500			
600			
640			
640		640	
700		Alternance de marne grise verdâtre et du calcaire gris compact et dur  Alternance de dolomie beige compacte, d'anhydrite blanche et du calcaire argileux.	Senomanien Carbonate
740			
800			
840			

A SUIVRE.

Annexe II

SUITE F2







# SONDAGE Forage ladouaou Sidi Aoun

Carte : Sahara Type D'Algerie

Date des travaux : 05/08/1992 31/10/1993 Long :

Echelle de la coupe : 1/2000

N° Fichier Forages

N° Inventaire

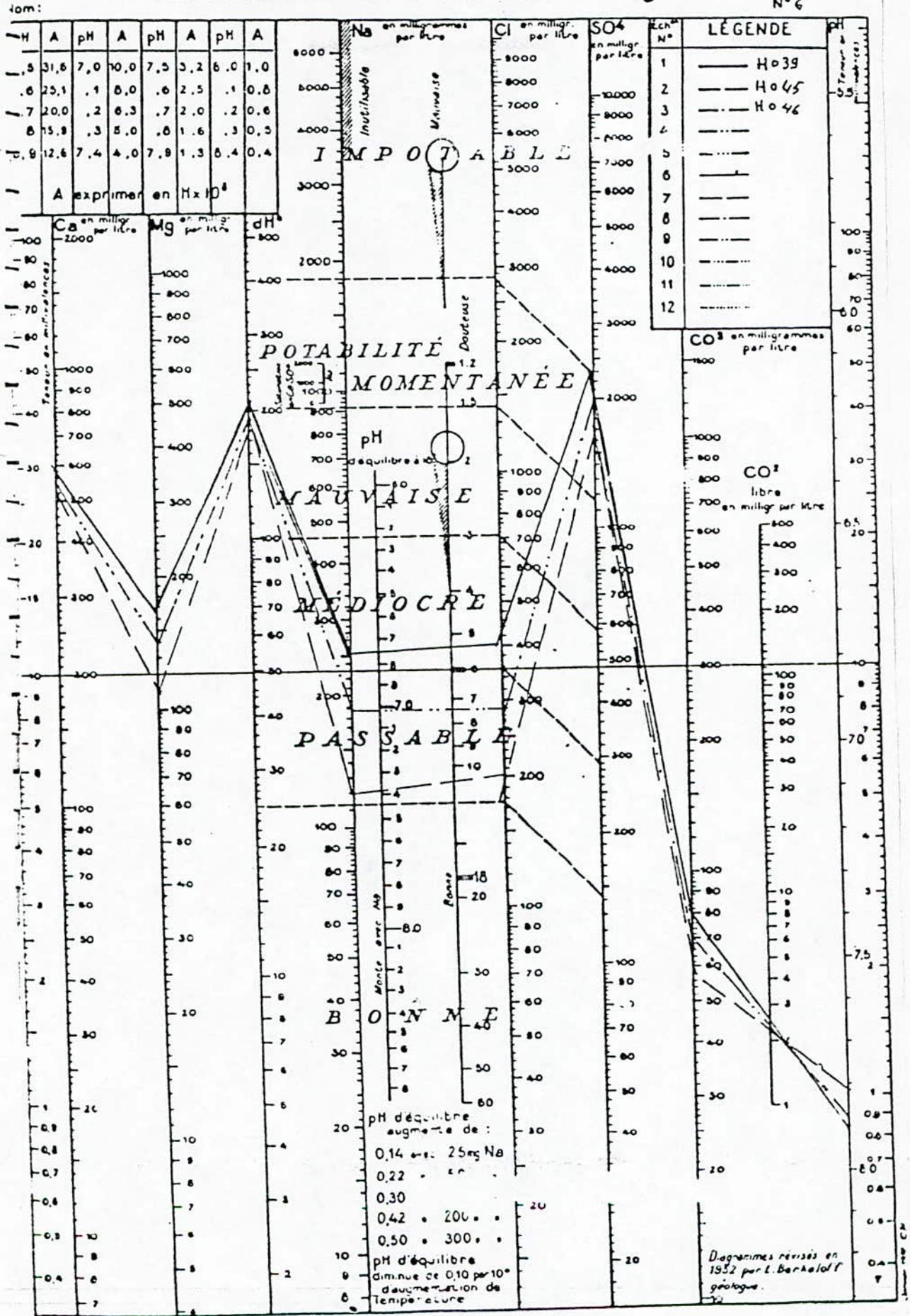
x890,400

y331,500 63

Profondeurs et cotés	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
0						
20	Ø Tube guide 1 7/8"				Gypse Soléne	
40					Sable et Sable Gypseuse	
60					Sable Argileux avec baguelette de Gypse	
80	Ø Tube 1 3/8"				Intercalation Argile sableuse et Sable Argilieux	
100					Argile sableuse	
120					Argile sableuse	
140					Argile sableuse	
160					Argile sableuse	
180					Argile sableuse	
200					Argile sableuse	
220					Argile sableuse	
240					Argile sableuse	
260					Argile sableuse	
280	Ø Tube Plein 8"				Argile sableuse	
300					Argile sableuse	
320	Ø Crapin Index 8"				Sable grossier à moyen de couleur jaunâtre	
340					Argile	
360	Ø Tube Sobot 8"				Argile	
380					Argile	
400					Argile	



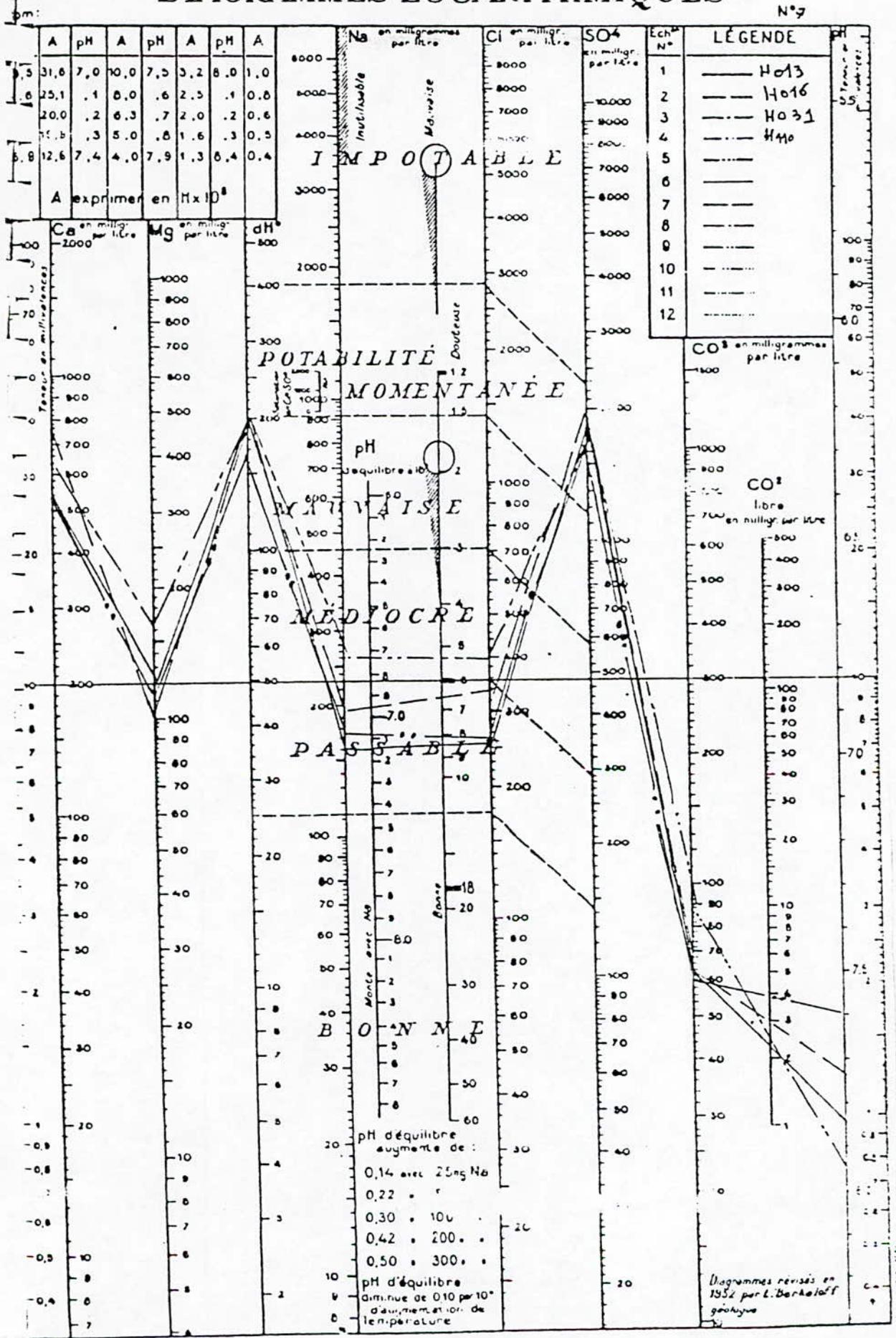
# DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



Diagrammes révisés en 1952 par L. Berkalet géologue.

# DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES

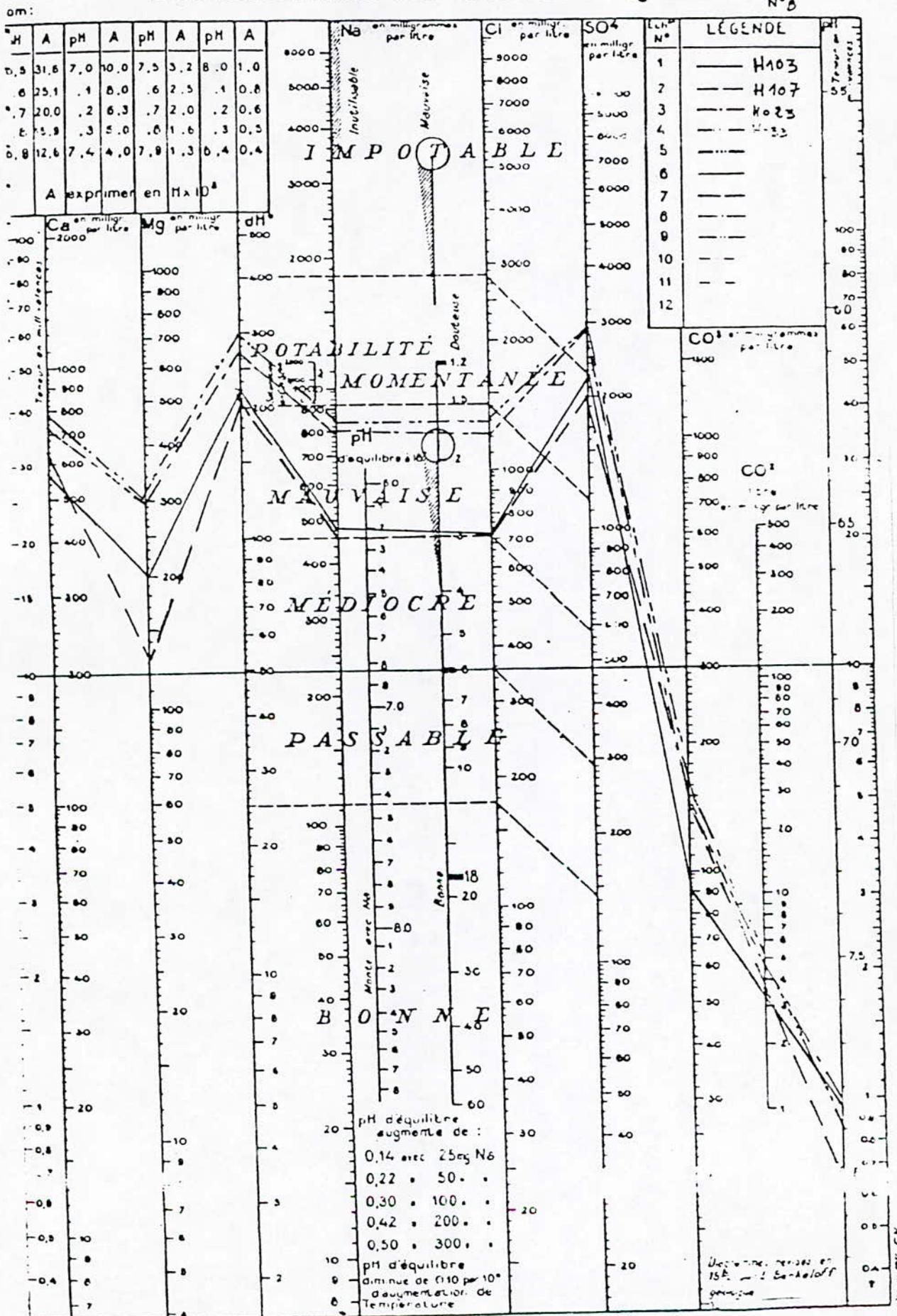
N° 9



Diagrammes révisés en 1952 par L. Berkauff géologue

# DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES

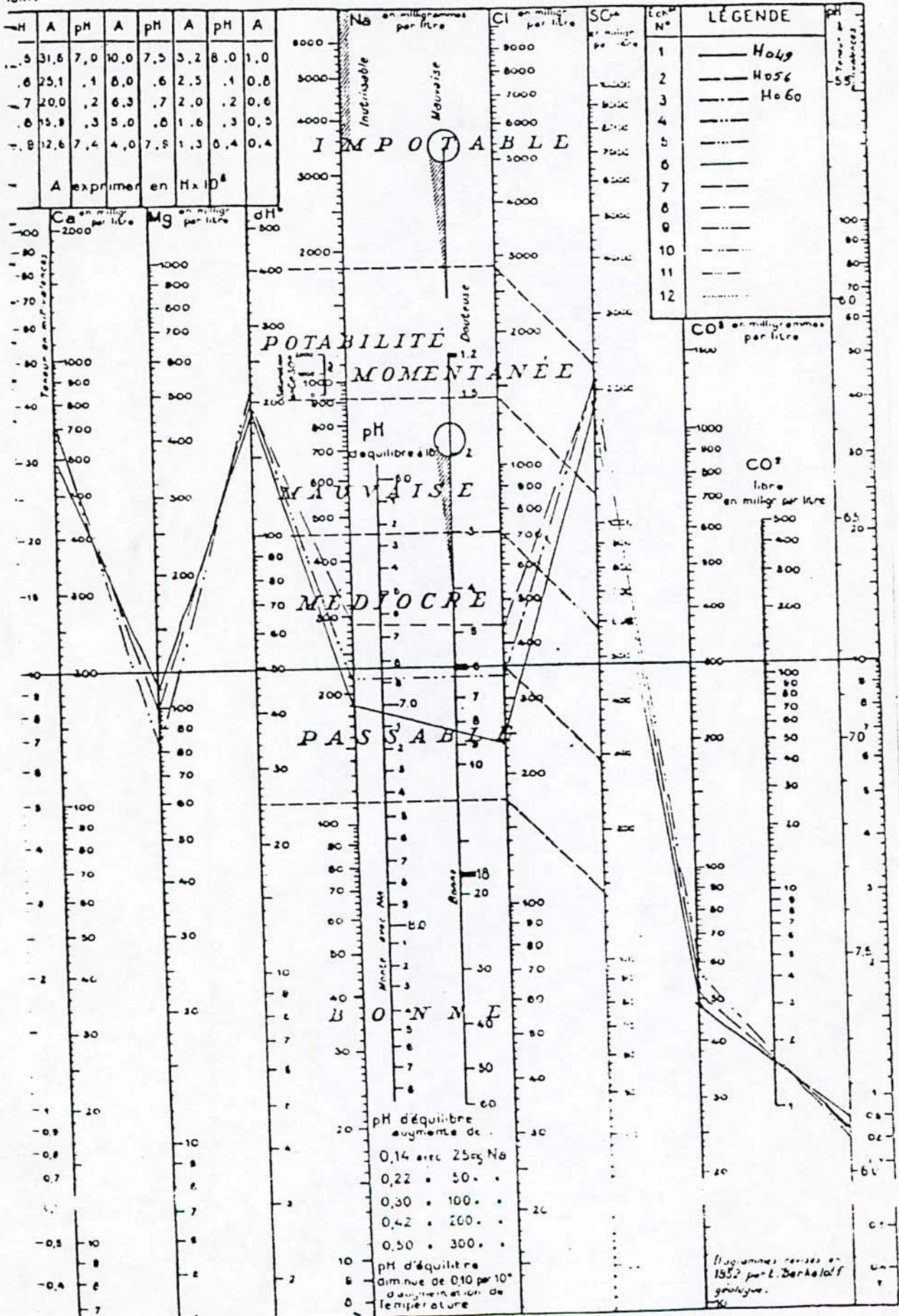
N° 8



# DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES

N° 5

10m:



Annexe II.1

**Analyse du comportement de la nappe phréatique  
entre les Campagnes (Avril 93, Juin 95)**

N° du puits	campagne(A93) Niveau (en m)	campagne(J95) Niveau (en m)	NP1-NP2	Observation
01	28.76	28.562	-0.198	niveau piézométrique a subi un rabattement de 0.198 m ceci explique l'effet de pompage (période d'irrigation) ainsi qu'au évaporation intense .
02	29.77	30	0.23	augmentation d'un niveau piézométrique de 0.23 m ,ceci explique le phénomène de la remontée persiste encore .
03	35.69	N.prélevé	/	Néant
04	38.58	N.prélevé	/	Néant
05	38.589	N.prélevé	/	Néant
06	38.84	36.039	-2.801	il y a un abaissement remarquable 2.801 du niveau piézométrique de la nappe et ceci est du au pompage intense durant la période d'irrigation
07	41.99	41.444	-0.546	de même il y a abaissement à cause du pompage (période d'irrigation) ainsi que l'évaporation intense (84 mm).
08	45.97	N.prélevé	/	Neant
09	50.22	48.473	-1.747	il y a un abaissement considérable (1.747 m) ceci peut être expliqué par l'effet de pompage intense .
10	47.55	47.401	-0.145	abaissement à cause de pompage et de l'évaporation .
11	51.86	51.658	-0.202	un abaissement du au pompage (période d'irrigation) .
12	59.52	59.119	-0.401	de même un abaissement du au pompage (période d'irrigation)
13	62.11	61.687	-0.423	un abaissement du au pompage (période d'irrigation) et l'évaporation
14	63.20	62.88	-0.32	unrabattement du au pompage et évaporation .
15	64.16	64.488	-0.122	même remarque avec la précédente.
16	60.40	N.prélevé	/	Néant
17	58.56	N.prélevé	/	Néant
18	59.76	59.276	-0.484	dans ce puit de changement est faible (le rabattement) essentiellement à l'exploitation et au pompage (irrigation) .
19	60	58.63	-1.37	un rabattement remarquable qui dépasse 1 m à cause du pompage pour l'irrigation et l'évaporation .
20	60.17	60.247	0.077	il y a une augmentation très faible ce qui veut dire que la remontée de la nappe phréatique persiste toujours .

## Annexe XI . 2

21	60.06	N.prélevé	/	Néant .
22	56.55	57.256	0.706	une augmentation faible (persistance de la remontée des eaux ) .
23	55.00	N.prélevé	/	Néant .
24	53.45	55.408	1.958	augmentatiuon remarquable au cours de l'année 95 (1.958m) ce qui explique il y a encore la remontée .
25	55.48	54.264	-1.216	un abaissement causé par le pompage (période d'irrigation) plus l'évaporation intense .
26	52.76	52.71	-0.05	un rabattement très faible du à l'évaporation intense .
27	50.03	N.prélevé	/	Néant .
28	50.71	49.67	-1.04	un rabattement du au pompage pour l'irrigation plus l'évaporation .
29	47.39	46.628	-0.762	même remarque que la précédente
30	44.48	N.prélevé	/	Néant .
31	44.28	42.889	-1.391	le rabattement remarquable qui s'explique par les grands prélèvements d'eau pour l'irrigation ainsi que le grand taux d'évaporation .
32	41.94	42.958	1.018	on constate un augmentation du niveau piézométrique ce qui implique l'alimentation réguliaire de la nappe et la persistance de la remontée des eaux .
33	45.01	N.prélevé	/	Néant .
34	47.99	N.prélevé	/	Néant .
35	49.58	N.prélevé	/	Néant .
36	50.3	49.603	0.697	rabattement de niveau sous l'effet de pompage .
37	49.46	48.924	-0.536	même remarque que la précédente .
38	51.81	N.prélevé	/	Néant .
39	51.57	50.978	-0.592	abaissement du au pompage .
40	62.14	62.493	0.353	augmentation de piézomètre donc remontée des eaux .
41	65.04	65.539	0.499	remontée toujours .
42	65.18	66.464	1.284	niveau piézométrique augmenté (1.284 m) ce qui veut dire une alimentation réguliaire de la nappe ,une persistance de la remontée des eaux .
43	69.69	70.092	0.402	même remarque que la précédente .
44	70.35	N.prélevé	/	Néant .
45	67.67	N.prélevé	/	Néant .
46	71.99	71.473	-0.517	abaissement du au pompage .
47	77.17	77.028	-0.142	rabattement du niveau piézométrique du au pompage intense .
48	79.31	79.533	0.223	même remrque que la précédente .
49	79.73	79.518	-0.212	même remarque que la précédente .
50	82.32	81.72	-0.6	rabattement du au pompage d'eau (période d'irrigation ) .
51	82.59	82.446	-0.144	abaissement de la nappe sous l'effet de pompage

Annexe XI.5

52	83.34	N.prélevé	/	Néant
53	83.67	N.prélevé	/	Néant
54	82.95	N.prélevé	/	Néant
55	83.88	N.prélevé	/	Néant
56	84.56	N.prélevé	/	Néant
57	83.96	N.prélevé	/	Néant
58	86.82	N.prélevé	/	Néant
59	87.6	N.prélevé	/	Néant
60	89.19	N.prélevé	/	Néant
61	89.90	N.prélevé	/	Néant
62	83.58	N.prélevé	/	Néant
63	82.31	N.prélevé	/	Néant
64	83.07	N.prélevé	/	Néant
65	82.9	N.prélevé	/	Néant
66	83.15	N.prélevé	/	Néant
67	81.25	N.prélevé	/	Néant
68	81.90	N.prélevé	/	Néant
69	75.72	N.prélevé	/	Néant
70	82.29	82.378	0.088	une légère augmentation la nappe donc toujours remontée .
71	77.74	77.542	-0.198	abaissement toujours de la nappe qui est due au pompage (période d'irrigation) .
72	74.71	74.929	0.219	on constate que la remontée du niveau piézométrique , donc c'est la persistance de la remontée .
73	70.40	70.745	0.345	même remarque que la précédente.
74	74.19	N.prélevé	/	Néant .
75	71.56	71.91	0.35	augmentation du niveau piézométrique ce qui veut dire que la remontée des eaux continues
76	69.83	N.prélevé	/	Néant .
77	67.64	N.prélevé	/	Néant .
78	68.25	67.669	-0.581	abaissement du au pompage (période d'irrigation)
79	68.54	N.prélevé	/	Néant .
80	64.16	N.prélevé	/	Néant .
81	61.95	61.808	-0.142	le rabattement du niveau piézométrique qui explique par la sur exploitation de la nappe .
82	59.83	60.172	0.242	remontée du niveau d'eau donc le problème de la remontée toujours .
83	57.87	N.prélevé	/	Néant .
84	64.65	61.338	-3.312	un rabattement très remarquable qui est due à la sur exploitation de la nappe .
85	53.65	N.prélevé	/	Néant .
86	50.54	50.398	-0.142	un abaissement des eaux de la nappe du au pompage très élevé durant la période d'irrigation .
87	49.27	N.prélevé	/	Néant .
88	57.55	57.185	-0.385	même remarque avec le puit n°86
89	55.05	55.583	0.533	le problème de la remontée est remarquable encore .
90	N.prélevé	N.prélevé	/	Néant .

Annexe X.4

91	N.prélevé	N.prélevé	/	Néant .
92	56.12	55.065	-1.055	un rabattement de la nappe qui est expliqué par le pompage élevé durant la période d'irrigation .
93	53.72	53.723	0.003	une remontée très faible qui est indifférente de la persistance du problème .
94	53.95	N.prélevé	/	Néant .
95	53..88	N.prélevé	/	Néant .
96	52.08	N.prélevé	/	Néant .
97	49.74	49.184	-0.556	vue l'exploitation des d'irrigation , le niveau piézométrique a subit un rabattement .
98	50.07	49.949	-0.121	même remarque que la précédente .
99	49.21	N.prélevé	/	Néant .
100	48.51	48.462	-0.046	le rabattement est faible ce qui veut dire qu'il y a une stabilité ou un équilibre entre les débits extraits et ceux d'alimentation de la nappe .
101	43.17	43.575	0.405	la remontée existe toujours .
102	36.53	N.prélevé	/	Néant .
103	35.03	N.prélevé	/	Néant .
104	40.18	40.544	0.364	il y a une augmentation du niveau piézométrique, donc arrivée d'eau , donc la remontée continue .
105	44.14	N.prélevé	/	Néant .
106	45.88	N.prélevé	/	Néant .
107	41.98	40.814	-1.166	un rabattement de la nappe qui est expliqué par le pompage élevé durant la période d'irrigation .
108	40.00	N.prélevé	/	Néant
109	39.65	38.001	-1.649	même remarque avec le puit n°107
110	37.94	38.052	0.112	même remarque avec le puit n°82

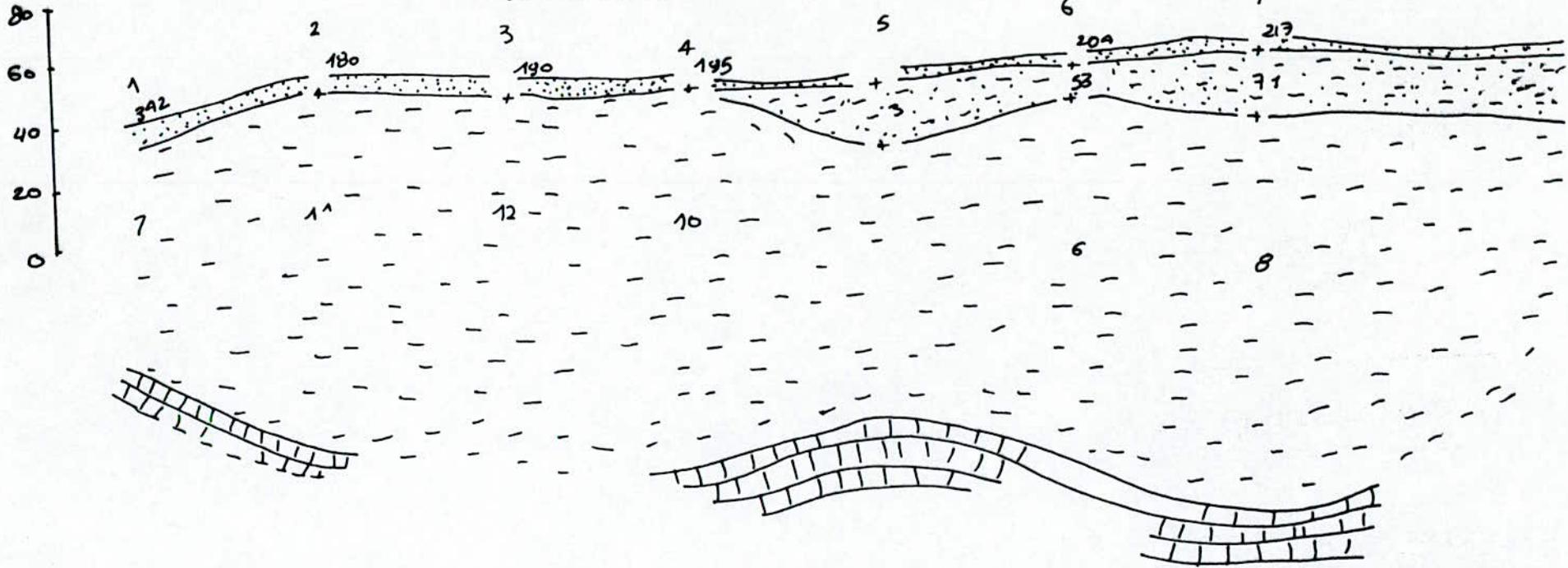
# ***REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE***

- [1] Achour . A (1995) : Diagnostique de l'état du patrimoine phoenicicole Algérienne et aussi d'analyse du production dattiers cas de palmeraies du Souf Thèse Ing INFS/AS Ouargla
- [2] Anonyme (1982) : Larousse agricole .
- [3] Anonyme (1986) : Petite Larousse illustrée .
- [4] Anonyme (1989) : Encyclopedia universelle corpus PP(451-461) .
- [5] Anonyme (1994) : D.S.A d'El Oued .
- [6] A.N.R.H (1994) : Cartes piézométriques
- [7] A.N.R.H (1995) : Les données des analyses chimiques des eaux phréatiques du Souf .
- [8] A.N.R.H (1995) : Les données des prélèvements piézométriques .
- [9] Badoux .H (1989) : Cours géologie générale 319 P.
- [10] Bellaire P et Pelmerol-CH (1982) : Eléments géologiques 495 P.
- [11] Belmarouk .H (1993) : Contribution à l'étude de quelques paramètres hydrodynamique et techniques d'un nouveau forage et son effiecuence sur l'irrigation(cas de la palmeraie de Ain M'assala ) Thèse Ing.INFS /AS Ouargla 65 P.
- [12] Benhamida .S (1993) : Etude hydrogéologique de la région d'El Oued ' rapport A.N.R.H Ouargla 89 P .
- [13] Bouzid .A (1993) : Contribution à l'étude de la dynamique de la salinité dans un sable sous l'irrigation par pivot (Gassi Touil) Thèse Ing. INFS/AS Ouargla 47 P .
- [14] Castany-G (1971) : Méthodes d'étude et de recherches des nappes aquifères 158P .
- [15] Durant J.H (1983) : Les sols irrigables étude pédologique , presse , Unvr de France 339 P .
- [16] ENAGEO (1992) : Rapport sur l'étude géophysique dans la région du Souf .
- [17] Hullin . M (1983) : Cours de drainage agricole (irrigation-drainage et salinité) cours polycopie Vol (3) INA Alger 139 P .
- [18] O.N.M (1995) : Les données Météorologiques .
- [19] Kettab . A (1992) : Traitement des eaux potables ENP 151 P.
- [20] Laouici . A (1991) : Rapport d'inventaire des forages du Souf .
- [21] Mokrani . M (1994) : Etude de la remontée des eaux de la nappe phréatique du Sud-Est Algérien (Cas d'El Oued) Thèse Ing . Unvr de Blida 110 P .

- [22] Nadjah (1975) : D.H.W le Souf des Oasis 174P .
- [23] Nezli . I et Benghouma . S (1993) : Etude de la remontée des eaux dans la région du Souf Unvr-Biskra 89P .
- [24] Omeréri .N (1994) : Contribution à l'étude de la dynamique saisonnière des sels solubles dans la cuvette de Ouargla , Thèse Ing . INFS/AS Ouargla 71P.
- [25] Servant . J (1978) : La salinité dans le sol et Eaux carctérisation et problème d'irrigation et drainage BULL-RRGM Sect III n°2 PP 123-142 .

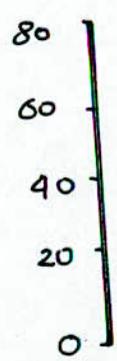
FAUX	JUSTE	PAGE
• <del>DERMATONNE</del>	<del>DERMARTONNE</del>	19 (ligne 8)
• Précipitation	précipitations	23 (ligne 5)
• (Coupes de 1 à 13)	(Coupes de 1 à 9)	31 (ligne 23)
• Legendes ?	1- Calcaire de l'Escaène inférieur 2- Argiles sableuses et marne. 3 - sable grossiers du Pontien inférieur. 4 - Argiles, sables et gypses. 5 - argiles et sables, dominants 6 - argiles, sables, et gypses. 7 - Niveau hydraulique de la nappe du Pontien	39' (fig: II-5)
• Sens d'écoulement ?		39' (fig II-8)
• Source ?	Extrait du A.V.R.H. 94	44' (fig III-2)
• bitués	citoyens	81 (ligne 1)

DOULET - BENIGUECH



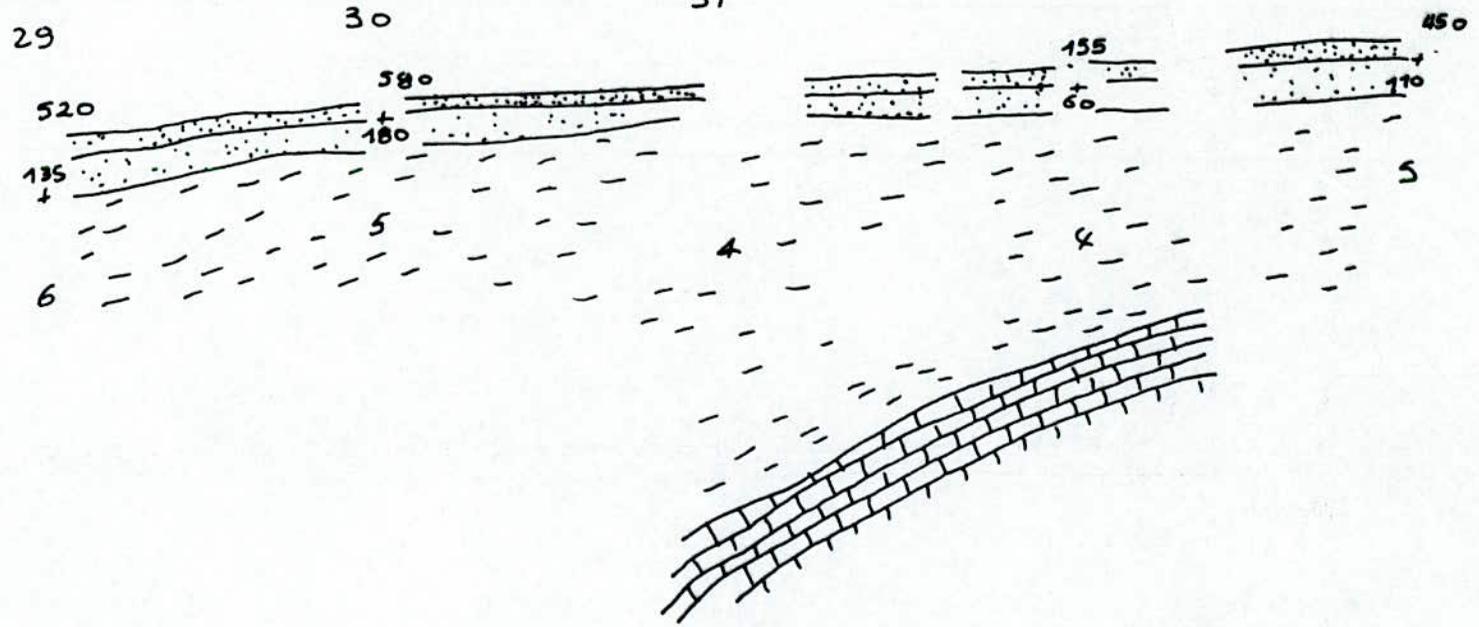
COUPE N° "T" EXTRAITE DE COUPES GEO ELECTRIQUE

VERS LES FRONTIERES TUNISIENNES



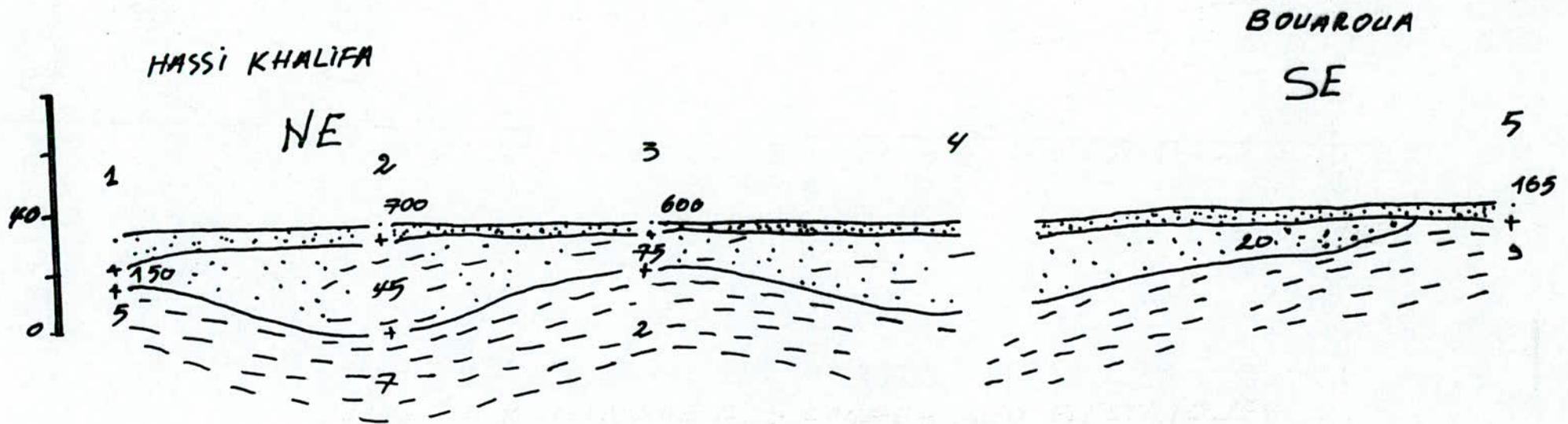
BOUAROUA

DOUAREL MAH



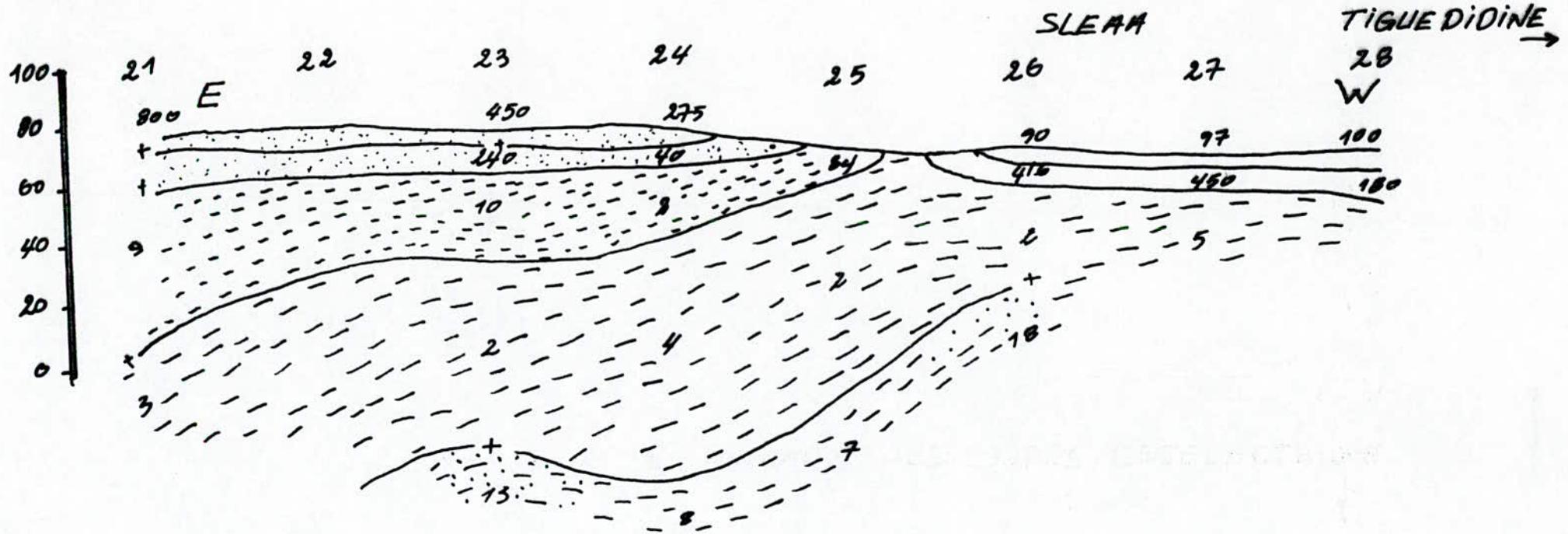
COUPE N° II EXTRAITE DES COUPES GEODELECTRIQUES

الجامعة الوطنية للتكنولوجيا  
BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

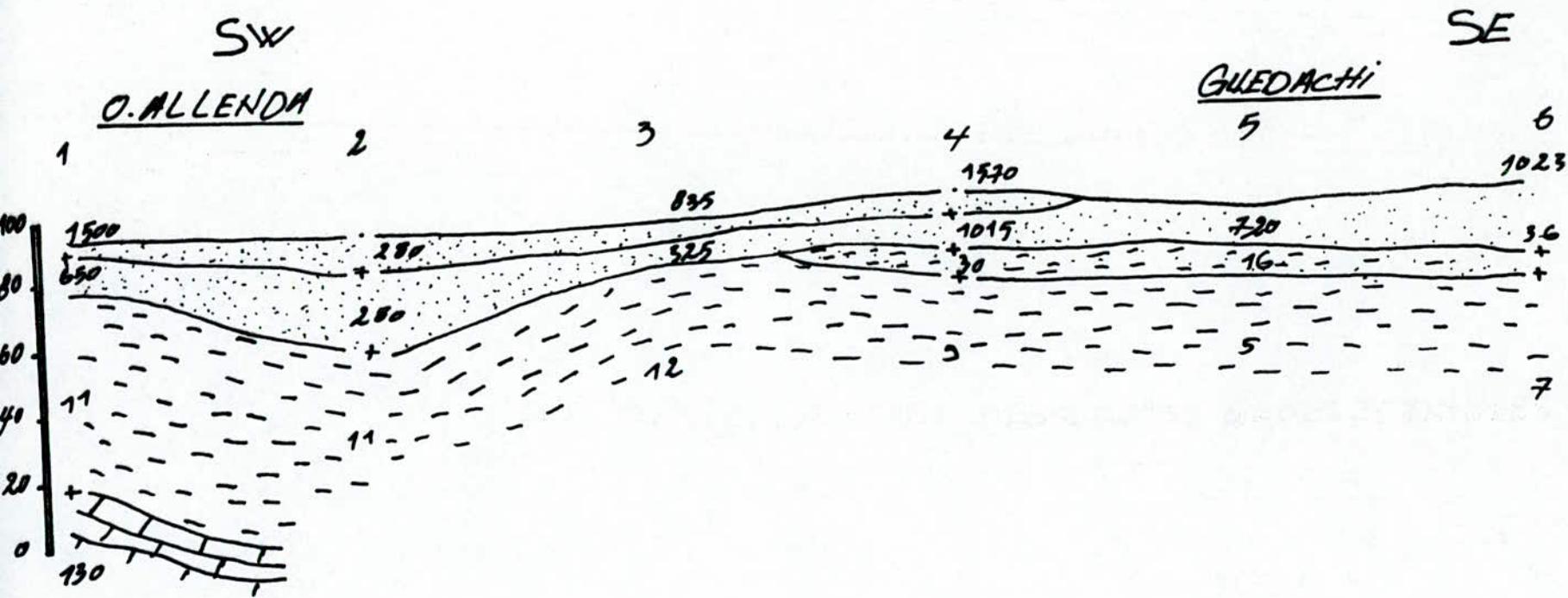


COUPE N° III EXTRAITE DES COUPES GEO ELECTRIQUES

المركز الوطني للبحوث والدراسات  
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
 Ecole Nationale Polytechnique

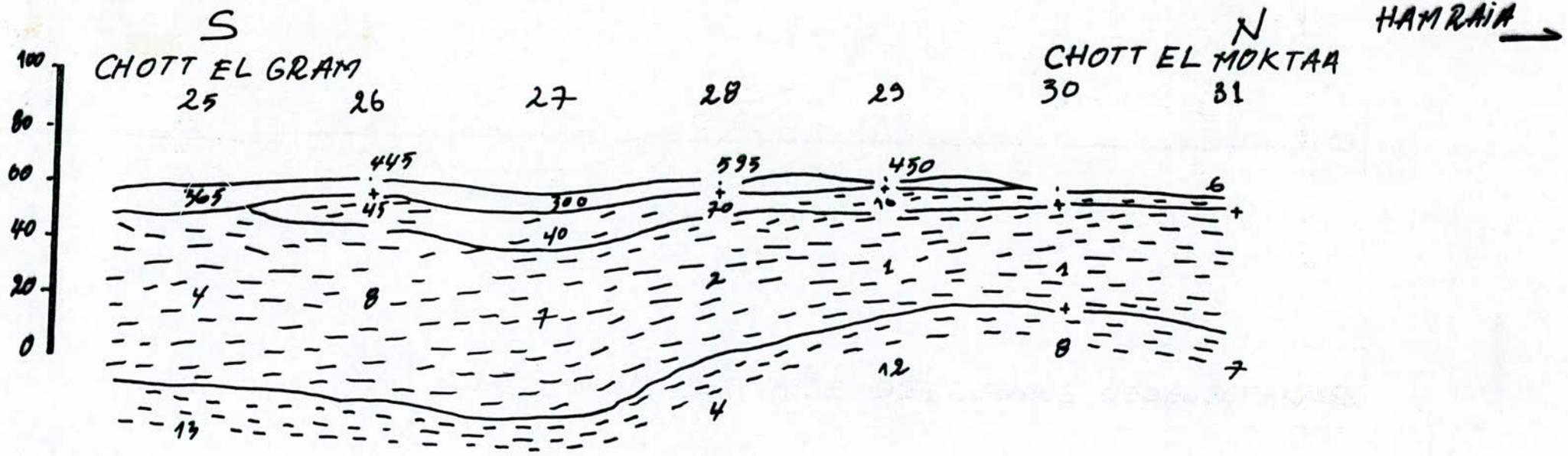


COUPE N° IV EXTRAITE DES COUPES GEOELECTRIQUE



COUPE N° V EXTRAITE DES COUPES GEOELECTRIQUES

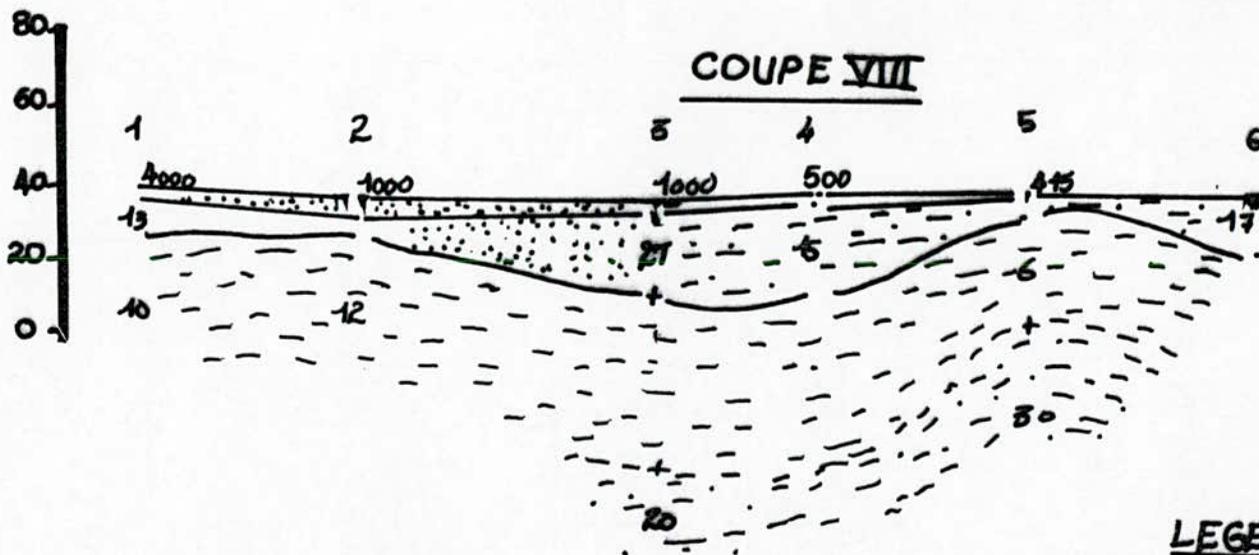
الدرسة الوطنية للتكنولوجيا  
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
 Ecole Nationale Polytechnique



COUPE N°VI EXTRAITE DES COUPES GEOELECTRIQUES

المكتبة  
 العربية الوطنية للتكنولوجيا  
 BIBLIOTHEQUE —  
 Ecole Nationale Polytechnique

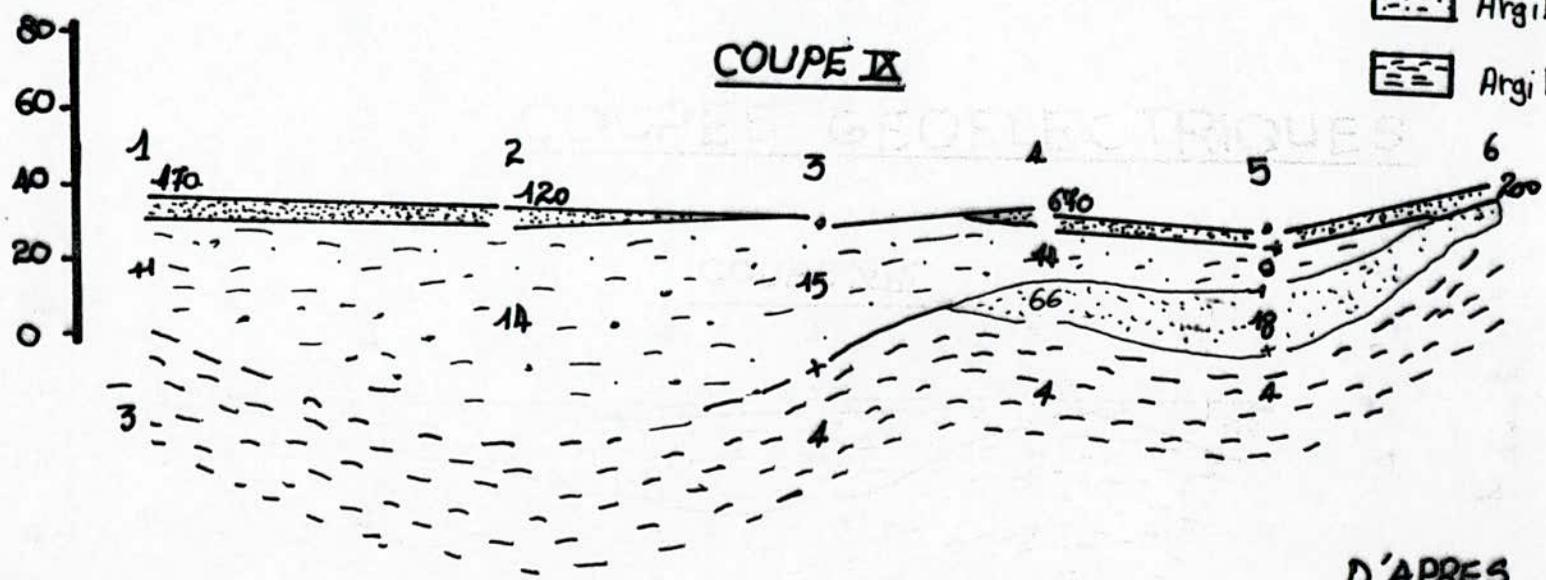
# COUPES GEOELECTRIQUES



ECHELLE  
 H 1/650000  
 V 1/2000

- LEGENDE
-  Sables
  -  Sables argileuxes.
  -  Argiles sableuses.
  -  Argiles.

Figure:



البرية الوطنية للبحوث  
 BIBLIOTHEQUE  
 المكتبة  
 Ecole Nationale Polytechnique

D'APRES E.N.A.GEO