

10/89

وزارة التعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

المدرسة الوطنية «O» للتقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

206

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : GENIE HYDRAULIQUE

Projet de Fin d'Etudes

en vue de l'obtention d'un ingénieur d'Etat

S U J E T

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE

ALBIENNE DE LA PLAINE D'AIN OUSSERA

9 PLANCHES

Proposé par :
A.N.R.H.

Etudié par :
A. MATI
A. AMAMRA

Dirigé par :
UPPALEURI B.M.
ABDERRAHIM . D.

Promotion Juin 1989

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وزارة التعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

«O»
المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : GENIE HYDRAULIQUE

Projet de Fin d'Etudes

en vue de l'obtention d'un ingénieur d'Etat

S U J E T

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE

ALBIENNE DE LA PLAINE D'AIN OUSSERA

Proposé par :
A.N.R.H.

Etudié par :
A. MATI
A. AMAMRA

Dirigé par :
UPPALEURI B.M.
ABDERRAHIM

Promotion Juin 1989

Je dedie ce modeste travail
A ma chère mère (FATMA)
A mon cher père (TEDJANI)
A mon cher frère (MOHAMED)
A mes frères et soeurs
A toute la famille
A tous mes frères de l'Islam

A. AMAMRA

Je dedie ce modeste travail
A mes chers parents
A mes chers frères Madjid et Mohamed
A mes soeurs, ma belle soeur et mes nieces
A toute ma famille et la famille proche
Enfin je dedie ce travail à tous mes amis

A. MATI

Remerciement

Suite à la réalisation de ce présent mémoire et ceci par l'aide et la compétence de nombreuses personnes, nous tenons à remercier infiniment :

- En premier lieu notre promoteur, monsieur B.M. UPPALAURI pour toute l'aide qu'il nous a fourni durant le travail
- Monsieur D. ABDERRAHIM (notre chef du département Genie hydraulique).
- Monsieur A. AYAD (du département hydrogéologique. ANRH.) pour tous les renseignements et l'aide qu'il nous a fourni
- Monsieur LATRECH (chef du département hydrogéologique de l'ANRH).
- Mademoiselle ZERFA FATMA ZOHRA pour son aide qu'elle nous a fourni
- Enfin nos remerciements s'adressent à tous les gents de l'ANRH ainsi que tous les professeurs qui ont contribué à notre formation.

TABLE DES MATIERES

	Page
CHAPITRE PREMIER : INTRODUCTION	1
1.1. Généralités	1
1.2. Situation géographique	2
1.3. Morphologie de la région	2
 CHAPITRE 2 : ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE	 5
2.1. Introduction	5
2.2. Etude de précipitation	7
2.2.1. Altitude - pluviométrie	9
2.2.2. Détermination de la lame d'eau précipitée	11
2.2.2.1. Méthode de Thiessen	11
2.2.2.2. Méthode des isohyètes	14
2.2.2.3. Méthode de Thiessen avec correction d'altitude	16
2.3. Variation des températures	18
2.4. Radiation solaire	19
2.5. Etude de l'évapotranspiration	19
2.5.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle	20
2.5.1.1. Formule de SERRA	20
2.5.1.2. Formule de THORNTHWAITE	21
2.5.1.3. Formule de BLANEY-CRIDDLE	22
2.5.1.4. Formule de TURC	23
2.5.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle	24
2.5.2.1. Formule de TURC	24
2.5.2.2. Formule de COUTAGNE	24
2.5.3. Discussion des résultats	25
2.6. Estimation du bilan hydrologique	26

2.6.1. Calcul de la lame d'eau ruissellée	26
2.6.1.1. Formule de SAMIE	27
2.6.1.2. Formule de Medinger	27
2.6.1.3. Formule de DERI	
2.6.2. Calcul d'infiltration	28
CHAPITRE 3: ETUDE GEOLOGIQUE	29
3.1. Formations géologiques	29
3.2. La structure tectonique	30
CHAPITRE 4: ETUDE HYDROGEOLOGIQUE	35
4.1. Généralités	35
4.2. Réservoir	36
4.2.1. Description de l'aquifère	36
4.2.2. Toit de l'albien	39
4.3. Etude piézométrique	40
4.3.1. Introduction	40
4.3.2. Interpretation des cartes piézométriques	41
4.3.3. Fluctuations de la nappe	42
4.4. Paramètres hydrodynamiques	48
4.4.1. Définitions	48
4.4.2. Détermination des caractéristiques hydrodynamiques	49
4.4.2.1. Méthode de Theis	49
4.4.2.2. Méthode de Jacob	52
4.4.2.3. Méthode de la droite de remontée	53
4.5. Evaluation des ressources en eau souterraines	59
4.5.1. Réserve dynamique	59
4.5.2. Réserve statique	63
4.5.3. Réserve exploitable	64

CHAPITRE 5 : ETUDE HYDROCHIMIQUE	65
5.1. Généralité	65
5.2. Conductivité et résidus secs	65
5.3. Ions chlorures et sulfates	69
5.4. Rapports chimiques	69
5.4.1. Rapport r_{SO_4} / r_{Cl^-}	69
5.4.2. Rapport $r_{Mg^{2+}} / r_{Ca^{2+}}$	70
5.5. Facies chimiques	70
5.6. Utilisation d'eau pour l'irrigation	73
 CHAPITRE 6 : CONCLUSION GENERALE	 86
 BIBLIOGRAPHIE	 89

LISTE DES CARTES

Cartes

- n°: III.1: Carte géologique de la région d'Ain oussera
- n°: IV.1: Carte du toit de l'albien de la plaine d'Ain oussera
- n°: IV.a: Carte piézométrique Mai 1986
- n°: IV.b: Carte piézométrique Decembre 1986
- n°: IV.c: Carte de transmissivité
- n°: IV.2: Carte du calcul de la réserve dynamique par la méthode des polygones de Thiessen .
- n°: IV.3: Carte du calcul de la réserve statique par la méthode des isoépaisseurs
- n°: V.1: Carte de résidus secs
- n°: V.2: Carte d'inventaire des points d'eau

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION

I.1. GENERALITES

L'hydrogéologie est la science de l'eau souterraine. Elle a pour objectifs, l'étude du rôle des matériaux constituant le sous-sol et des structures hydrogéologiques avec application des lois physiques et chimiques. Elle applique les connaissances acquises sur la prospection, le captage, et l'exploitation de l'eau souterraine.

L'hydrogéologie, dont la base fondamentale est la géologie, est une science utilisant les méthodes et moyens de la prospection géophysique, des techniques de forage et de captage, de l'hydrodynamique souterraine.

L'hydrogéologie a pour but d'évaluer les ressources en eau souterraine, de préciser leurs gisements, leurs caractéristiques physico-chimiques, leurs relations avec les eaux de surface et de déterminer les paramètres hydrodynamiques des formations.

La connaissance des ressources en eaux souterraines, l'évaluation de leurs réserves et leur mise en exploitation rationnelle sont d'une importance capitale pour le développement agricole, économique et industriel, particulièrement, dans les régions de climat aride ou désertique.

Ces données sont obtenues par l'exécution d'une étude hydrogéologique régionale, qui comportera :

- L'étude préliminaire sur l'inventaire des potentialités naturelles, dont la synthèse essentielle est la cartographie hydro-géologique.

- L'étude expérimentale des nappes par tests des stations d'essais, puits, forages, et piézomètres.

I.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La plaine d'Ain oussera, s'insère dans le cadre géographique des hautes plaines algéroises, située à quelques 200 km au sud d'Alger, s'étend sur une longueur de 105 km selon l'axe NE-SW, et sur une largeur de 30 km.

Faisant partie des hautes plaines algéroises entre $2^{\circ}15'$ et $3^{\circ}45'$ de longitude Est, et entre 35° et $35^{\circ}40'$ de latitude Nord. La région étudiée s'étend sur les sous bassins versants de oued Touil, Daït el Frania, Daïa Boughzoul et d'Ain oussera, chahbounia, el Krachem d'une surface totale d'environ 6500 km^2 .

Elle est limitée au nord par la ligne Birine - Ain oussera, plus à l'ouest par le chaînon d'Ain oussera constitué par les Koudiat et Gharbania, Taïcha, el mouillah et Kef nesser; au sud par la chaîne montagneuse des sbâa Rouas, djebel el Fergona, et el mendjel, à l'ouest par l'oued Touil et à l'est par l'axe Birine - Bouira sahari et djebel Touil. (Figure I.1).

I.3. MORPHOLOGIE DE LA REGION

La région étudiée est dans l'ensemble monotone, plate dont l'altitude croît sensiblement du nord vers le sud. A l'Est on rencontre un léger

changement de relief avec des altitudes dépassant 200 m. La plaine d'Ain oussera est située entre deux chaînes de montagnes orientées dans la direction ENE - OSO (figure I.1).

La pente moyenne de la région est, généralement, de 0,3%, la chaîne montagneuse au sud de la zone constituant une aire d'alimentation de la nappe.

A la limite Est de la région on remarque la présence d'une faille de direction sud-nord dans la zone d'el Kesria.

La plaine d'Ain oussera est parcourue par de nombreux oueds qui en majeure partie de l'année sont à sec, à l'exception de l'oued Touil, et de l'oued ouerk.

De tous les oueds de la région seuls les oueds Touil, cedraïa, el mouillah et guernini présentent un bassin relativement développé.

Le débit du oued Touil et des oueds sus-cités est essentiellement fourni par les eaux d'une pluie prolongée ou violente causant, particulièrement dans la vallée du Touil des inondations.

Ces chutes de pluie torrentielles ne sont pas régulières et peuvent survenir à tout moment de l'année bien que rares aux mois de juillet et août.

A l'Est de la ligne Ain oussera - Guelt stel, les oueds ne présentent pas d'intérêt particulier, et tous vont se perdre dans la plaine.

CARTE DE SITUATION

Echelle: 1/500.000

- Legende:
-  montagnes
 -  routes
 -  Oued permanent avec sa direction
 -  Oued temporaire et sa direction



35°36'

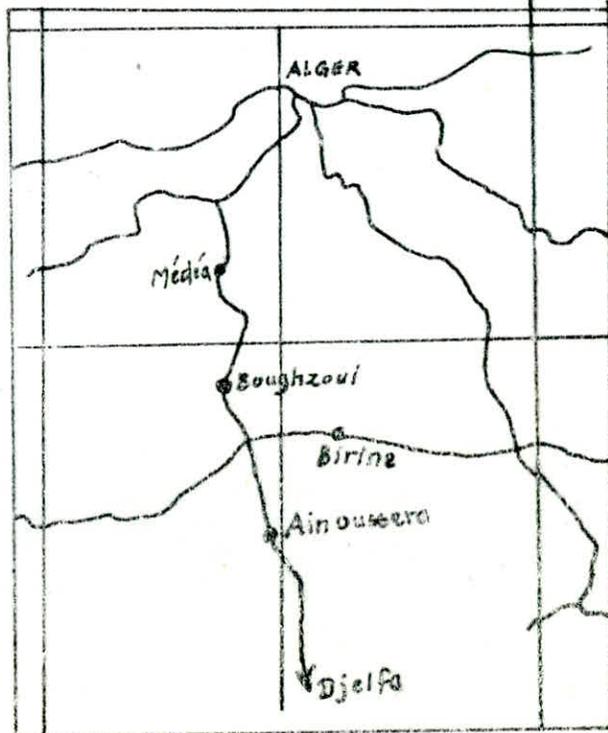
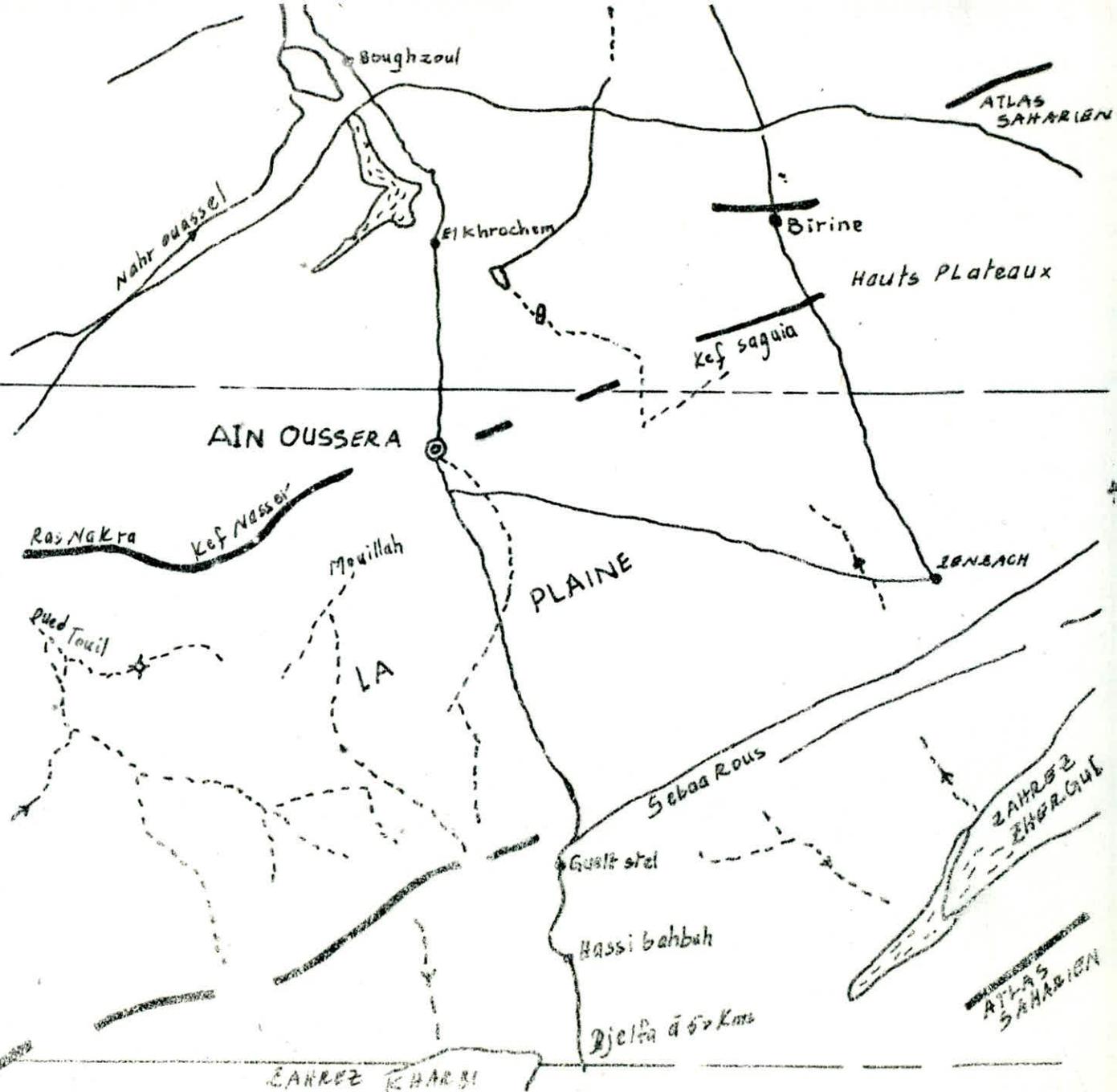


Figure I.4



CHAPITRE DEUXIEME

ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

II.1. INTRODUCTION

Le système hydrogéologique d'une région est lié avec le système hydrologique, dont les paramètres hydroclimatologique et les caractéristiques morphologiques et physiques influencent sur l'infiltration d'eau à travers le sol, et l'alimentation des nappes aquifères. Un bilan hydrologique du bassin versant donne une idée sur l'alimentation directe par la précipitation.

Nous aborderons dans ce chapitre, l'étude des facteurs hydro-climatologique du bassin versant. Les divers éléments étudiés sont: La pluviométrie, La température, l'évapotranspiration et Le ruissellement.

Les altitudes respectives de ces stations sont données dans le tableau II.1 ci-dessous

Les périodes de fonctionnement de ces stations n'étaient pas uniformes.

Tableau.II.1 situation des stations pluviométriques.

Stations	Altitude (m)	Coordonnées	
		X	Y
Ain oussera	690	518,50	239,15
Kef lasfer	690	480,80	252,80
Birine	750	547,75	259,60
Zenzach	830	560,75	228,65
Ain boucif	1250	540,75	287,80
Chohbounia	665	494,30	249,35
Guelt. stel	940	529,40	205,85
Boughzoul	643	507,10	272,25

Dans le bassin versant étudié il existe 8 stations gérées par l'ANAH. La répartition de ces stations est indiquée dans la figure II.1

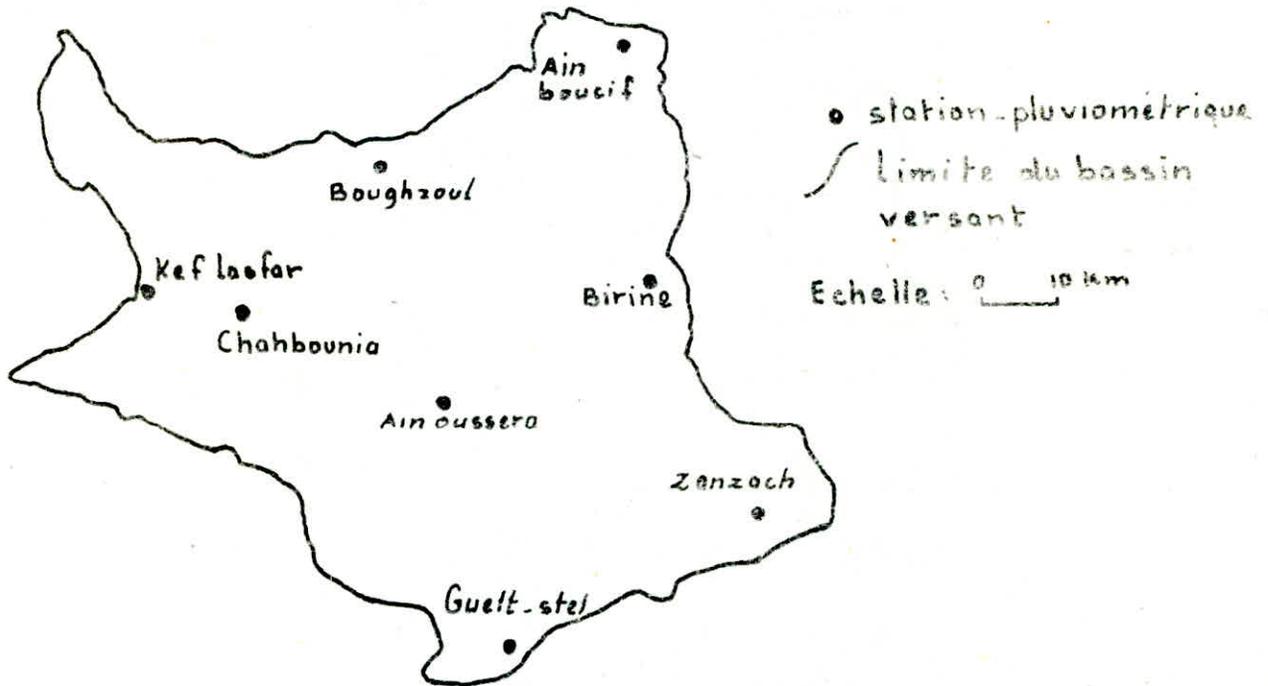


Figure II.1: Répartition des stations pluviométriques

L'étude pluviométrique a été basée sur ces 8 stations et pour la raison de manque des mesures de la température et de la radiation solaire aux stations citées ci-dessus, les relevés de ces paramètres aux stations dans les régions avoisinantes ont été considérées.

II.2. ETUDE DE PRECIPITATION

La précipitation dans la région étudiée est constituée presque totalement de l'eau de pluie. L'étude pluviométrique

du bassin versant a été effectuée à partir des mesures de précipitations fournies par l'ANAH

Le tableau II.2 nous indique les précipitations moyennes annuelles, les périodes de fonctionnement et la précipitation maximale et minimale pour chaque station.

Tableau II.2. Les données de précipitations.

Stations	Précipitations moyennes annuelles (mm)	Périodes de fonctionnement	Précipitation maximale (Année)	Précipitation minimale (Année)
Ain oussera	241,92	1914-82	515,8 (1951-52)	75,8 (1953-54)
Kef lasfar	161,54	1970-84	263,8 (1971-72)	80,2 (1983-84)
Zenzoch	207,20	1967-85	399,9 (1969-70)	81,6 (1975-76)
Birine	214,44	1954-71	371,9 (1959-60)	125,3 (1970-71)
Ain boucif	416,88	1923-84	908,7 (1933-34)	205 (1967-68)
Chahbounia	191,81	1968-81	360,4 (1968-69)	78,7 (1975-76)
Guelt. stel	332,71	1915-49	569,3 (1938-39)	77,0 (1948-49)
Boughzoul	227,86	1948-84	388,9 (1969-70)	122,9 (1954-55)

II.3.1 Altitude-pluviométrie:

L'augmentation de la pluviométrie avec l'altitude permet de définir un gradient altimétrique des précipitations dans une région donnée.

Dans notre cas, quoiqu'on ne dispose pas de stations au dessus de l'altitude de 1250m, on peut noter d'une manière générale que la pluviométrie moyenne annuelle croît avec l'altitude. La dispersion des valeurs de la pluviométrie est due au fait que les séries d'observations ne sont pas de même durée ni de même série.

Le gradient pluviométrique calculée est de l'ordre de 44 mm par 100 m d'altitude

Le tableau II.3 et la figure II.2. montrent l'augmentation de la pluviométrie avec l'altitude.

Tableau II.3: Répartition de la pluviométrie en fonction de l'altitude.

Stations	Altitude (mètre)	Précipitations moyennes annuelles (mm)
Ain boussif	1250	416,88
Guellet-stel	940	333,71
ZENZACH	830	207,20
BIRINE	750	214,44
Ain-OUSSERA	690	241,53
Kef. LASFAR	690	161,54
Chahbounia	665	191,81
Boughzoul	643	227,86

$$\frac{416,88 - 191,81}{1250 - 665} = \frac{225,07}{585} = 0,3847$$

$$\frac{416,88 - 227,86}{1250 - 643} = \frac{189,02}{607} = 0,3114$$

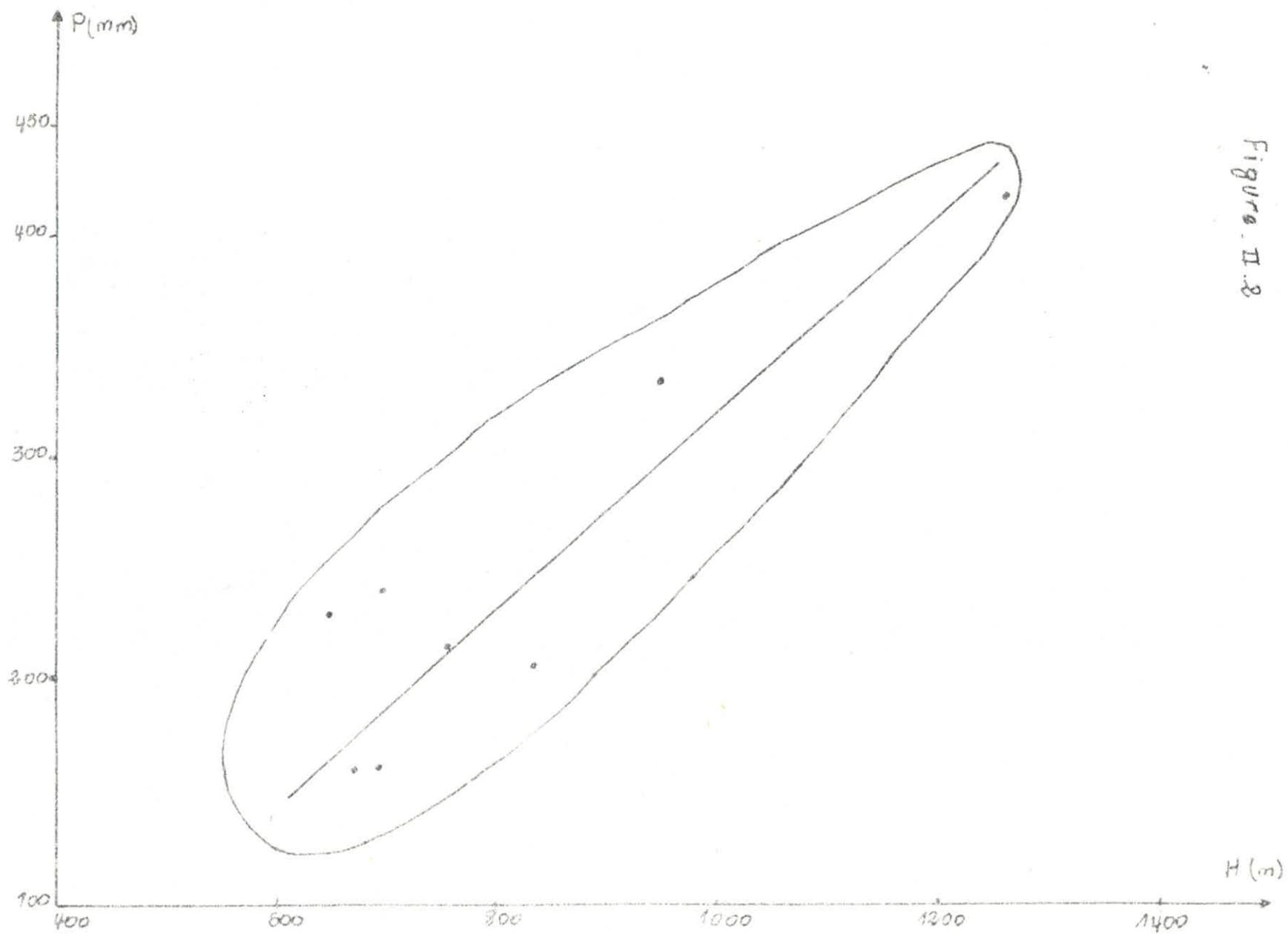


Figure. II.8

D'après les valeurs données dans le tableau précédent on constate que la région la plus pluvieuse est Ain boucif et la moins pluvieuse, Kef Lasfar

II.2.2. Détermination de la lame d'eau précipitée

Pour l'évaluation de la pluviométrie moyenne tombée sur le bassin versant d'Ain oussera, nous avons utilisé les précipitations moyennes annuelles de toutes les stations, même si elles n'intéressent pas les mêmes périodes d'observation.

Pour le calcul de cette lame trois méthodes ont été appliquées:

- Méthode de Thiessen
- Méthode des Isohyètes
- Méthode de polygones avec correction d'altitude

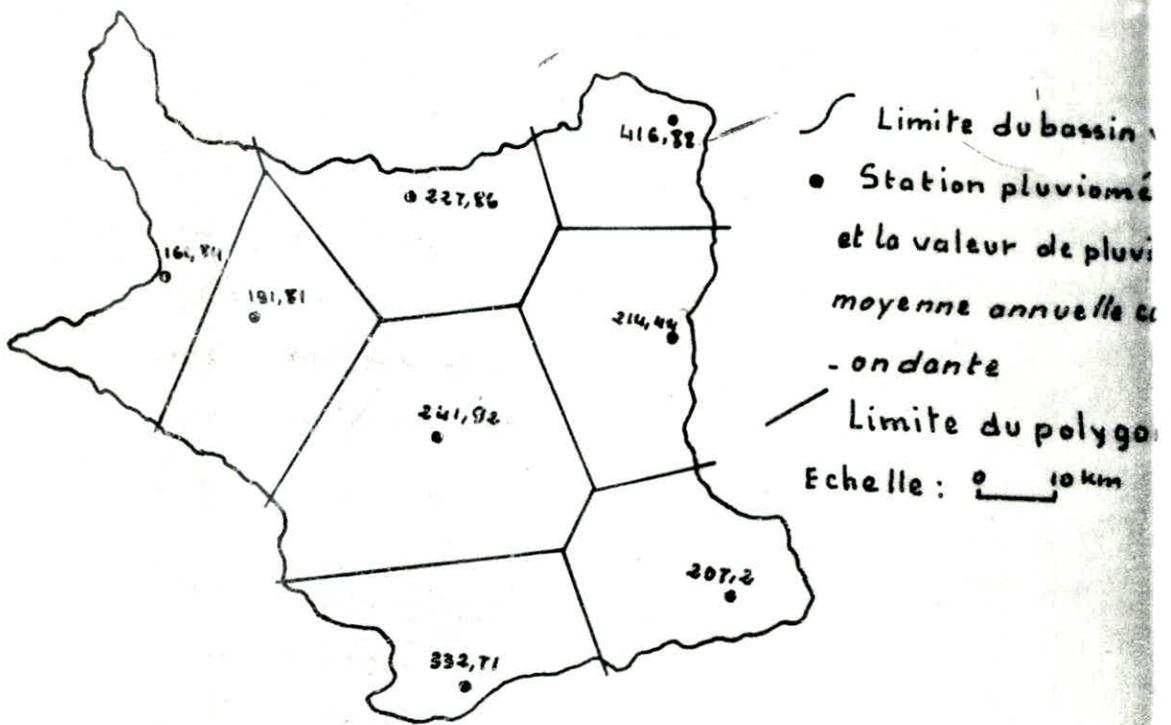
II.2.2.1. Méthode de Thiessen

C'est une méthode arithmétique. On attribue à chaque station pluviométrique, une zone d'influence de manière qu'un point quelconque situé dans cette surface soit plus près en distance horizontale de cette station que des autres.

Sur une carte, nous situerons les différentes stations que l'on reliera par des droites, dont les médiatrices correspondantes détermineront une surface polygonale autour de chaque station de mesure et la valeur de pluviométrie à chaque station correspondante au polygone.

Nous avons découpé la région en 8 polygones (figure II.3).

Figure II.3 : Polygone de Thiessen



Le planimétrage de ces secteurs permet d'obtenir la superficie d'influence de la station correspondante

Autrement dit, l'influence de chaque station est étendue jusqu'au point médiatrice de cette station et de la station avoisinante

La lame d'eau moyenne précipitée sur le bassin versant est donnée par la formule suivante :

$$P_t = \frac{\sum P_i \cdot S_i}{S} = \frac{V_t}{S}$$

avec V_t : volume total tombé sur le bassin versant.

S : surface totale du bassin versant.

P_i : précipitations moyennes annuelles de la station à l'intérieur du polygone considéré.

S_i : surface du polygone considéré.

Les résultats d'analyse utilisant cette méthode sont présentés dans le tableau II.4.

Tableau II.4: Résultats de la méthode de Thiessen Polygone

Stations	Surface du polygone P_i km^2	Pluviométrie S_i moyenne (mm)	$P_i \cdot S_i$ (Hm^3)
Ain oussera	1028,18	241,92	248,74
Kef Lasfar	663,32	161,54	107,15
Zenzach	614,81	207,20	127,39
Birine	679,13	214,44	145,63
Ain boucif	348,00	416,88	145,07
Chahbounia	654,86	191,81	125,61
Guelt-stel	570,51	332,71	189,81
Boughzoul	622,18	227,86	141,77
Total	5181,00		1231,17
Pluviométrie moyenne annuelle du bassin versant		237,63	

Ce tableau montre l'évaluation du volume d'eau tombé sur le bassin versant d'Ain oussera par la méthode des polygones de Thiessen.

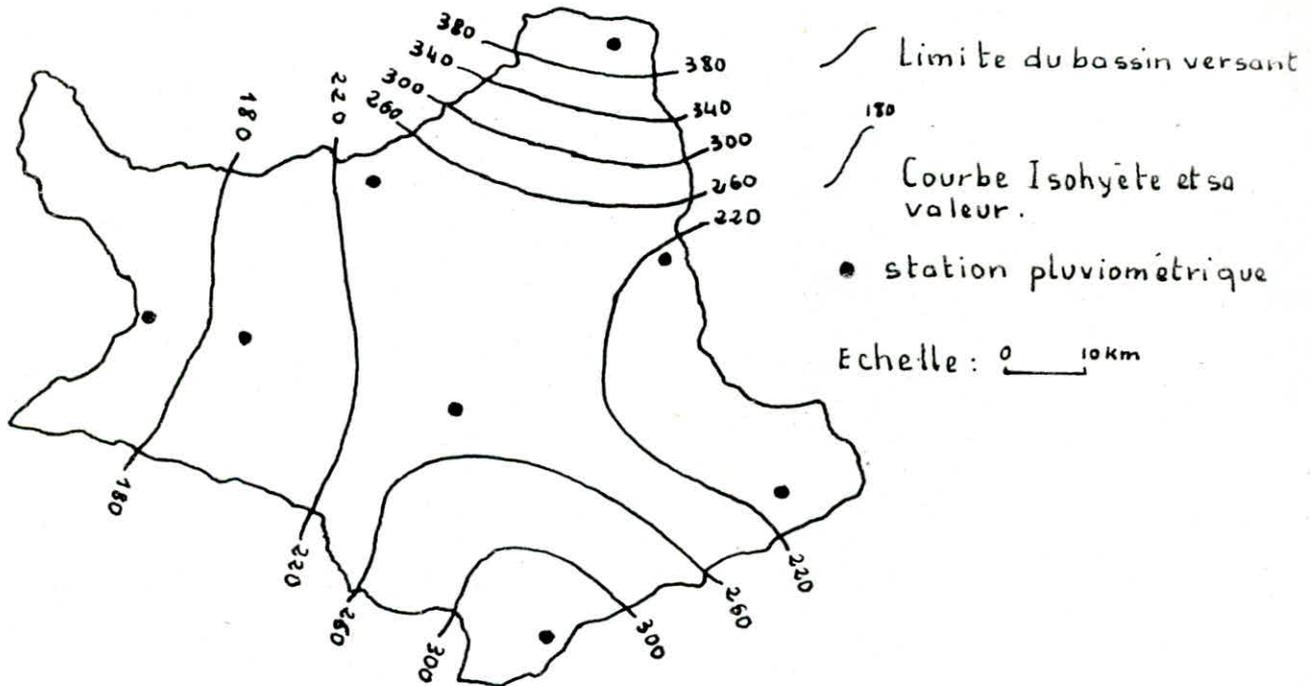
La lame d'eau précipitée calculée est de 237,63mm.

II.2.2.2. Méthode des Isohyètes

L'estimation de la lame d'eau moyenne tombée sur une région par cette méthode est la plus rationnelle, car elle tient compte des variations des pluies avec l'altitude

Connaissant les précipitations moyennes annuelles à chaque station, nous cherchons à tracer les courbes isohyètes ou lignes d'équipluviométrie (figure II.4)

Figure II.4 : carte des courbes isohyètes



Ainsi on calcule les surfaces comprises entre deux courbes isohyètes successives, en supposant que la hauteur de pluie tombée sur cette surface est égale à la moyenne des valeurs des deux isohyètes qui la délimitent:

La lame d'eau tombée sur le bassin versant est:

$$P_t = \frac{\sum P_i \cdot S_i}{S}$$

S_i : surface inter-isohyètes .

P_i : Pluviométrie moyenne inter-isohyétale considérée .

S : superficie totale du bassin versant .

Le tableau II.5 résume les résultats obtenus .

Tableau. II.5: Résultats de l'analyse par la méthode d'isohyètes

Zone inter-isohyét. ale (mm)	S_i (km ²)	P_i (mm)	V_E (Hm ³)
140 - 180	655,93	160	104,95
180 - 220	1451,61	200	290,32
220 - 260	1729,42	240	415,06
260 - 300	711,74	280	199,29
300 - 340	400,30	320	128,09
340 - 380	104,40	360	37,58
>380	127,60	380	48,49
Total	5181		1223,78
Pluviométrie moyenne annuelle du bassin versant (mm)		236,2	

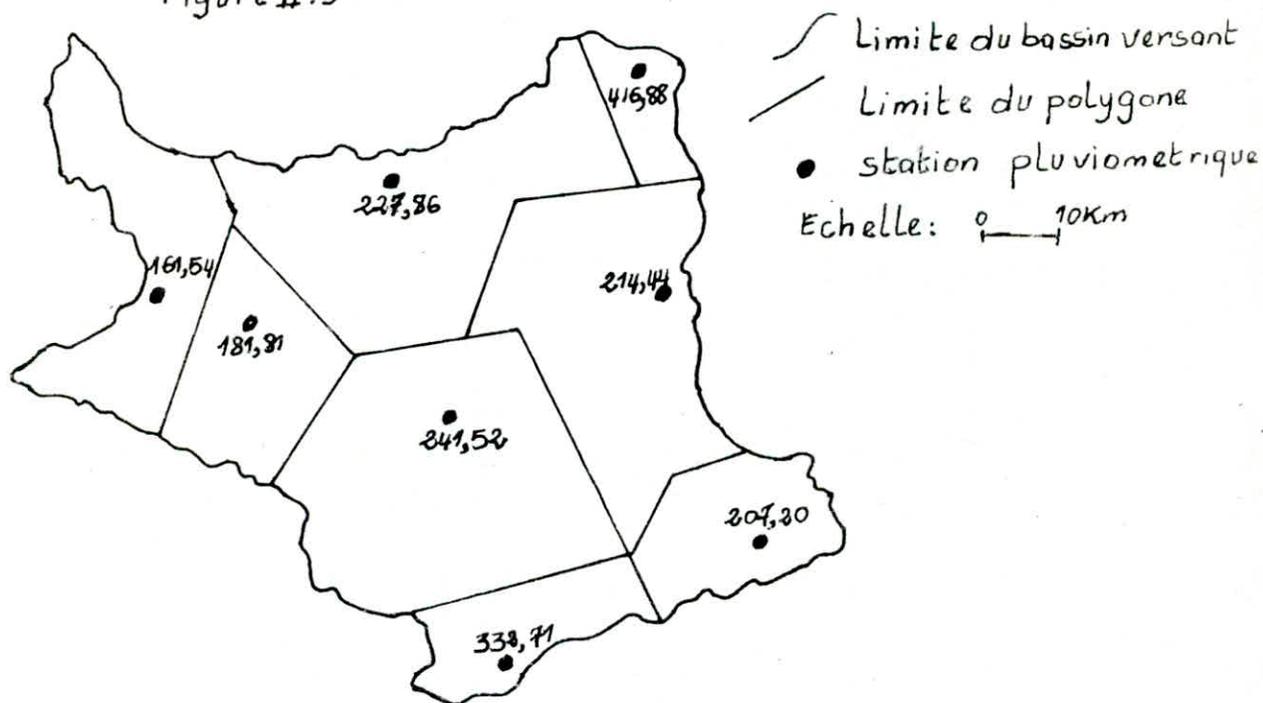
Ce tableau montre l'évaluation du volume d'eau tombé sur le bassin versant d'Ain oussera par la méthode des isohyètes .

La lame d'eau précipitée est de 236,2 mm

II.2.2.3. Méthode des polygones de Thiessen avec correction d'altitude

On relève les altitudes de toutes les stations sur la carte à l'échelle 1/1 000 000. Ensuite on détermine les altitudes moyennes entre chaque deux stations, sur une carte topographique à l'échelle 1/200 000, on tire les points correspondants aux altitudes moyennes entre chaque deux stations, les points sont rapportés sur la 1^{ère} carte et les perpendiculaires passant par ces points détermineront une surface polygonale autour de chaque station (Figure II.5)

Figure II.5



Le planimétrage de ces polygones permet d'obtenir la superficie d'influence de la station correspondante.

En supposant que la pluviométrie moyenne annuelle à chaque station est uniformément répartie sur le polygone correspondant.

La lame d'eau moyenne précipitée sur le bassin versant est:

$$P_t = \frac{\sum P_i \cdot S_i}{S}$$

avec S : surface totale du bassin versant .

P_i : Précipitations moyennes annuelles de la station à l'intérieur du polygone.

S_i : surface du polygone considéré

Tableau II.5: Résultats de La methode des polygones de Thiessen avec Correction d'altitude

stations	altitudes (m)	P _i (mm)	S _i (km ²)	P _i · S _i (Hm ³)
Ain oussera	690	241,52	1199	289,58
Kef lasfar	690	161,54	642	103,71
Zenzoch	830	207,20	404	83,71
Birine	750	214,44	938	201,14
Ain Boucif	1250	416,88	187	77,95
Chahbounia	665	191,81	478	91,68
Guellet. stel	940	332,71	326	108,46
Boughzoul	643	227,86	998,2	227,45
Total			5181	1183,68

Ce tableau montre l'évaluation du volume d'eau tombé sur le bassin versant d'Ain oussera par la méthode des polygones de Thiessen avec correction d'altitude

La lame d'eau précipitée calculée est de 228,46 mm.

Nous regroupons dans le tableau II.7 les résultats obtenus par les trois méthodes utilisées.

Tableau II.7 .

Méthodes	Précipitations (mm)
Thiessen	237,63
Isohyètes	236,20
Thiessen avec correction d'altitude	228,46
Moyenne	234,10

En conclusion, nous utiliserons pour le calcul des différents paramètres s'intégrant dans l'estimation du bilan hydrologique, la moyenne arithmétique des pluviométries moyennes obtenues par les méthodes de Thiessen, des Isohyètes et Thiessen avec correction d'altitude soit une lame moyenne de 234,10 mm.

II.3. VARIATION DES TEMPERATURES

Après la pluviométrie, le second facteur important qui conditionne l'hydroclimatologie d'une région, c'est évidemment la température atmosphérique.

Ce paramètre conditionne l'évaluation du déficit d'écoulement qui intervient dans l'estimation du bilan hydrologique.

Nous avons utilisé les relevés de températures à Ksar chellala pendant la période 1913-1937

Tableau II.8 : Variation des températures

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T (°C)	6,80	8,25	10,95	14,00	18,40	22,95	27,15	27,40	23,30	16,65	11,05	7,40

SOURCE . ANRH

II.4. RADIATION SOLAIRE

On utilise les résultats obtenus durant la période de 1960 à 1961 à Djelfa

Tableau II.9 : Radiation solaire en cal /cm² par jour

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
R.S	179	303,3	365,5	439	502	503	521,5	437	397,5	329,5	222	177,5

SOURCE . ANRH

D'après les tableaux précédents on constate que la température présente un maximum au mois d'Aout et la radiation solaire au mois de juillet ce qui spécifie la période la plus chaude

II.5. ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION

L'Evapotranspiration est un phénomène important du cycle hydrologique . Elle englobe l'ensemble des phénomènes d'évaporation directe par retour dans l'atmosphère , à partir des réservoirs de surface (lac , mer , etc ...) , souterrain (nappes aquifères) et de transpiration des plantes .

Elle dépend du climat et de ses variations qui sont déterminées par l'humidité de l'air, la vitesse du vent, la température de l'air et de l'eau, le rayonnement solaire et la pression atmosphérique.

On distingue ainsi l'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle.

II. 5.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle

Elle correspond à l'évaporation d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau, pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques.

Elle a été estimée par les formules empiriques suivantes :

II. 5.1.1. Formule de SERRA

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

avec $I = \sum_{i=1}^{12} i$ où $i = 0,09 T^{3/2}$

T : Température moyenne mensuelle

$$a = 1,6 \frac{I}{100} + 0,5$$

Le tableau II.10 résume les résultats obtenus

Tableau II.10 : ETP mensuelles et annuelles calculées

Mois	T (°C)	i	ETP (mm)
J	6,80	1,60	13,32
F	8,25	2,13	18,54
M	10,95	3,26	30,09
A	14,00	4,71	45,81
M	18,40	7,10	73,10
J	22,95	9,89	106,66
J	27,15	12,73	142,17
A	27,40	12,91	144,42
S	23,30	10,12	109,46
O	16,65	6,11	61,61
N	11,05	3,31	30,56
D	7,40	1,81	15,40
Total		75,68	791,14

II. 5.1.2. Formule de THORNTHWAITE

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

avec T : Température moyenne mensuelle

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{où} \quad i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}$$

i : Indice de température mensuelle

$$a = 0,402 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3$$

Le tableau II.11 exprime les résultats obtenus

Tableau II.11: ETP mensuelles et annuelles calculées

Mois	T (°C)	i	ETP (mm)
J	6,80	1,59	13,12
F	8,25	2,13	18,26
M	10,95	3,28	29,63
A	14,00	4,75	45,10
M	18,40	7,19	71,97
J	22,95	10,04	105,02
J	27,15	12,66	139,98
A	27,40	13,44	142,19
S	23,30	10,28	107,77
O	16,65	6,18	60,66
N	11,05	3,32	30,09
D	7,40	1,81	15,16
Total		76,37	778,95

On constate que les valeurs de l'ETP sont maximales en été (juillet à septembre) et relativement plus faible en hiver (décembre à février).

II.5.1.3 Formule de BLANEY. CRIDDLE

$$ETP = \frac{KTP}{100}$$

- K coefficient variable avec les cultures et la région utilisé dans la formule de Blaney-Criddle. Dans notre cas, en fonction de la vitesse du vent comprise en moyenne entre 390 et 535 km/h, une humidité relative moyenne, des vastes étendues

de sols, et en l'absence de toute mise en valeur agricole par temps chaud et venteux, nous avons pris le coefficient $K = 0,44$

- P: somme des heures de jour pendant la période considérée, mesurée en centième de la somme des heures de jour de l'année entière.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	7	6,9	8,26	8,80	9,93	10,07	9,93	9,37	8,33	7,85	6,92	6,8

SOURCE: ANRH

- T: température moyenne pendant la période considérée (période de 1913 à 1937).

Tableau II. 12: ETP mensuelles et annuelles calculées

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
ETP (mm)	34,5	36,13	47,74	56,26	70,74	82,50	89,75	85,16	68,84	54,37	40,13	34,44	700,56

II.5.1.4 Formule de TURC

$$ETP = 0,40 (I_g + 50) \left(\frac{T}{T + 15} \right)$$

I_g : Radiation globale moyenne en $cal/cm^2/jour$

T: Température moyenne mensuelle en $^{\circ}C$

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
ETP (mm)	28,60	50,14	70,10	94,40	121,60	133,80	147,20	125,90	108,90	79,90	46,20	30,00	1036,70

Tableau II. 13: ETP mensuelles et annuelles calculées

Conclusion

II. 5.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle ETR

On appelle évapotranspiration réelle (ETR) dans un intervalle donné, l'évapotranspiration qui se produit pendant cette durée dans les conditions réelles de teneur en eau du sol : c'est la lame d'eau effectivement évaporée et transpirée.

Parmi les méthodes de calcul de l'évapotranspiration réelle, nous avons choisi la formule de TURC et de COUTAGNE.

II. 5.2.1. Formule de TURC

Elle permet d'évaluer l'évapotranspiration réelle moyenne annuelle qui est fonction de la température moyenne annuelle et de la hauteur moyenne des précipitations annuelles

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm ($P = 234,1$ mm).

T : Température moyenne annuelle en °C ($T = 16,19$ °C).

$L = 300 + 25T + 0,05T^2$ ($L = 917$).

Le rapport $\frac{P^2}{L^2} < 0,1$ dans ce cas on prend $ETR = P = 234,1$ mm.

II. 5.2.2. Formule de COUTAGNE

Elle est basée sur les mêmes paramètres que celle de TURC, mais elle n'est utilisable que lorsque les précipitations sont comprises entre $\frac{1}{8} \lambda$ et $\frac{1}{2} \lambda$.

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

P: Pluviométrie moyenne annuelle en mètres

T: Température moyenne annuelle en °C

Dans notre cas, la condition, $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$, n'est pas vérifiée

II. 5.3. Discussion des résultats

Le tableau II.14 récapitule les valeurs de l'évapotranspiration, obtenues par les différentes méthodes.

	Méthodes	Evapotranspiration moyenne annuelle
ETR (mm)	TURC	234,10
ETP (mm)	SERRA	791,14
	THORNTHWAITE	778,95
	BLANEY. CRIDDLE	700,56
	TURC	1036,70

Tableau II.14: Tableau récapitulatif de l'évapotranspiration
Les formules de calcul de l'ETP nous ont donnés des valeurs différentes. La valeur de l'ETP prise est donc celle qui est la plus grande (donnée par la formule de TURC), et ceci relativement aux conditions climatologiques de la région.

II.6. ESTIMATION DUBILAN HYDROLOGIQUE

L'équation hydrologique globale, traduisant la quantité d'eau entrant et sortant, s'écrit sous la forme suivante :

$$P = E + R + I - S$$

avec P : précipitation moyenne annuelle

R : ruissellement moyen annuel

E : évapotranspiration réelle moyenne annuelle

I : infiltration moyenne annuelle

S : variation de stockage dans le bassin

Si les observations sont faites pour une longue durée la signification de "S", qui n'est pas cumulative, décroît et peut être considérée comme négligeable pour des points de relèvement initiaux et finals

On aura donc une équation classique sous la forme :

$$P = E + R + I$$

D'après les calculs faits pour la détermination de l'ETR on constate que l'eau précipitée est égale à l'eau évaporée. D'autre part on a l'établissement du barrage de Boughzoul ce qui veut dire qu'on a une certaine quantité d'eau qui est ruissellée et qui alimente le barrage de ce fait on peut conclure que les formules établies pour le calcul de l'ETR ne sont pas réellement applicables.

II.6.1. Calcul de la lame d'eau ruissellée

D'après les données du barrage de Boughzoul on a :

- La superficie du bassin versant : $S = 20500 \text{ km}^2$

- Débit moyen annuel : $Q = 4,49 \text{ m}^3/\text{s}$

- L'Apport annuel : $A = 4,49 \times 365 \times 24 \times 3600 = 141596640 \text{ m}^3$

La lame d'eau ruissellée sera donc :

$$L_R = \frac{A}{S} = \frac{141596640}{20500 \cdot 10^6} = 7 \text{ mm}$$

Les différentes autres formules qui existent pour le calcul de la lame d'eau ruissellée sont :

II. 6.1.1. Formule de SAMIE

$$L_R = P^2 (293 - 2,2\sqrt{S})$$

avec L_R : lame d'eau ruissellée en mm

P : Pluviométrie moyenne annuelle en m ($P = 0,2341 \text{ m}$)

S : Surface du bassin en km^2 ($S = 5181 \text{ km}^2$)

La lame d'eau ruissellée calculée est de ($L_R = 7,37 \text{ mm}$).

II. 6.1.2. Formule de Medinger

$$L_R = P^2 (0,24 - 0,0014\sqrt{S})$$

avec L_R : lame d'eau ruissellée en m

P : Pluviométrie moyenne annuelle en m ($P = 0,2341 \text{ m}$)

S : Surface du bassin en km^2 ($S = 5181 \text{ km}^2$)

La lame d'eau ruissellée calculée est de ($L_R = 0,00763 \text{ m} = 7,63 \text{ mm}$)

II. 6.1.3. Formule de DERI

$$\bar{A} = 0,31 \times P^{3,022} \times S^{1,016}$$

avec \bar{A} : Apport moyen annuel (en $10^6 \text{ m}^3/\text{an}$)

S : Superficie du bassin en km^2 ($S = 5181 \text{ km}^2$)

P : Pluviométrie moyenne annuelle en m ($P = 0,2341 \text{ m}$)

$$\bar{A} = 0,31 \times (0,2341)^{3,022} \times (5181)^{1,016} = 22,854 (10^6 \text{ m}^3/\text{an})$$

- Débit spécifique d'écoulement :

$$Q_s = \frac{\bar{A}}{S} = \frac{22,854}{5181} = 0,00441 \text{ m}^3/\text{an}/\text{km}^2$$

Lame d'eau ruissellée : $L_R = 1000 \cdot Q_s$ (en mm)

$$L_R = 4,41 \text{ mm}$$

II. 6.2. Calcul d'infiltration

D'après les conditions géologiques et climatologique de la région, on suppose que 5% d'eau précipitée est infiltrée

$$I = 5\% \cdot P$$

avec P : Pluviométrie moyenne annuelle

$$I = \frac{5 \times 234,1}{100} = 11,7 \text{ mm}$$

Ruisselement ?

CHAPITRE TROISIEME

ETUDE GEOLOGIQUE

III.1. FORMATIONS GEOLOGIQUES

La géologie de la plaine d'Ain oussera est complexe avec des structures tectoniques émergentes au nord et au sud du bassin versant. La structure de la plaine se présente comme un vaste anticlinal à cœur crétacé dont l'axe passerait par Boucedraïa. La plus part de la plaine est recouverte par les sédiments quaternaires.

Les études antérieures géologiques indiquent une stratigraphie intéressante avec une vaste étendue des ères géologiques à partir du trias jusqu'au récent (quaternaire).

Dans la carte III.1 la disposition des différentes formations géologiques est présentée. La succession stratigraphique et les formations caractéristiques de chaque étage sont rapportées dans le tableau III.1.

La coupe géologique traversant la région dans une direction NNO et SSE est tracée dans la figure III.1, d'après cette coupe il est évident que la plaine d'Ain oussera entre Guelt-stel et au voisinage d'Ain oussera est presque plate, comportant des formations albiennes près de la surface. Les dépôts plio-quaternaires sont épais vers le nord d'Ain oussera.

Nous avons concentré notre étude dans la partie centrale du bassin (entre Ain oussera et Guelt-stel).

III. 2. LA STRUCTURE TECTONIQUE

Comme on l'a déjà indiqué précédemment, la plaine d'Aïn oussera se présente comme un vaste anticlinal, plat et large de dimensions approximatives 30x60 kms.

L'axe de cet anticlinal, d'âge crétacé, passe par djebel Touil à l'est, et Boucedraïa, Koubat sidi Aïssa à l'ouest. Cette structure, la plus importante de la zone étudiée, est cependant compliquée au nord et au sud par des structures de second ordre. La direction de ces structures est Atlassique c'est à dire ENE - 050°.

La pente du flanc nord est beaucoup plus accentuée que celle du flanc sud où les pendages sont de l'ordre de 15° à 30° alors qu'au nord ils varient de 40° à 50°.

Une faille, mise en évidence par la géophysique et en concordance avec le relevé géologique de caratini, sépare les affleurements Aptiens au nord et Cénomaniens au sud. (voir coupe géologique figure III. 1).

Au centre de la zone étudiée, passe l'axe d'un vaste anticlinal plat à coeur crétacé et à stratification subhorizontale, par le djebel Touil à l'est, et à l'ouest par Boucedraïa, Koubat sidi Aïssa d'orientation sensiblement parallèle à celui de khratoua, Doghmane.

En conclusion, la plaine d'Aïn oussera se présente comme une zone assez tectonisée avec des structures émergentes au nord et au sud recouverte par une couche d'âge quaternaire.

Tableau III.1: Formations géologiques

Age en millions d'années	Systèmes géologiques	Epoques	Etages et formations	Affleurements et observations
1	QUATERNAIRE		calcaires, alluvions (sables, limons), argiles sableuses, galets, dunes	Les vallées des oueds, Ain oussera, el Krachem
70	TERTIAIRE	MIOCENE	marnes gréseuses, argiles, grés et calcaires	Duest d'Ain oussera, el Krachem
		EOCENE	calcaires à numulites, calcaires marneux et marnes gypseuses	Birine
135	CRETACE	SUPERIEUR	<u>sononien</u> : alternances de calcaires biolithiques, oolithiques et marnes	Kef en nesser, Ras nokra nord d'Ain oussera (el Krachem)
		MOYEN	<u>albien</u> : grés grossiers à ciment calcaire silicieux, argile, argile-carbonaté, calcaire gréseux, grés gris, grés dur, grés tendres, marnes, sable, marne argilo-gréseuse, calcaires gréseux	Koudiat essiada, Bou cedraïa, oued rnel, el Krachem, sud Ain oussera.
			<u>Cénomanién</u> : alternances de calcaires, calcaire dolomitique, calcaire marneux, marne, argile gypseuse	Ain oussera, Guelt-stal, Kef el Bkhour, el mouilah, Kef en nesser, Ras nokra.

			<p><u>turonien:</u> alternances de marnes, calcaires dolomitiques, couches d'anhydride</p>	<p>Ras nokra, kef en nesser, koudiat el fia, koudiat es seguia, kef el Bkhour et chergui</p>
			<p><u>néocomien:</u> grès argileux fins, grès à ciment calcaire gréseux quartzeux.</p>	<p>il n'y a pas deaffleurement, le forage de Bou cedraïa a rencontré ces formations à -4300 de profondeur</p>
			<p><u>barremien:</u> grès argileux fins, grès à ciment calcaire-marneux, calcaire gréseux avec de quartz, grès grossiers, calcaires gréseux, argiles marneuses (verte, grise), grès fins (blancs), golets de quartz, bancs de dolomie silicifiés, argiles gréseuses.</p>	<p>Bou cedraïa, oued el begra mouilah, Ain oussera, chaine sebâa rouss, oued el mouilah, djebel doghmane, el Khotoua, Koudiat doghmane, ouest d'Ain oussera.</p>
			<p><u>aptien:</u> grès à ciment calcaire, calcaire, grès, calcaires marneux, argiles gréseuses, calcaires gréseux, grès carbonatés, marnes riches en grains de quartz (gris-vertâtre), calcaires gris à ciment cristallin, marnes argileuses.</p>	<p>chaine sebâa rous, hassi ben mecki, oued mouilah, oued el begra, forage bou cedraïa</p>
			<p><u>callovo-oxfordien:</u> grès fins quartzitiques, argiles marneuses, dépôts très fins et durs à ciment marne-argileux, calcaires marneux.</p>	
	CRETACE	INFERIEUR		
	JURASSIQUE	SUPERIEUR		

180	JURASSIQUE		oxfordien : marnes argileuses , calcaires , graviers	Le forage de bou cedraïa à rencontré ces formations à - 4300 de profondeur.
		MOYEN	dogger : calcaires fins gréseux , calcaires légèrement argileux	
		INFERIEUR	Lias : calcaires biolithiques , calcaires argileux , bancs de dolomies microcristallines , calcaires marneux , calcaires , marnes , marnes gréseuses	le forage de bou cedraïa à rencontré ces formations à - 4300 de profondeur.
225	TRIAS		conglomérats du quartz , des argilites , dolomie microcristalline , des grés , calcaires marneux , calcaires , anhydrite marnes	le forage de Bou. cedraïa

CHAPITRE QUATRIEME

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

IV. 1. GENERALITES

Dans la plaine d'Ain oussera, dix-huit (18) piézomètres ont été réalisés, par l'ANRH, dans le cadre de l'étude hydrogéologique de la région. Ainsi quinze (15) forages recensés ont été réalisés dans le but de l'A.E.P de la population.

La plupart des forages ont rencontré les formations de l'albien, juste après avoir traversé sur une faille épaisseur de la couche plio- quaternaire.

Généralement les débits dans les forages varient de 10 à 97 l/s la qualité de l'eau est variable selon la région mais en général potable à la consommation, et aux diverses utilisations sans avoir au préalable à la traiter.

Les piézomètres situés à l'est de l'axe route Ain oussera - Djelfa ont été implantés d'après les résultats de la campagne de géophysique de "strojexport", par contre les autres qui situés dans la zone ouest par rapport à la route Ain-oussera - Djelfa ont été implantés avant la campagne de géophysique menée par "ALGEO", dans le but de confirmer la présence des formations de l'albien. L'ensemble des piézomètres ont confirmé l'extension des terrains aquifères de l'albien.

D'autre part environ de 650 puits sollicitent la nappe aquifère de la plaine d'Ain oussera. Selon la région ces puits sollicitent, la nappe contenue dans les poudingues pliocènes, les calcaires et

argiles sableuses du plio-quaternaire, la nappe albiennne semi-captive dans la région de la ville d'Ain oussera et la nappe phréatique contenue dans les alluvions des oueds.

On remarque que les puits de la ville d'Ain oussera sollicitent la nappe semi-captive de l'albien

Plus à l'est, à Ain mouillah, les puits sollicitent la nappe contenue dans les alluvions du quaternaire qui sont alimentées par des sources se situant au dessus du niveau de oued mouillah. Cette nappe est alimentée par la nappe albiennne et drainée par l'oued.

A Bouira-sahary, les puits sollicitent les formations aquifères des plio-quaternaire constituées, généralement de calcaires et d'argile sableuse.

Dans la région de Birine les puits s'alimentent dans les couches aquifères du quaternaire, et de l'Eocene représenté par des calcaires à numilites morcelés.

Pour l'ensemble de la plaine, la profondeur des puits est très variable, de quelques mètres, u à 5 m, à une cinquantaine de mètres. Les plus profonds sont généralement au sud et sud-est de la région. Pendant la période sèche les puits sont en général secs.

La nappe albiennne est soit semi-captive ou libre dans la zone nord, et aux abords des principaux oueds (oued Touil, ouerk, mouillah Bou cedraïa) et captive par endroits.

Le niveau statique dans les piézomètres est variable selon la zone de son implantation.

IV.2. RESERVOIR

IV.2.1. Description de l'aquifère

Au point de vue hydrogéologique toutes les formations perméables

qui se trouvent en dessous de la surface piézométriques peuvent être constituer des aquifères de ce fait à l'exception de couches argilo-marneuses et les différents types de grés, de calcaires et de sables sont classés comme de formations favorables à l'accumulation des eaux.

Les différentes formations décrites dans le chapitre de la géologie peuvent présenter, avec des degrés d'importance différentes, des zones favorables à l'accumulation des eaux.

Le barremien est constitué en majeure partie des grés, ces grés de granulométrie variable, du grain fin au grain grossier, ils ont de bonnes caractéristiques lithologiques, le barremien dont le toit se situe à la cote 309 m au forage de Bou-cedraïa constitue un aquifère qui pourrait s'avérer très important.

L'aptien est constitué de grés à ciment calcaire, avec des intercollations d'argile et de marnes dont l'épaisseur est très importantes (de 20 à 50 m), constituent un écran imperméable qui empêche la libre circulation de l'eau, dans l'ensemble ces formations de l'aptien à cause des marnes et des argiles souvent présentes ne sont pas susceptibles de constituer un aquifère intéressant pour pouvoir soutirer des débits importants.

L'albien est constitué essentiellement des grés friables, de sables et de quelques passées argilo-marneuses; il constitue l'aquifère le plus important et le plus intéressant de la région du fait d'une part, de la proximité de la surface du sol, de son toit même qu'il y affleure, et d'autre part qu'il soit beaucoup moins cloisonné par les argiles que les autres formations.

Le cénomaniens constitué par des alternances de calcaire, marne et argile dépasse les 200 m d'épaisseur, les essais d'eau faits au niveau des couches cénomaniennes dans le forage

d'el Krachem sont négatifs , dans la région du douar Kef en nesser, les calcaires dolomitiques constituent un aquifère qui toute fois sera limité .

Le turonien constitué de calcaires dolomitiques , qui constituent un aquifère sans grande importance .

Au niveau de la couche eocene , les calcaires à numilites constituent un aquifère réduit exploité par quelques puits dans la région de Birine .

Les alluvions récentes sableuses ou limoneuses des oueds , Le remplissage tertiaire continental constitués de poudingues sableux, renferment une nappe sollicitée par de nombreux de puits et drainée par les oueds qui parcourent la région .

Parmi les formations décrites ci-dessus les albiens constituent un aquifère beaucoup plus important , pour des raisons déjà énumérées , et qui est actuellement exploité dans la région . L'extension de ces couches albiens est influencée par la tectonique .

En général ces formations suivent la structure anticlinale de la région , la pente de flanc nord étant plus accentuée .

Dans la région nord les albiens se trouvent à une profondeur de 1018m , aussi ils affleurent dans la partie centrale de la plaine à Bou cedraïa et Bellevue .

Au centre de la zone étudiée , des couches supérieures horizontales avec de pente négligeable sont présentées . La plupart de notre étude est concentrée dans cette région centrale . La potentialité du barrémien n'est pas encore établie . En cas d'une forte demande de besoins en eau dans le futur il faut exploité cette formation , en tout cas une étude de l'évaluation de ressource de barrémien serait nécessaire par de forages de reconnaissance .

IV. 2.2. Toit de l'albien

Les albiens étant l'aquifère le plus important, une étude détaillée par la prospection géophysique a été muni pour savoir la structure et l'extension de ces formations.

La carte. IV. 1 présente les courbes isobathes du toit de l'albien, établit à l'échelle 1/200 000, cette carte a été dressée sur la base des profils géophysiques et de forages existés.

Les courbes isobathes donnent les cotes absolues du toit d'albien, on peut apprécier une tendance générale de ces courbes dans la direction ENE - OSO qui est l'alignement générale de la direction des structures atlassiques.

D'une manière générale cette carte révèle une structure calme et plate. Par comparaison de la cote du sol avec la cote du toit de l'albien, on constate une structure anticlinale, plate au centre de la région étudiée, aux environs de boucedraïa, ces résultats conforment à la tectonique de la région exposée dans le chapitre III.

On remarque que la pente de ces formations est diminué vers le sud et sud-Ouest par contre dans la région nord autour d'Ain oussera, elle est très accentuée. On a tiré cette conclusion à partir de la répartition des courbes isobathes, Vers le sud et sud-ouest les courbes isobathes sont bien séparées, et dans les environs d'Ain oussera sont très rapprochées indiquant une grande pente.

IV.3. ETUDE PIEZOMETRIQUE

IV.3.1. Introduction

Les cartes de la surface piézométrique, dites piézométriques, établies avec les données sur les niveaux piézométriques, représentent, à une date donnée, la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques.

Les cartes piézométriques sont les documents de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions capacitive et conductrice du réservoir et du comportement hydrodynamique de l'aquifère, c'est la synthèse la plus importante d'une étude hydro-géologique.

La surface piézométrique est, comme la surface du sol, représentée par des courbes d'égale altitude de niveau d'eau, soit d'égal niveau piézométrique, dites courbes hydroisohypses.

Les courbes hydroisohypses sont tracées par la méthode d'interpolation du triangle, les données sont groupées par trois aux sommets de triangle (Figure IV.1). Les côtés du triangle sont tracés et divisés en segments proportionnels. Les courbes hydroisohypses sont obtenues en joignant, par des segments de droite, les points d'égal niveau. Les tracés sont lissés pour obtenir des courbes régulières.

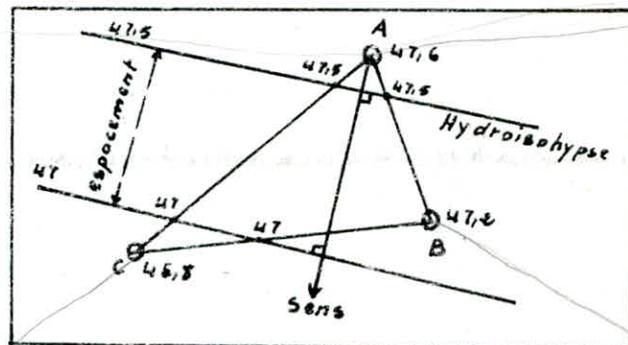


Figure IV.1

Un réseau piézométrique de 105 points d'eau, établi par l'ANRH, répartis à travers la plaine permet d'observer la fluctuation du niveau statique de la nappe.

Ces points d'eau ont fait l'objet d'un relevé piézométrique en hautes eaux (période humide) et en basses eaux (période sèche)

Nous avons choisi les mesures de l'année 1986 pour laquelle les mesures sont complètes. Ainsi nous avons dressé deux cartes hydroisohypses pendant la période humide (Decembre 86) et la période sèche (Mai 86). (Cartes IV.a, IV.b).

Nous avons utilisé la méthode d'interpolation du triangle, expliquée ci-dessus, pour tracer la carte piézométrique à l'échelle 1/200 000.

IV.3.2. Interpretation des cartes piézométriques

Les courbes piézométriques représentent les lignes équipotentielles dont les perpendiculaires correspondantes sont les lignes du courant.

Les courbes piézométriques nous permettent de définir l'écoulement souterrain des eaux de la nappe aquifère, de calculer le gradient hydraulique qui est un paramètre important dans l'estimation des apports et de voir les relations hydrauliques qui pourraient exister entre les nappes aquifères des différentes terrasses. De ce fait, nous observons sur les cartes hydroisohypses que l'écoulement souterrain présente une légère variation durant toute l'année.

Les zones de drainage correspondent approximativement aux directions des différents oueds de la région, ceux-ci jouent le rôle de drain.



Le gradient hydraulique de la nappe est sensiblement le même ($i = 0,008$) sur l'ensemble de la plaine.

On constate dans la zone d'alimentation (chaîne de montagnes de sebaâ rous) que les écoulements sont divergents à l'ouest de la plaine à partir de l'axe Ainoussera - djelfa et convergents dans la zone est à partir de ce même axe.

Dans la zone ouest, limitée à l'est par l'axe Ainoussera - djelfa et l'ouest par l'oued Touil, la nappe est drainée par les oueds guernini, en nefinda, cedraïa et mouilah qui se jettent soit dans le Touil, ou coulent vers le nord.

Dans la partie est, les petits oueds ne présentent pas d'intérêt particulier, et tous vont se perdre dans la plaine.

En conclusion la carte piézométrique nous a permis de délimiter :

- la zone à écoulements divergents avec forte pente du gradient hydraulique
- la zone de drainage de la nappe
- la zone de convergences des écoulements vers des régions topographiquement plates, ou à pentes relativement faible qui représente la zone la plus favorable pour le captage des eaux souterraines.

IV.3.3. Fluctuations de la nappe

L'analyse de la surface piézométrique des aquifères à nappe libre aboutit à l'étude de leur comportement hydrodynamique dans l'espace à la date des mesures de niveaux piézométriques. Celle des fluctuations introduit leur variabilité dans le temps.

Elle conduit à trois ensembles de données :

- évolution du comportement hydrodynamique dans le passé, base des prévisions au cours d'étages futures. Etude des variations dans le temps des conditions aux limites hydrodynamiques et plus particulièrement sur l'alimentation par infiltration des précipitations efficaces
- évaluation de la variation de la réserve en eau souterraine ou réserve dynamique et sa évolution dans le temps.
- prévision des niveaux piézométriques d'étiages et des débits d'étiage des cours d'eau drainants.

Interprétation des résultats obtenus

D'après le tableau de fluctuations, on constate que le maximum des valeurs sont négatives, ceci est dû au fait que le niveau piézométrique au mois de mai est généralement supérieur qu'au mois de décembre. (tableau. IV.1)

Cette élévation de niveau piézométrique s'explique par le fait que l'eau qui s'infiltré dans la zone d'alimentation en période humide met un grand retard pour arriver à la nappe ce qui fait que le niveau piézométrique au mois de mai sera donc le niveau piézométrique initial plus la lame d'eau arrivant à la nappe.

Tableau. IV.1: Evaluation des fluctuations

BOUIRA SAHARY					
N° de pt d'eau	Decembre 86		Mai 86		Fluctuation (m)
	NS (m)	NP (m)	NS (m)	NP (m)	
10	8,96	807,027	8,80	807,187	-0,16
16	19,05	820,738	19,74	820,048	0,69
34	19,53	747,319	19,48	747,369	-0,05
36	41,98	696,402	42,00	696,382	0,02
37	37,56	710,427	36,52	711,467	-1,04
39	43,08	690,602	42,62	691,062	-0,46
52	35,30	729,877	35,37	729,807	0,07
54	29,56	744,386	30,02	743,926	0,46
58	15,09	778,930	15,40	778,620	0,31
59	34,62	765,093	35,02	764,693	0,40
84	11,57	684,148	11,51	684,208	-0,06
88	12,84	685,016	12,17	685,686	-0,67
93	15,46	686,257	16,32	685,397	0,86
102	21,89	693,117	21,82	693,187	-0,07
104	15,04	688,799	15,05	688,789	0,01
107	16,27	688,007	16,23	688,047	-0,04
108	15,98	684,834	15,61	682,204	-0,37
124	35,98	737,552	38,33	735,202	2,35
125	39,25	723,255	40,36	722,145	1,11
P4	30,36	717,154	34,46	719,054	-1,9
P7	31,42	706,108	31,20	706,328	-0,22
P8	5,86	687,895	10,14	686,715	1,18

AIN OUSSERA					
N° de pt d'eau	Decembre 86		Mai 86		Fluctuation (m)
	NS (m)	NP (m)	NS (m)	NP (m)	
8	29,71	688,240	29,48	688,470	- 0,23
11	23,53	687,191	23,42	687,301	- 0,11
13	-	-	-	-	-
15	27,93	685,846	27,50	686,176	- 0,33
16	-	-	-	-	-
18	22,52	686,700	22,41	686,810	- 0,11
20	-	-	-	-	-
21	27,26	686,068	28,30	686,028	0,04
27	39,22	682,564	39,10	682,684	- 0,12
28	53,99	693,341	54,52	692,811	0,53
31	10,36	716,249	9,90	716,709	- 0,46
35	55,87	730,513	56,02	730,363	0,15
36	45,13	725,025	43,16	726,995	- 1,97
42	16,72	702,949	16,66	703,009	- 0,06
59	34,50	703,147	33,88	703,767	- 0,62
64	-	-	-	-	-
P9	18,26	687,659	18,16	687,759	- 0,10
P11	-	-	-	-	-
P16	-	-	-	-	-

BIRINE					
N° de pt d'eau	Decembre 86		Mai 86		Fluctuation (m)
	NS (m)	NP (m)	NS (m)	NP (m)	
63	14,34	681,755	14,29	681,805	- 0,05
85	17,02	681,409	17,09	681,339	0,07
86	16,16	681,437	14,68	682,917	- 1,48
88	14,86	683,459	14,62	683,699	- 0,24
100	21,27	679,148	20,93	679,488	- 0,34
104	19,13	689,338	19,02	689,448	- 0,11
106	27,27	680,383	27,38	680,273	0,11
114	26,72	680,218	26,28	680,658	- 0,44
116	26,58	677,092	23,96	679,712	- 2,62
P1	23,98	695,777	-	-	-
P6	39,56	682,213	-	-	-
P3	40,32	727,292	40,46	727,152	0,14
DJEBEL KRADOU					
N° de pt d'eau	Decembre 86		Mai 86		Fluctuation
	NS (m)	NP (m)	NS (m)	NP (m)	
29	-	-	-	-	-
45	15,37	747,155	15,25	747,275	- 0,12
47	14,80	743,463	11,23	747,033	- 3,57
98	13,58	757,006	13,55	757,036	- 0,03
123	12,06	755,188	11,96	755,288	- 0,10
125	23,88	760,162	23,86	760,182	- 0,02

GUELT. STEL					
N° de pt d'eau	Decembre 86		Mai 86		Fluctuation (m)
	NS (m)	NP (m)	NS (m)	NP (m)	
2	48,54	756,828	49,06	756,308	0,52
7	46,97	759,435	47,21	759,195	0,24
8	47,52	747,994	-	-	-
9	39,97	753,107	39,92	753,157	- 0,05
13	23,32	755,721	19,18	759,861	- 4,14
15	21,67	848,994	22,27	848,394	0,60
16	34,52	792,513	32,48	794,553	- 2,04
22	-	-	-	-	-
25	34,92	761,289	35,48	760,729	0,56
27	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
P13	94,18	730,195	-	-	-
P14	41,30	756,919	41,56	756,659	0,26
P12	45,45	755,271	45,57	755,151	0,12
26	21,49	768,586	14,42	775,656	- 7,07
KEF BKHOUR					
N° de pt d'eau	Decembre 86		Mai 86		Fluctuation (m)
	NS (m)	NP (m)	NS (m)	NP (m)	
13	8,42	820,243	8,82	819,843	0,40
32	13,86	758,600	14,13	758,330	0,27
36	16,25	761,544	16,73	761,064	0,48
P18	-	-	-	-	-
P15	7,89	755,840	7,76	755,970	- 0,13

IV.4. PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES

Les paramètres hydrodynamiques étudiées, se résument à la transmissivité et au coefficient d'emmagasinement. Ces sont des paramètres très importants dans l'estimation du bilan hydrogéologique et des réserves en eaux souterraines des nappes aquifères.

IV.4.1. Définitions

- Coefficient d'emmagasinement :

Il exprime le volume d'eau libéré par une colonne verticale saturée, ayant l'unité de surface pour section horizontale, et pour hauteur de l'épaisseur de la nappe.

C'est un nombre sans dimension, désigné par le symbole "S"

Dans les nappes libres, il correspond à la porosité utile de l'aquifère. Dans les nappes captives, il est lié à la compressibilité du terrain aquifère et de l'eau.

- Transmissivité :

La productivité d'un captage dans un aquifère est fonction de son coefficient de perméabilité, K et de son épaisseur, b . C'est pourquoi un paramètre récent, la transmissivité, notée T , a été créée, il régit le débit d'eau qui s'écoule, par unité de largeur, L , d'un aquifère sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique, i . Il évalue la fonction conduite de l'aquifère.

La transmissivité est égale au produit du coefficient de

perméabilité, K , par l'épaisseur de l'aquifère, b . Elle s'exprime en m^2/s . (carte IV.c).

$$\text{Transmissivité, } T_{(m^2/s)} = K_{(m/s)} \cdot b_{(m)}$$

L'expression de la loi de darcy, $Q = K \cdot A \cdot i$, dévient avec $A = b \cdot L$:

$$Q_{(m^3/s)} = T_{(m^2/s)} \cdot L_{(m)} \cdot i$$

IV. 4.2. Détermination des caractéristiques hydrodynamiques

Les formules de Theis et Jacob sont utilisées couramment pour l'étude des nappes souterraines, notamment pour la détermination de la transmissivité $T = KH$ et du coefficient d'emmagasinement S de l'aquifère.

IV. 4.2.1. Méthode de Theis

L'intégrale exacte de l'équation de continuité :

$$\frac{S}{T} \frac{\partial \Delta}{\partial t} = \frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \frac{\partial \Delta}{\partial x}$$

a été établie en 1935 par le professeur américain Theis, qui est le premier à proposer de comparer l'écoulement des eaux souterraines à la propagation de la chaleur en milieu isotrope et en régime de non équilibre (transitoire) ; c'est la méthode de l'analogie thermique.

Cette solution tient compte du temps de pompage qui est assez court.

THEIS a abouti à la formule exponentielle intégrale suivante :

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad (I)$$

$$\text{avec } u = \frac{S x^2}{4 T t} \quad (II)$$

On pose généralement : $\int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = W(u)$

$W(u)$ s'appelle la "fonction u du puits"

Δ : Rabattement en mètres

Q : Débit de pompage constant (m^3/s)

t : Temps de pompage en secondes

x : Distance du puit d'observation à l'axe du forage.

T : Transmissivité en m^2/s

S : Coefficient d'emmagasinement

Mode opératoire

La résolution graphique nécessite l'établissement de deux courbes sur diagramme bilogarithmique ; la courbe standard (figure II.2) est obtenue en portant sur un papier bilogarithmique, les valeurs $W(u)$ en ordonnées et celles de u ou $\frac{1}{u}$ en abscisse ; la courbe expérimentale quant à elle, est obtenue en portant sur un diagramme bilogarithmique transparent et de même module que celui de la courbe standard, les valeurs du rabattement Δ en ordonnées et celles du temps t ou $\frac{1}{t}$ en abscisse.

Par translation, on tente de superposer en maintenant les axes respectivement parallèles aussi parfaitement que possible, la courbe expérimentale à la courbe standard ; on choisit un point A ayant pour coordonnées dans les deux graphes :

$$W(u), u \text{ ou } \frac{1}{u} \text{ et } \Delta, t \text{ ou } \frac{1}{t}$$

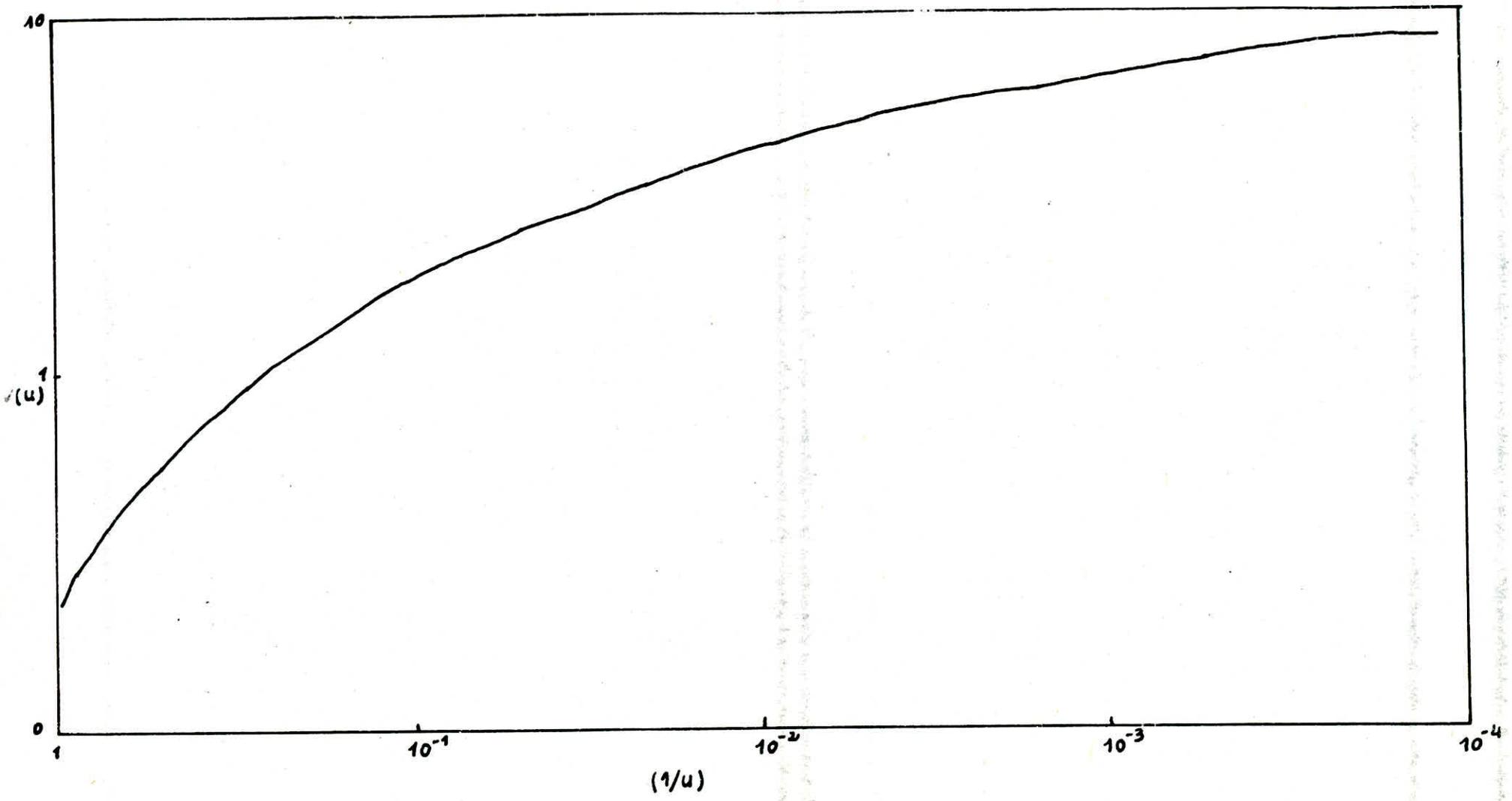


Figure. IV.2 : courbe standard de Theis

En introduisant ces valeurs dans les équations I et II on obtient:

$$T = \frac{Q}{4\pi\Delta} w(u) \quad \text{et} \quad S = \frac{4Tt}{X^2} u$$

IV. 4.2.2. Méthode de Jacob (1950)

La fonction $w(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$

peut s'explicitier ainsi :

$$w(u) = -0,5772 - \mathcal{L}_n u - \sum_{n=1}^{n=\infty} (-u)^n \frac{1}{n \cdot n!}$$

Lorsque u est suffisamment petit, la série constituant le troisième terme du second membre tend rapidement vers 0 et $w(u)$ peut alors être pris égal à :

$$w(u) = -0,5772 - \mathcal{L}_n u$$

d'où :
$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} \left(-0,5772 - \mathcal{L}_n \frac{5X^2}{4Tt} \right)$$

ou, en passant aux logarithmes décimaux :

$$\Delta = \frac{2,13Q}{4\pi T} \log \frac{2,25 Tt}{5X^2}$$

$$\Delta = 0,1183 \frac{Q}{T} \log 2,25 \frac{Tt}{5X^2}$$

Le professeur américain Jacob estime que cette formule peut être adoptée pour $u < 0,01$,

soit $\frac{5X^2}{4Tt} < 0,01$ ou $t > \frac{355X^2}{T}$

La formule simplifiée de Jacob ne peut donc être utilisée que pour des durées de pompage suffisamment longues et pour des piézomètres situés à proximité du puits (distance maximale de l'ordre de 50 mètres).

- Mode opératoire

On porte sur un diagramme semi-logarithmique, en abscisse logarithmique les temps de pompage et en ordonnée les rabattements correspondants.

La droite moyenne passant par les points obtenus a pour équation :
$$\Delta = \frac{0,183 Q}{T} \left(\log \frac{2,25 T}{x^2 \cdot S} + \log t \right) \quad (\text{III})$$

Cette équation est de la forme :

$$y = a (\log b + \log x)$$

La constante a est déterminée par le coefficient angulaire de la droite.

$$\text{soit : } a = \frac{0,183 Q}{T} \quad (\text{IV})$$

Si cette droite coupe l'axe des temps en un point t_0 pour un rabattement nul, le deuxième terme de l'équation (III) s'écrit :

$$\log \frac{2,25 T \cdot t_0}{x^2 \cdot S} = 0 \Rightarrow \frac{2,25 T \cdot t_0}{x^2 \cdot S} = 1 \quad (\text{V})$$

A l'aide des équations (IV) et (V) on détermine T et S

$$T = \frac{0,183 Q}{a} \quad \text{et} \quad S = \frac{2,25 T \cdot t_0}{x^2}$$

IV. 4. 2. 3. Méthode de la droite de remontée

À la fin de pompage, le niveau d'eau remonte à son niveau d'origine ceci peut être considéré comme une injection d'eau dans le forage, correspondant à un débit négatif constant.

Au cours de la phase de remontée de la nappe, considérons un instant défini par

t : durée mesurée depuis le début du pompage

t' : durée mesurée depuis l'arrêt du pompage

Le rabattement Δ à l'instant considéré sera la somme :

- du rabattement Δ_1 qui résulterait du pompage au débit Q supposé prolongé jusqu'au temps t , soit :

$$\Delta_1 = 0,183 \frac{Q}{T} \log_{2,25} \frac{T t}{S X^2}$$

- du rabattement Δ_2 qui résulterait d'un pompage fictif de débit $-Q$ pendant une durée t' , soit :

$$\Delta_2 = -0,183 \frac{Q}{T} \log_{2,25} \frac{T t'}{S X^2}$$

Le rabattement réel sera donc :

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$$

$$\Delta = 0,183 \frac{Q}{T} \log \frac{t}{t'}$$

Cette équation permet de déterminer la transmissivité T ; il faut ajouter que cette formule n'est valable que pour des valeurs t et t' élevées

- Mode opératoire

On porte sur un diagramme semi-logarithmique, en ordonnée les rabattements Δ et en abscisse t/t' (en échelle logarithmique).

Après la période durant laquelle le niveau de l'eau dans le forage atteint celui de la nappe, les points devraient s'aligner selon une droite aura une pente égale à : $a = \frac{0,183}{T} Q$

On en déduit ainsi la transmissivité :

$$T = \frac{0,183}{a} \cdot Q$$

- Application

Un certain nombre de piézomètres, ont vu leurs essais de pompage

interprétés par le service hydrogéologique de l'ANRH, par la méthode de la courbe de remontée (figures a, b, etc).

Les résultats obtenus sont portés sur le tableau IV.2

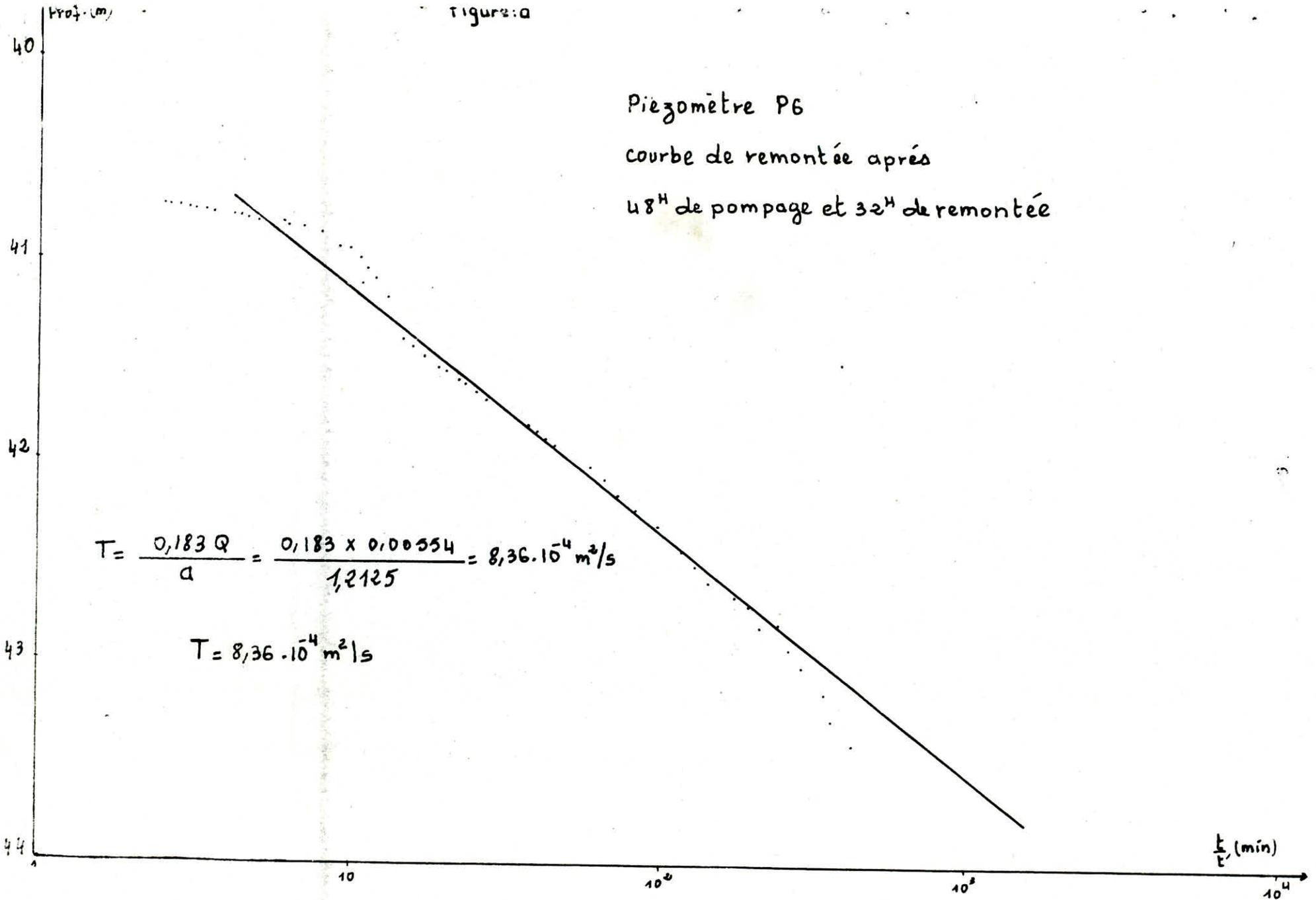
Tableau IV.2 : Tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamiques

Forage ou piézomètre	Profondeur (m)	N.S (m)	Débit Q (l/s)	Δ (m)	T (m^2/s)	S %
F. 611	152	18,50	31	24	$7 \cdot 10^{-3}$	$13 \cdot 10^{-2}$
BA	180	38,79	40	19,2	$2,44 \cdot 10^{-3}$	
B2	250	29,70	6	53,2	$2,2 \cdot 10^{-4}$	
B3	300	50,55	40	9,4	$6,65 \cdot 10^{-3}$	
B4	250	47,07	40	10,85	$4 \cdot 10^{-3}$	
P1	200	39,55	6,7	2,75	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$9,4 \cdot 10^{-4}$
P2	240	8,00	13	4	$5,85 \cdot 10^{-3}$	
P3	700	14,84	3,4	25,64	$1 \cdot 10^{-4}$	
P4	130	36,20	5	6,28	$3,2 \cdot 10^{-4}$	
P6	200	40,62	5,5	4,27	$8,36 \cdot 10^{-4}$	
P7	170	31,61	4,3	3,09	$1,88 \cdot 10^{-3}$	
P8	240	10,73	13,5	2,67	$4,7 \cdot 10^{-3}$	
P9	100	18,51	5,33	4,05	$1,08 \cdot 10^{-3}$	
P10	220	15,96	2,33	27,93	$5,5 \cdot 10^{-4}$	
P11	100	27,65	2,4	0,35	$7,8 \cdot 10^{-3}$	
P12	100	45,65	3,33	0,45	$4,6 \cdot 10^{-3}$	
P15	100	8,21	8,33	2,89	$2,17 \cdot 10^{-3}$	
P16	100	13,52	1,28	19,17	$4,7 \cdot 10^{-5}$	

- 56 -

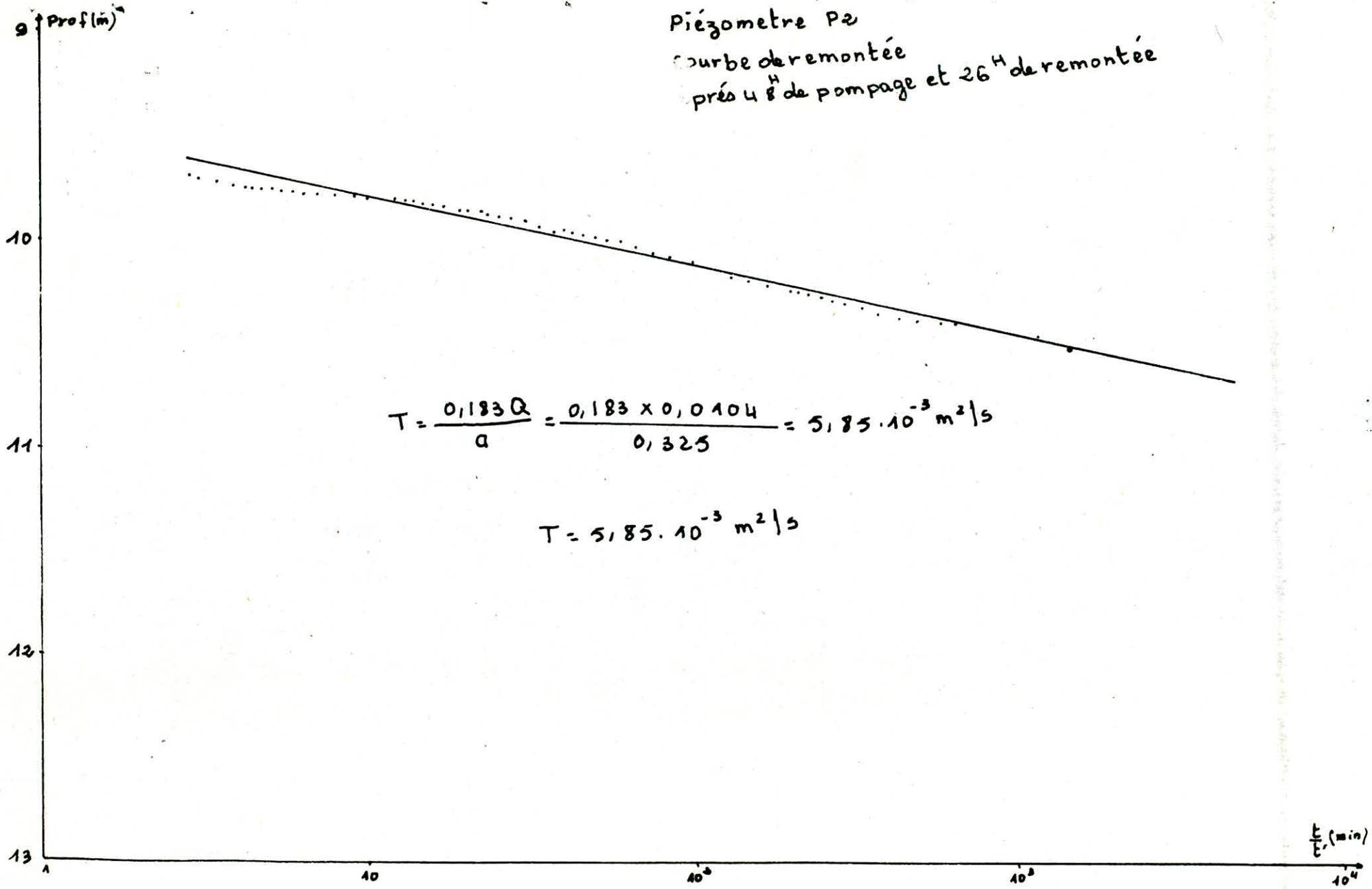
Figure: a

Piezomètre P6
courbe de remontée après
48^H de pompage et 32^H de remontée



Piézometre P2

courbe de remontée
prés 4^H de pompage et 26^H de remontée



-57-

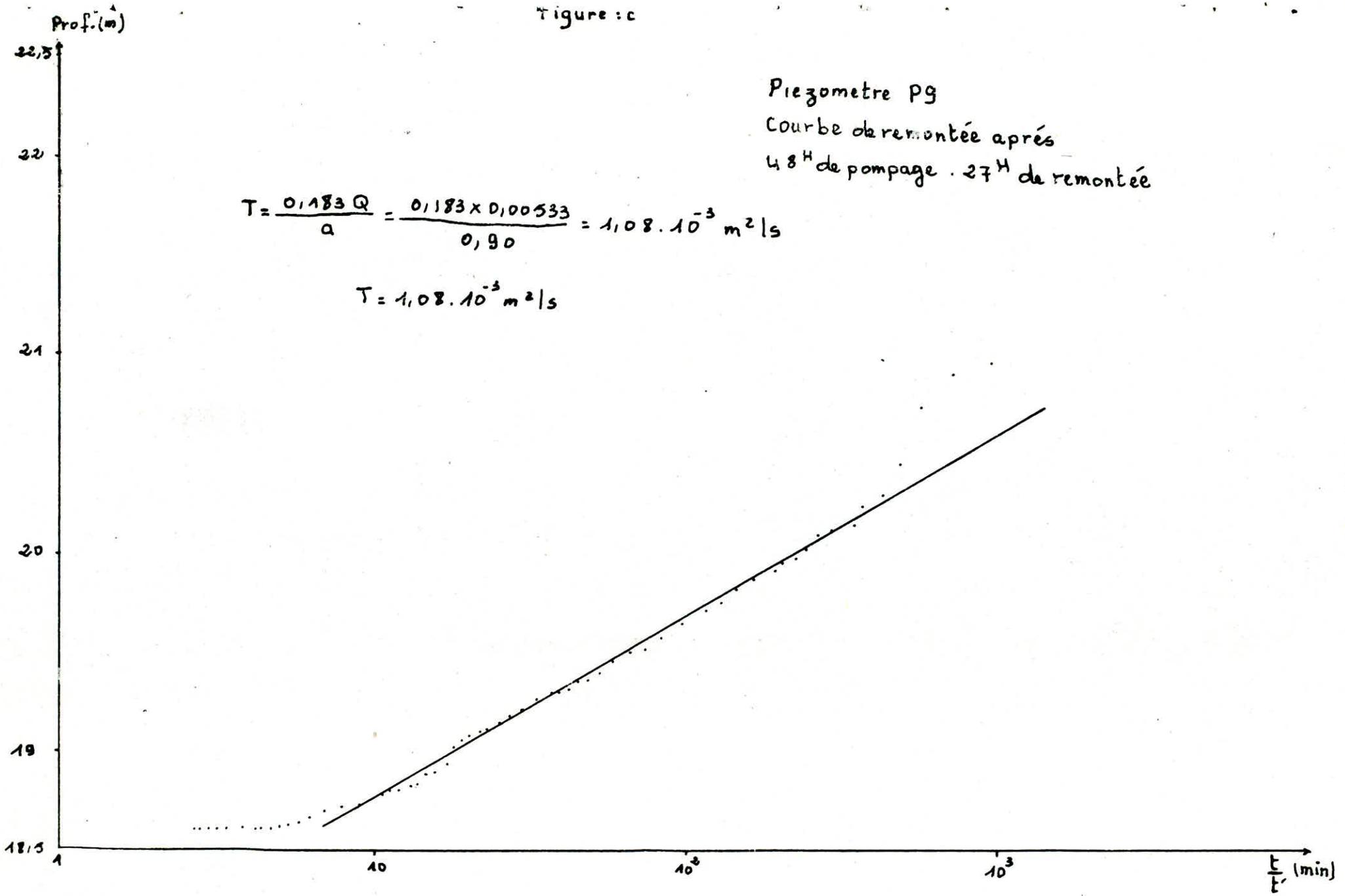
Figure : c

Piezometre P9
Courbe de remontée après
48^H de pompage . 27^H de remontée

$$T = \frac{0,183 Q}{a} = \frac{0,183 \times 0,00533}{0,90} = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

- 58 -



IV.5. EVALUATION DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

On peut subdiviser les ressources en eaux souterraines en deux parties, la réserve dynamique et la réserve statique. La ressource de la réserve dynamique correspond à la ressource annuelle renouvelable et la réserve statique représente l'épaisseur de la nappe qui est toujours saturé. C'est la partie de la nappe au dessous de la zone de fluctuation. Dans cette étude nous avons essayé de déterminer ces deux composantes par les différentes méthodes.

IV.5.1. Réserve dynamique (vd)

La réserve dynamique définit ci-dessus est une ressource renouvelable et elle correspond aux zones de fluctuations de la surface piézométrique.

Les fluctuations piézométriques sont dues aux phénomènes qui provoquent une variation de pression sur la nappe, par exemple les variations climatiques et les effets de l'exploitation de la nappe. Il ya d'autres facteurs qui peuvent provoquer une fluctuation de niveau piézométrique tels que les vagues, le vent, etc...

Nous supposons dans cette étude que les fluctuations sont dues aux variations de stockage liées directement à l'alimentation de la nappe.

A- calcul de réserve dynamique par les fluctuations piézométriques:

Pour calculer la réserve dynamique on utilise la méthode de polygones de Thiessen; sur une carte nous situerons les différents points d'eau que l'on reliera par des droites, dont les médiatrices correspondantes détermineront une surface polygonale autour

de chaque point d'eau, en supposant que l'influence de fluctuation de chaque point d'eau s'étend jusqu'à la médiatrice entre le point considéré et le point voisinant. (carte IV.2)

La réserve dynamique exprimée par l'expression suivante :

$$V_d = \eta \sum A_i \cdot \Delta h_i$$

- A_i : surface du polygone considérée
- Δh_i : variation du niveau piézométrique de la nappe dans la polygone considérée.
- η : porosité efficace de l'aquifère, dans la zone considérée on l'estime à 10% sur toute l'étendue des formations aquifères.

Le tableau IV.3 indique les réserves dynamiques

Tableau IV.3: Calcul de la réserve dynamique

N° de pt d'eau	Fluctuation Δh_i (m)	Surface A_i Km ²	volume 10 ⁶ m ³
P12	0,12	158,04	18,9648
15	0,60	88,32	52,9920
58	0,31	64,24	19,9144
10	-0,16	48,72	-7,7952
25	0,56	22,24	12,4544
32	0,27	178,32	48,1464
104	0,11	236,84	26,0524
P14	0,26	42,56	11,0656

16	-2,04	79,48	-162,1392
52	0,07	118	8,26
98	-0,03	39,48	-1,1844
45	0,12	61,72	7,4064
128	-0,02	142,48	-2,8496
13	0,40	155,88	62,352
16	0,69	89,80	61,962
P7	-0,22	113	-24,86
100	-0,34	65,48	-22,2632
54	0,46	22,8	10,488
34	-0,05	22,16	-1,108
59	0,40	33,6	13,44
102	-0,07	107,52	-7,5264
15	-0,33	88,76	-29,2908
P9	0,10	36,8	3,68
8	-0,23	78,12	-17,9676
7	0,24	58,8	14,112
2	0,52	42	21,84
36	-1,97	90,44	-178,1668
9	-0,05	103,76	-5,188
26	-7,07	31,68	-223,9776
21	0,04	16,88	0,6752
11	-0,11	46	-5,06
28	0,53	41,92	22,2176
18	-0,11	34,68	-3,8148
<i>Total</i>		2560,52	291,98

La réserve dynamique calculée par la méthode des fluctuations sera :

$$Vd = \eta \sum A_i \cdot \Delta h_i \\ = 10\% \cdot 291,98 \cdot 10^6 = 29,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

B. calcul de réserve dynamique par l'infiltration :

Les ressources en eau renouvelables ont été déterminées par la surface de l'impluvium (2218 km^2) et l'infiltration efficace. Pour la région étudiée, à cause de leurs caractéristiques géologiques et climatologiques, on suppose que l'infiltration efficace est de 5% de la pluviométrie totale soit $234,1 \text{ mm}$. ($I_e = 5\% P$)

$$I_e = \frac{5 \times 234,1}{100} = 11,7 \text{ mm}$$

La réserve dynamique :

$$Vd = 2218 \cdot 10^6 \times 11,7 \cdot 10^{-3} = 25,96 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Pour la superficie ($2560,52 \text{ km}^2$) considérée pour le calcul de réserve dynamique par la méthode de fluctuation, la réserve dynamique sera :

$$Vd = 25,96 \cdot 10^6 \times \frac{2560,52}{2218} = 29,97 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Les ressources dynamiques de l'aquifère seront la moyenne de la réserve dynamique, calculée par la méthode des fluctuations piézométriques, et celle calculée par la méthode de l'infiltration soit une réserve de $29,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

IV.5.2. Réserve statique (V_s)

C'est la part de la réserve totale non renouvelée. Pour l'aquifère à nappe elle est limitée, au sommet, par la surface piézométrique minimale moyenne. Dans les aquifères à nappe captive, réserves statiques et réserves totales sont pratiquement identiques.

Pour calculer cette réserve on utilise la méthode des isoépaisseurs; connaissant les épaisseurs de l'aquifère à chaque point d'eau, nous cherchons à tracer les courbes isoépaisseurs (carte IV.3). Ainsi on calcule les surfaces comprises entre deux courbes isoépaisseurs successives, en supposant que l'épaisseur de cette surface est égale à la moyenne des valeurs des deux isoépaisseurs qui la délimitent.

Les réserves statiques s'expriment par l'expression suivante :

$$V_s = \eta \sum H_{si} \cdot A_i$$

- A_i : surface inter-isoépaisseurs
- H_{si} : puissance de l'aquifère non affecté par les fluctuations dans la surface considérée
- η : porosité efficace de l'aquifère (10%)

Le tableau IV.4 indique les réserves statiques

Tableau III.4 : Calcul des réserves statiques

Courbe inter- isoépaisseur (m)	Surface A_i km^2	épaisseur moyenne (m)	volume 10^6 m^3
< 40	934,96	40	37398,4
40 - 80	232,96	60	13977,6
80 - 120	273	100	27300
120 - 160	804,8	140	112672
160 - 200	261,88	180	47138,4
> 200	79,84	200	15968
Total	2587,44		254454,4

La réserve statique :

$$V_s = \eta \sum H_{si} \cdot A_i$$

$$= 10\% \times 254454,4 \cdot 10^6 = 25445,44 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

IV. 5.3. Réserve exploitable (V_e)

C'est la quantité ou le volume d'eau maximal qu'il est possible d'extraire de la réserve totale d'un aquifère temporairement ou définitivement dans des conditions économiques acceptables

La réserve exploitable s'exprime par l'expression suivante :

$$V_e = V_d + 40\% \cdot V_s$$

- V_d : réserve dynamique

- V_s : réserve statique

$$V_e = 29,6 \cdot 10^6 + \frac{40}{100} \times 25445,44 \cdot 10^6$$

$$= \underline{\underline{10207,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3}}$$

CHAPITRE CINQUIEME

ETUDE HYDROCHIMIQUE

V.1. GENERALITE

Une étude hydrochimique des eaux de la plaine d'Ain oussera a été effectuée pour étudier la qualité chimique de l'eau de forages et pour déterminer l'adaptabilité de cette eau pour les différents usages (A.E.P, irrigation, ...). Nous avons utilisé les données fournies par l'ANRH pour cette étude. Les résultats d'analyse chimique des eaux de points d'eau étudiés sont représentés sur le tableau V.2.

La norme de potabilité des eaux est indiquée dans le tableau V.1. Vu qu'il y a une large variation de la composition chimique des eaux dans les différentes régions, il est difficile d'établir les normes strictes pour la potabilité. Les limites désignées "permises" appliquées à une eau sont des limites maximales pour la consommation, Dans le tableau de résultats nous avons fait des observations sur la potabilité de chaque point d'eau

V.2. CONDUCTIVITE ET RESIDUS SECS

Le residu sec correspond aux éléments solides totales dissoutent en eau (en anglais : Total dissolved solids -TDS), qui est exprimé en mg/l ou ppm (partie par million). L'estimation de residu sec (R.S) est fait par l'évaporation d'eau d'une quantité connue. Le rapport de R.S et le volume d'eau est une mesure de R.S, parfois on exprime le R.S en milliéquivalents /litre, cette expression décrit la relation

$68800 \times \text{conductivité à } 20^{\circ}\text{C} = \text{Mineralisation en mg/l}$

$$C = \frac{1}{P} = \frac{1}{KR}$$

R : résistance d'équilibre

* : cte d'équilibre

on assimile
la dureté de l'eau \rightarrow à sa teneur en ion $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$
eau

Tableau.V.1: La norme de potabilité des eaux
(O.M.S , Geneve , 1963)

Substance	Concentration acceptable	Concentration Permise
Minéralisation totale	500 mg/l	1500 mg/l
Couleur	5 unites*	50 unites*
Goût	Non répréhensible	-
Odeur	Non répréhensible	-
Fer (Fe)	0,1 PPM 0,3 mg/l	1,0 mg/l
Manganese (Mn)	0,05 0,1 mg/l	0,1 mg/l
Cuivre (Cu)	1 1,0 mg/l	1,5 mg/l
Zinc (Zn) ^(inclu)	5 PPM 5,0 mg/l	15 mg/l
Calcium (Ca)	75 mg/l	200 mg/l
Magnesium (Mg)	50 mg/l	150 mg/l
Sulfate (SO ₄)	200 mg/l	400 mg/l
Chlore (Cl)	200 mg/l	600 mg/l
Nitrate (NO ₃)	20 mg/l	45 mg/l
PH	7,8 à 8,5	6,5 < PH < 9,2
Polluants organiques	0,2 mg/l	0,5 mg/l

Aluminium

5 PPM

* Graduation Platine - cobalt

Cobalt 1. Fluor 1.
Plomb 0,1

de la composition d'eau avec des ions dissouts en tenant compte de leurs masses atomiques et l'équivalence chimique de ceux-ci.

Dans la solution aqueuse, telle que l'eau naturelle, la plupart de sels inorganiques dissouts dans l'eau sont ionisés et ces ions polarisés forment de conducteur d'électricité. Donc la mesure de conductivité des eaux est une indication de sels dissouts en eau (R.S.).

Ce parametre est exprimée en micromhos/cm à 25°C, la conductivité est liée avec le residu sec pour la plupart des eaux naturelles ayant une conductivité de 100 à 5000 micromhos/cm par la relation :

$$1,56 \text{ mmhos/cm} = 1 \text{ ppm}$$

$$\text{ou } 100 \text{ mmhos/cm} = 1 \text{ MEQ/L des cations}$$

MEQ (milliéquivalents).

Dans la carte (V.1) la variation régionale de residu sec est représentée.

Dans la plaine d'Ain oussera, on notera, selon la région, que l'eau présente un residu sec qui peut varier de 0,396 g, pour le piézomètre P₂, à 7 g/l pour les puits de la région de Birine. (voir carte (V.2) d'inventaire des points d'eau).

Par ailleurs on notera une concentration des eaux dans la partie sud de la plaine moins importante que celle des eaux contenues dans les mêmes formations au nord de cette même plaine.

Cette différence de concentration pourrait s'expliquer par le fait que lors, de la circulation de l'eau, dans les formations profondes, ou dans les alluvions, qui se fait du sud vers le nord, celle-ci se charge de sels.

L'augmentation de la concentration, de l'amont vers l'aval de la nappe serait donc due :

- d'une part à la longueur du trajet des eaux souterraines en

contact avec de grandes surfaces de formations qu'elles imprègnent
- d'autre part à l'évaporation, le climat dans la région en été est sec et chaud, et est caractérisé par de faibles chutes de pluies espacées dans le temps.

L'eau de pluie qui tombe sur la région imbibe le sol et est reprise par évaporation; ainsi l'eau du sol se concentre progressivement. Les pluies suivantes étant espacées et permettant une percolation, entraînent ces solutions concentrées du sol devenues plus ou moins diluées jusqu'à la nappe d'eau.

Pour les eaux des nappes contenues dans les alluvions et le remplissage plio-quaternaire les facteurs de concentration des sols dans les eaux seraient :

- L'enlèvement des sels du sol
- Le lessivage des sels contenus dans les terrains dans lesquels les eaux circulent.
- L'enrichissement en sels par transport éolien (vent de sable)
- Évaporation des eaux souterraines à travers la surface du sol.

Dans la plaine d'Ain oussera, les eaux des forages et piézomètres ont généralement une conductivité faible qui correspond à un résidu sec généralement faible (piézomètres P₂, P₄, P₆, P₇, P₁₀, P₁₂).

Les eaux dont la conductivité est égale ou supérieure à la norme maximale admise, soit 2,25 mmhos/cm sont des eaux dont le résidu sec est égal ou supérieur à 1,5 g/l. Ces eaux sont généralement celles des puits peu profonds, (que l'on peut généraliser à toute la plaine d'Ain oussera), et des piézomètres P₃ et P₄.

V.3. IONS CHLORURES ET SULFATES

Les ions chlorures sont généralement responsables de la salinité élevée des eaux :

On constatera que la répartition des ions chlorures, est en étroite relation, avec celle des résidus secs. Là où la concentration des ions chlorures est élevée, la région correspond généralement à un mauvais drainage (nord de la plaine d'Ain oussera).

Les ions sulfates n'ont pas une répartition homogène dans la plaine d'Ain oussera et varient dans une grande portion de quelques dizaines de mg pour les eaux de la région de Guelt-stel, (puits n° 20, 83 mg/l ; n° 21, 193 mg/l ; n° 22, 48 mg/l), à plus de 1 mg/l pour les puits dans la région d'Ain oussera (n° 18, 1200 mg/l ; n° 21, 1200 mg/l ; n° 22, 1900 mg/l).

On remarquera en général une augmentation des ions sulfates de l'amont vers l'aval de la nappe.

Il est noté l'abondance des sulfates le long des axes de drainages (oueds hassi guernini, Mouilah, Boucedraïa, oued Touil) provoquée, ou pouvant provenir de la pollution par les engrais agricoles.

V.4. RAPPORTS CHIMIQUES

V.4.1. Rapport $\frac{r \text{ SO}_4}{r \text{ Cl}^-}$

On constatera que le rapport diminue de l'amont vers l'aval de la plaine d'Ain oussera. Les zones où ce rapport est faible correspondent soit à des surfaces riches en eau chargée en NaCl (puits d'Ain oussera n° 18 - 20 - 16) soit à des zones d'évaporation ou de

circulation lente (la vitesse de circulation dans les sables et les grés normaux étant plus faible que dans les calcaires).

Les zones où ce rapport est relativement important correspondant à des zones riches en sulfates (cas des piézomètres , P3 , P5 , et P11) , soit à des zones à circulation active , la présence de calcaire dans les formations acquifères active la circulation de l'eau grâce aux nombreuses fissures .

V.4.2. Rapport $\frac{r \text{ Mg}^+}{r \text{ Ca}^+}$

On notera que ce rapport a tendance à augmenter de l'amont vers l'aval . Les zones où le rapport est faible , sont celles qui topographiquement sont hautes , et pour lesquelles le gradient hydraulique est , relativement , fort et la perméabilité bonne .

Les zones où le rapport est plus important , correspondent aux zones topographiquement basses (aval de la plaine) .

V.5. FACIES CHIMIQUES

L'analyse des échantillons d'eau prélevés sur les forages , piézomètres , et puits sélectionnés , et leur représentation graphique sur le diagramme de piper ont permis de dégager les familles géochimiques suivantes .

L'eau des piézomètres est essentiellement comme suit :

Magnésienne mixte pour P3 , P7

Mixte pour P4 , P6 , P8 , P12 , P14

Mixte sulfatée pour P3 , P11 , P5

Sulfatée sodique pour P10

Mixte chlorurée pour P15

Mixte sodique pour P16 et P17

Magnésienne sulfatée pour P18

Eau des forages :

Mixte pour F.611

Magnésienne mixte pour B2

Magnésienne carbonatée pour B1 et B4

Mixte chlorurée pour B3

La qualité de l'eau des points d'eau de la région s'établit comme suit:

Qualité de l'eau	n° des puits
<u>BOUIRA SAHARY</u>	
Mixte	9 - 22 - 23 - 25 - 35 - 38 - 58 - 59
Mixte chlorurée	5 - 16 - 95
Magnésienne chlorurée	54 - 56 - 58
Magnésienne mixte	53 - 64
Mixte carbonatée	60
Mixte sulfatée	10
<u>GUELT - STEL</u>	
Magnésienne mixte	20 - 21 - 23 - 25
Mixte	24 - 27
Magnésienne carbonatée	22
<u>AIN OUSSERA</u>	
Mixte	3 - 6 - 20 - 25 - 42 - 39
Magnésienne mixte	2 - 21 - 35
Magnésienne chlorurée	16
Mixte sulfatée	22
Mixte chlorurée	18 - 81

Qualité de l'eau	N° des puits
<u>DJEBEL KRADDOU</u>	
Mixte	29 - 121
Mixte chlorurée	123
Mixte carbonatée	128
Magnésienne carbonatée	129
Magnésienne mixte	98 - 127 - 45 - 47
Magnésienne chlorurée	8
<u>OUERK</u>	
Mixte	111
Mixte chlorurée	116
Magnésienne mixte	103 - 109 - 129 - 130
Magnésienne chlorurée	115

On remarquera dans ces analyses que les eaux mixtes prédominent dans presque toute la région et que les eaux magnésiennes mixtes viennent en seconde position, la dureté de l'eau varie d'un piézomètre à un autre.

Tous les forages présentent un PH entre 7 et 8. Les chlorures et les sulfates, sont parfois présentés en grande quantité.

Les teneurs en chlorures responsables de la salinité sont importantes pour P15, P16, les autres piézomètres et forages ayant une teneur moins importante.

Les teneurs en sulfates sont importantes pour P3, P11 et P18.

Le magnésium, qui consommé en grande quantité peut être nocif pour l'organisme est présent dans l'eau de la plaine d'Ain

oussera généralement en quantité inférieure à la concentration permise soit 150 mg/l sauf pour les piézomètres P₃, P₁₁, P₁₈.

Il est à noter cependant que l'analyse de l'eau de tous ces points d'eau soit refaite systématiquement à des intervalles réguliers. Les échantillons d'eau devront être pris à une profondeur de 1,50 m sous la surface du niveau statique.

V. 6. UTILISATION D'EAU POUR L'IRRIGATION

Les critères de l'adaptation de l'eau pour l'irrigation sont difficiles à déterminer, l'adaptation de l'eau pour l'irrigation dépend non seulement de sa qualité mais également, de la nature du sol et de la culture. Les sols salins sont défavorables pour l'agriculture, la perméabilité du sol joue un rôle important pour l'adaptation de l'eau pour l'irrigation. Le sol perméable ou bien drainé peut supporter les eaux avec une concentration en sel relativement élevée par contre le sol non drainé provoque une concentration en sel dans la zone de racines qui résulte une augmentation de toxicité.

La qualité de l'eau modifie le sol par de réactions physico-chimiques, en général le sodium est adsorbé par le sol qui diminue la capacité de drainage, donc le pourcentage de sodium est un facteur très important qui influe sur l'adaptation des eaux.

Le pourcentage de sodium est défini par :

$$\% Na = \frac{(Na + K) 100}{Ca + Mg + Na + K}$$

Wilcox et (le département d'agriculture d'USA) ont fixés des limites de sodium et de conductivité électrique pour classer l'eau d'irrigation :

Classe de l'eau	Pourcentage de Na	Conductivité électrique à 25°C EC. 10 ⁶
Excellente	< 20	< 250
Bonne	20 - 40	250 - 750
permise	40 - 60	750 - 2000
Douteuse	60 - 80	2000 - 3000
Mauvaise	> 80	> 3000

Les diagrammes (V.1 ; V.2 ; V.3 ; V.4 ; V.5) représentent la qualité de l'eau, dans les puits de la région, pour l'irrigation.

D'après ces diagrammes, la majorité de puits ont une bonne qualité d'eau.

AIN. OUSSERA

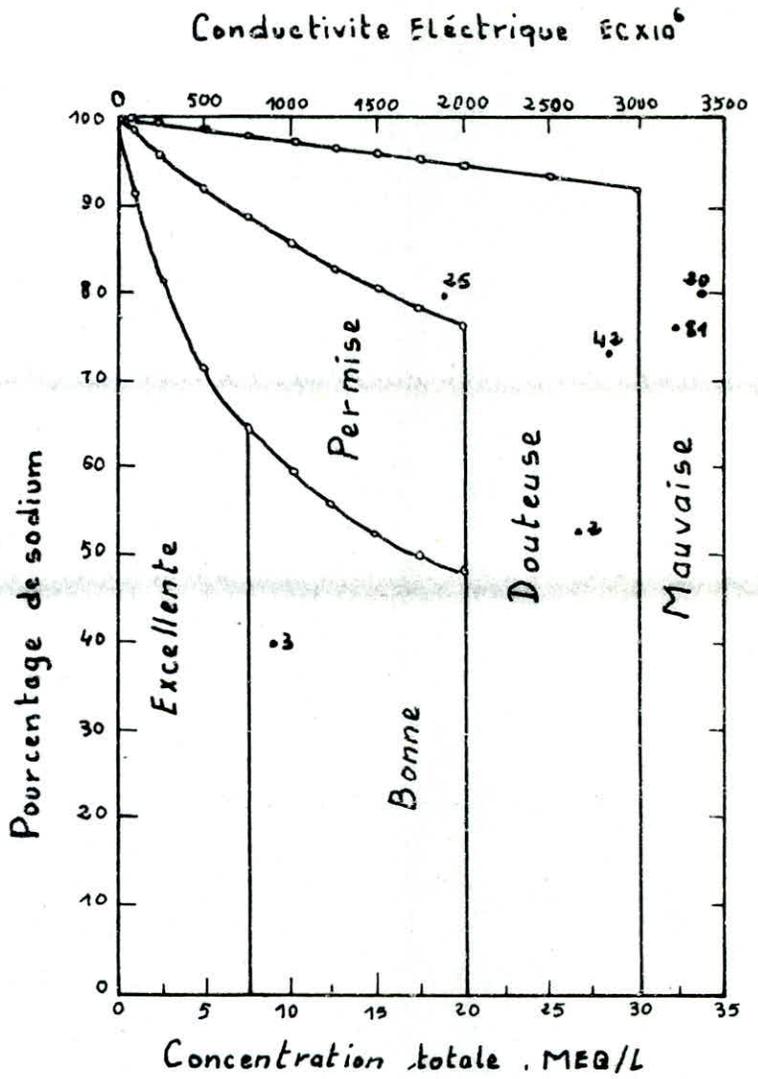


Diagramme .V.1

BOUIRA SAHARY

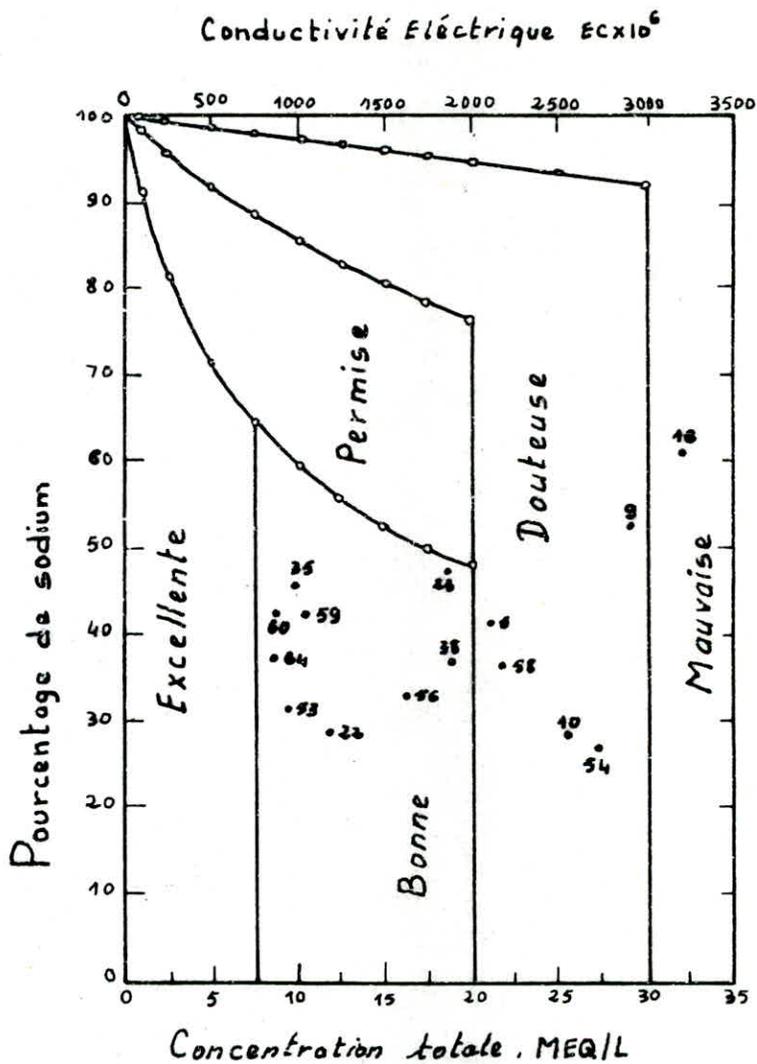


Diagramme . V . 2

OUERK

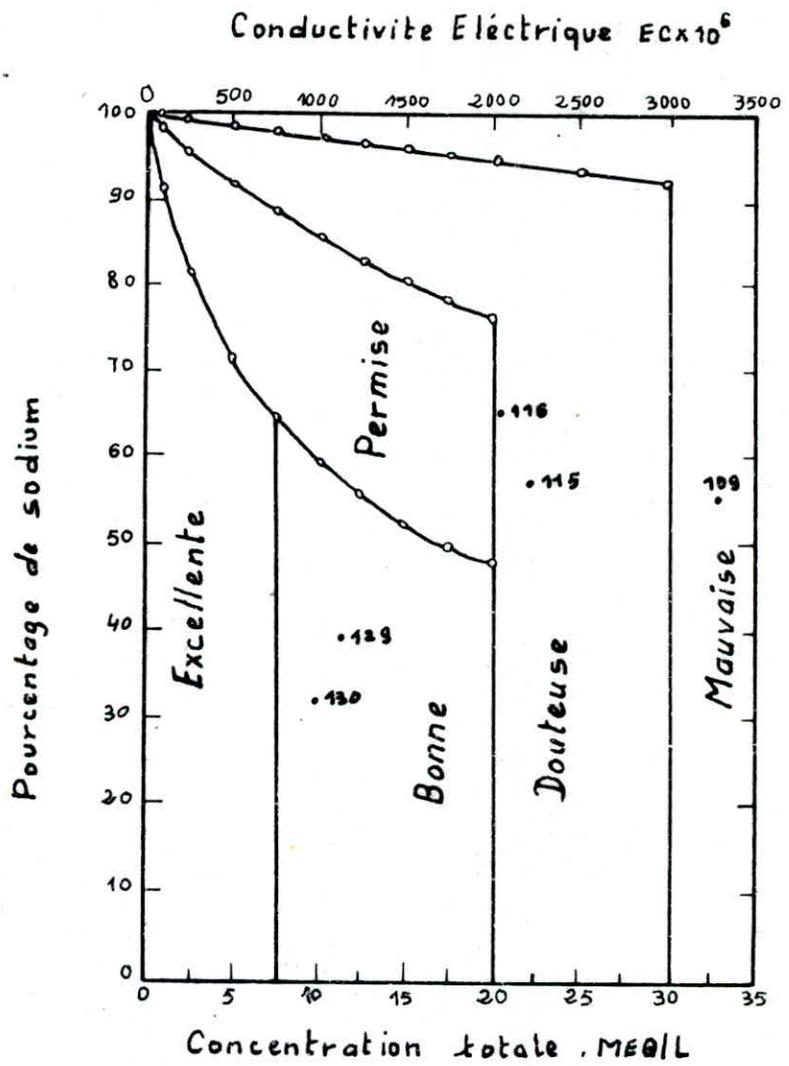


Diagramme .X.3

GUELT. STEL

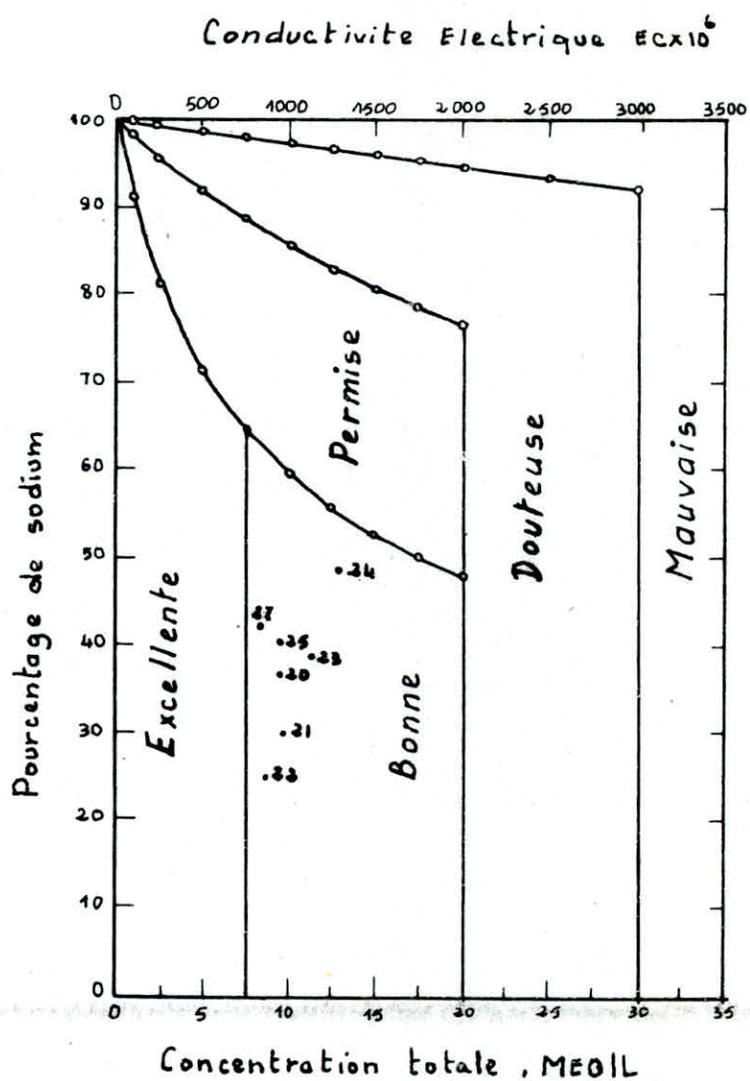


Diagramme . V . 4

DJEBEL KRADOU

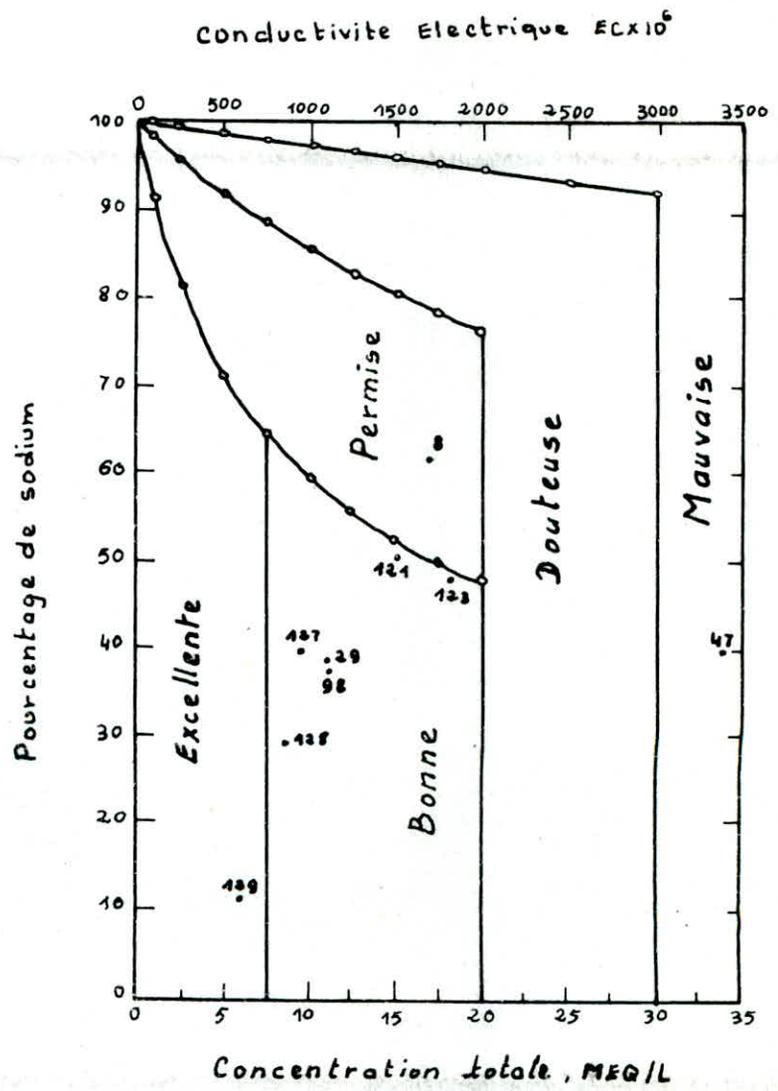


Diagramme.V.5

Tableau. II.2 : Résultats d'analyse chimique

BOUIRA SAHARY													
N° de puits	Date	PH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na+K mg/l	Cl mg/l	Sou mg/l	Co3 mg/l	NO3 mg/l	R.S mg/l	Cond M.mhos cm	% Na	Observation
5	5.81	7,7	158	100	134	360	333	183	120	1388	2165,3	41,67	Excès de NO3
9	6.81	7,6	98	162	234	510	508	366	23	1901	2965,6	52,58	inacceptable
10	5.81	7,7	188	126	89	290	695	226	47	1671	2606,8	28,01	inacceptable
16	5.81	7,7	214	128	289	600	495	311	37	2074	3235,4	61,24	inacceptable
22	5.81	7,7	80	58	72	155	145	220	20	750	1170,0	40,94	bonne
23	5.81	7,4	148	43	109	145	463	268	36	1211	1889,2	46,23	Excès de SO4
35	5.81	7,8	86	23	62	105	145	232	12	665	1037,4	45,98	bonne
38	5.81	7,7	144	77	92	290	288	266	64	1221	1904,8	36,76	Excès de NO3
53	6.81	7,9	40	72	44	75	113	262	8	614	957,8	31,72	acceptable
54	6.81	7,7	136	228	104	515	500	189	60	1732	2701,9	25,83	inacceptable
56	6.81	7,0	76	110	74	395	158	226	10	1049	1636,4	32,81	acceptable
58	6.81	7,7	98	150	112	405	300	275	40	1380	2152,8	35,75	permise
59	5.81	7,6	88	34	62	150	105	220	18	677	1056,1	42,19	acceptable
60	5.81	7,9	66	49	64	70	85	286	15	635	990,6	42,61	très bonne
64	6.81	7,7	40	66	54	95	150	207	31	603	940,7	37,90	acceptable

AIN OUSSERA

N° de puits	Date	PH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na+K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3 mg/l	NO3 mg/l	R.S mg/l	Cond. $\frac{\mu\text{mhos}}{\text{cm}}$	% Na	Observation
2	5.81	8,0	77	140	204	450	625	232	11	1739	2712,8	53,37	Excès de Sou
3	5.81	7,8	54	59	59	75	163	195	30	635	990,6	39,78	acceptable
16	5.81	7,0	246	200	349	945	850	201	28	2819	4397,6	53,31	inacceptable
18	5.81	7,7	216	221	529	1044	1202	98	10	3320	5179,2	61,25	inacceptable
20	5.81	7,4	78	90	554	775	550	128	15	2190	3416,4	80,97	inacceptable
21	5.81	7,0	176	238	354	613	1200	201	15	2797	4363,3	51,93	inacceptable
22	5.81	7,2	324	281	454	575	1900	140	38	3712	5790,7	50,00	inacceptable
25	5.81	7,6	66	35	274	220	388	214	15	1212	1890,7	79,36	acceptable
42	5.81	7,8	120	116	307	415	650	177	54	1839	2868,8	73,03	inacceptable
81	5.81	7,2	110	83	479	500	663	238	16	2089	3258,8	77,14	Excès de Sou

GUELT-STEL

20	6.81	7,6	50	56	49	80	83	238	57	613	956,3	36,72	Excès de NO3
21	6.81	7,5	40	56	34	45	193	201	47	616	961,0	29,79	Excès de NO3
22	6.81	7,2	50	59	29	30	48	275	55	546	851,8	24,59	Excès de NO3
23	6.81	7,6	40	74	59	105	188	232	42	740	1154,4	38,13	acceptable
24	6.81	7,7	46	61	79	105	110	329	66	797	1243,3	47,86	Excès de NO3
25	6.81	7,6	40	65	59	135	133	201	25	658	1026,5	40,42	bonne
27	6.81	7,6	60	46	59	105	93	183	28	574	895,4	42,27	bonne

OUERK													
No de puits	Date	PH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na + K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3 mg/l	NO3 mg/l	R.S mg/l	Cond. $\mu\text{.mhos/cm}$	% Na	Observation
100	6.81	8,0	135	198	354	800	433	207	24	2151	3355,6	57,10	inacceptable
111	6.81	7,8	264	270	554	1250	1150	226	51	3765	5873,4	57,77	inacceptable
116	6.81	7,4	103	62	214	394	335	287	13	1318	2056,1	64,52	acceptable
115	6.81	8,0	74	125	214	440	250	287	28	1428	2227,7	56,94	acceptable
129	6.81	7,8	66	61	64	125	195	214	11	736	1148,2	39,50	bonne
130	6.81	7,7	54	62	44	140	155	195	12	662	1032,7	32,05	bonne
DJEBEL - KRADOU													
8	6.81	7,6	46	95	184	325	113	293	28	1084	1691,0	61,05	acceptable
29	6.81	7,9	58	68	64	150	150	201	47	738	1151,3	38,94	inacceptable
45	6.81	7,9	66	534	434	1575	1365	140	15	4129	6441,2	44,32	inacceptable
98	6.81	8,0	54	83	67	145	138	214	45	746	1163,8	37,37	permise
47	6.81	7,6	150	256	217	590	663	282	18	2176	3394,6	39,61	Excès de Mg
121	6.81	7,7	66	80	114	225	200	214	53	952	1485,1	49,74	Excès de NO3
123	6.81	7,5	86	116	149	340	245	207	39	1182	1843,9	48,08	acceptable
127	6.81	7,6	46	64	59	135	130	171	26	631	984,4	39,71	acceptable
128	6.81	7,8	60	46	34	60	80	299	69	598	932,9	29,17	Excès de NO3
129	6.81	7,7	56	53	12	30	0	220	43	414	645,8	11,17	acceptable

DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

d'après PIPER

AIN OUSSERA

- I Ca + Mg + SO₄ + Cl + NO₃
- II Ca + Mg + CO₃ + HCO₃
- III Na + K + CO₃ + HCO₃
- IV Na + K + SO₄ + Cl + NO₃
- V MIXTE

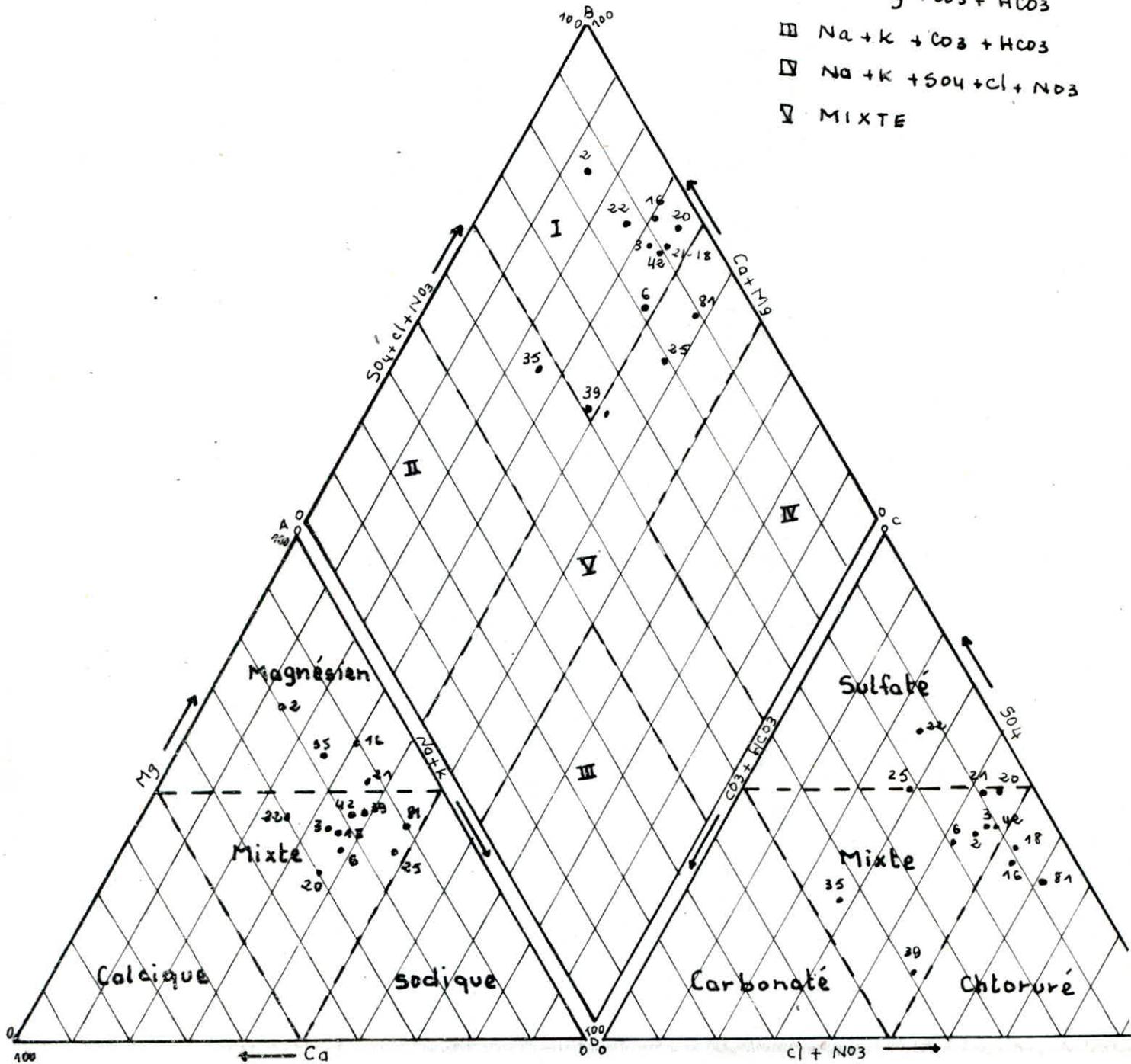


DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

d'après PIPER (U.S Geological Survey)

BOUIRA SAHARI

- I Ca + Mg + SO₄ + Cl + NO₃
- II Ca + Mg + CO₃ + HCO₃
- III Na + K + CO₃ + HCO₃
- IV Na + K + SO₄ + Cl + NO₃
- V MIXTE

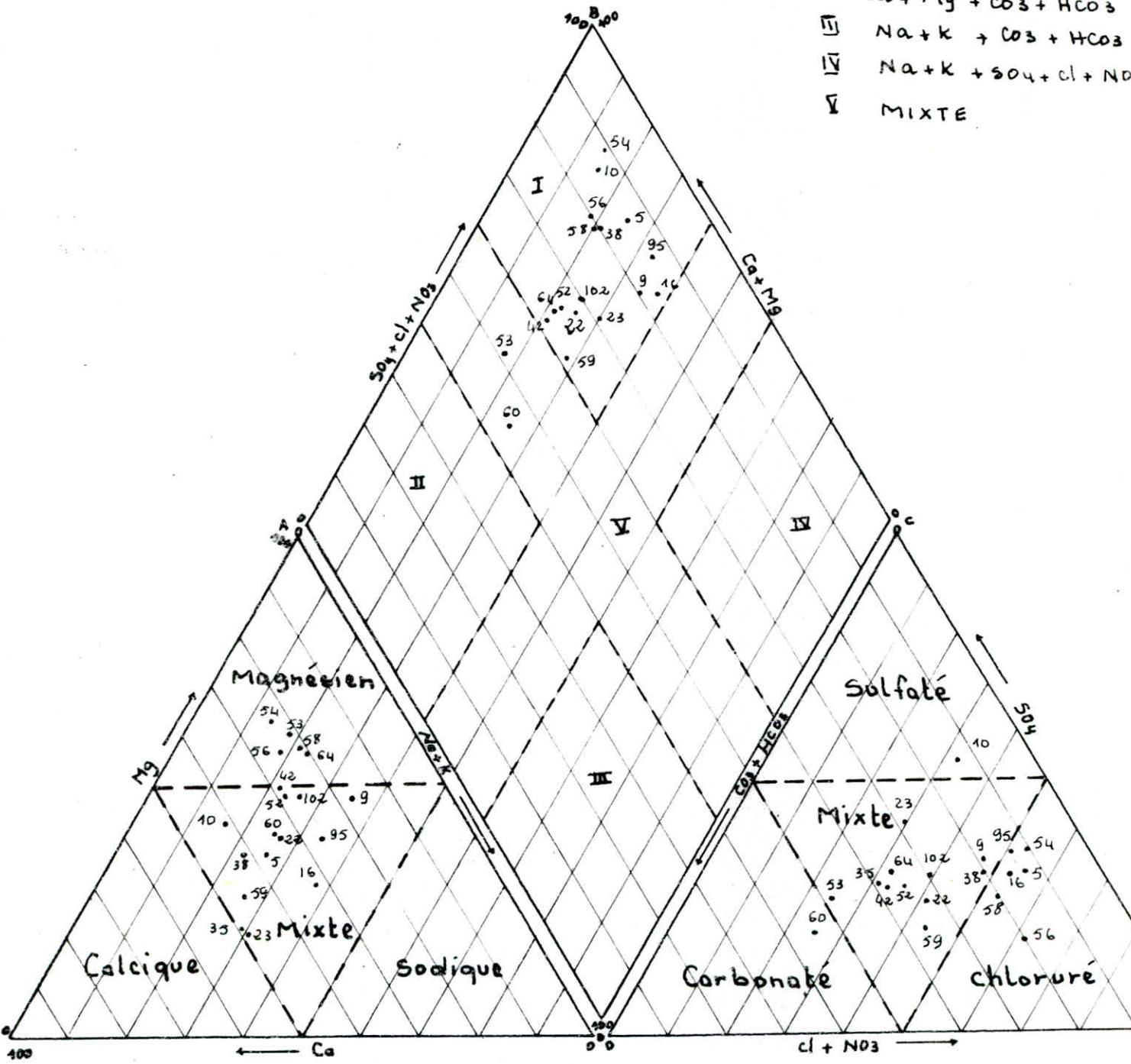
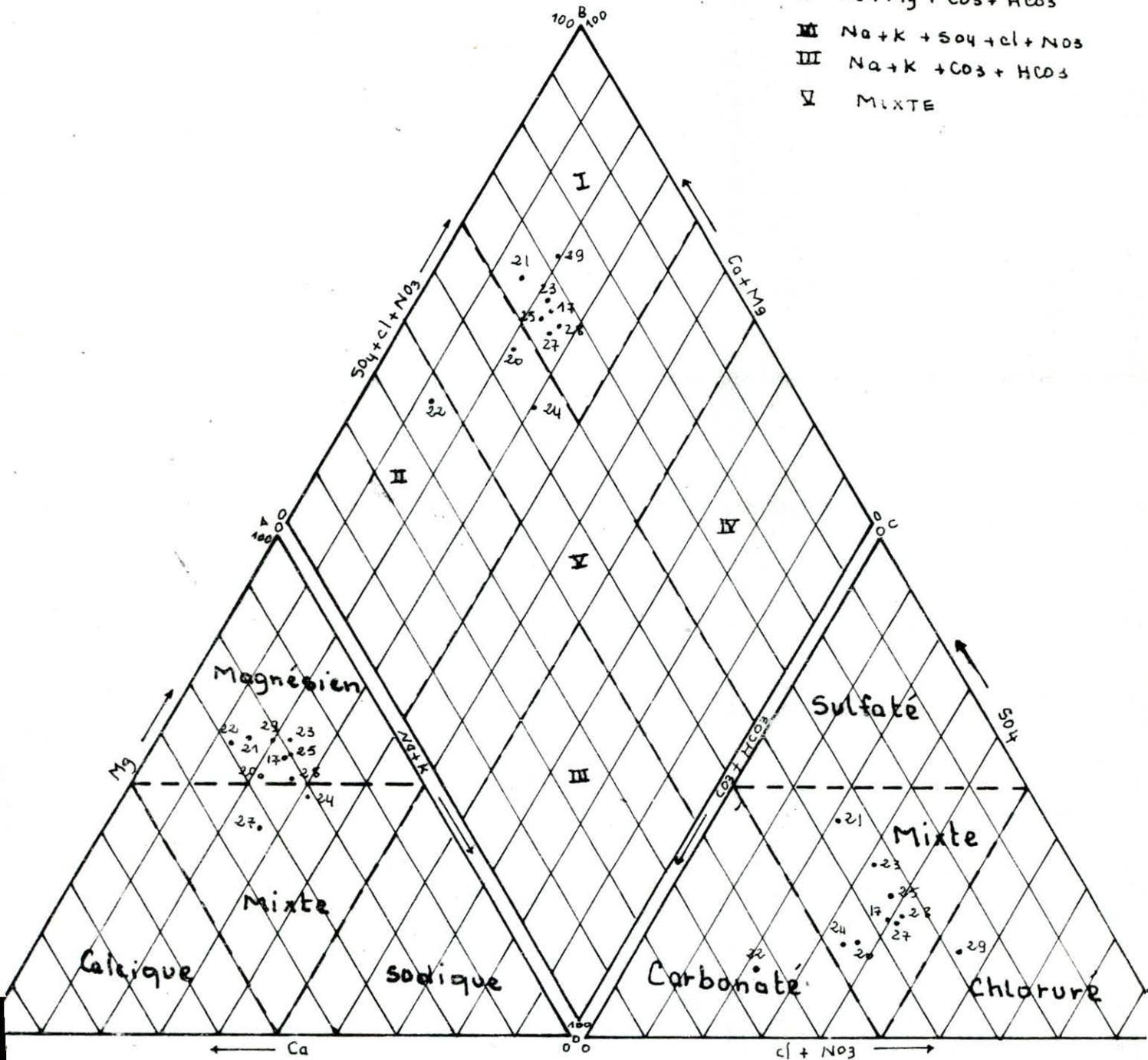


DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

d'après PIPER

GUÉLT STEL

- I Ca + Mg + SO₄ + Cl + NO₃
- II Ca + Mg + CO₃ + HCO₃
- III Na + K + SO₄ + Cl + NO₃
- IV Na + K + CO₃ + HCO₃
- V MIXTE



CHAPITRE SIXIEME

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de notre étude, consacrée à l'hydrogéologie de la plaine d'Ain oussera, nous avons essayé de définir les principaux paramètres hydroclimatologiques, géologiques, piézométriques, hydrodynamiques et hydrochimiques.

L'étude hydroclimatologique a permis, par l'utilisation conjuguée de plusieurs méthodes, de déterminer une lame d'eau moyenne tombée sur le bassin versant d'Ain oussera de 2341 mm, dont toute la lame précipitée a été évapotranspirée. Quant à la détermination du ruissellement a été estimé par des méthodes théoriques et pratiques, dont la valeur est de 7 mm. En se basant sur les caractéristiques géologiques et climatologiques de la région, l'infiltration a été estimée de 5% de la pluviométrie totale, soit une lame de 11,7 mm.

L'étude géologique nous a permis de déterminer la structure la plus importante de la région, qui est un anticlinal de direction atlassique c'est-à-dire ENE-WSW. Dans la région de Birine, les terrains sont affectés par une structuration en écaillés. La limite sud de la plaine est caractérisée par une tectonique cassante.

L'étude piézométrique nous a permis de déterminer la zone à écoulement divergents, la zone de drainage de la

nappe, la zone de convergence des écoulements ainsi que la fluctuation qui conduit à l'évaluation de la variation de la réserve en eau souterraine ou réserve dynamique et son évolution dans le temps. Le calcul des caractéristiques hydrodynamiques par différentes méthodes, a permis de déterminer des valeurs de transmissivité variant de $4,7.10^{-5}$ à $7,8.10^{-3} m^2/s$ et de coefficient d'emmagasinement de certains points d'eau.

L'étude hydrochimique de la nappe d'Ain oussera permet de dégager les caractéristiques suivantes :

- Les eaux de la plaine, selon qu'elles proviennent de la nappe albienne superficielle ou contenue dans le remplissage plio-quadernaire sont différentes.

- Les eaux de la nappe albienne sont généralement de bonne qualité, et présentent un faible résidu sec :

- L'eau des alluvions, et du remplissage plio-quadernaire bien que présentant de bonnes caractéristiques hydrochimiques est moins bonne que celle de l'Albien.

- Les eaux de la nappe superficielle sollicitée par un grand nombre de puits sont chargées et présentent en moyenne un résidu sec supérieur à $1500 mg/l$

Dans la région d'Ain oussera, les formations de l'Albien sont les plus importantes, et ceci grâce à la proximité de ces couches de la surface du sol, leur extension, leur puissance et l'importance de l'impluvium favorables à l'emmagasinement de grandes quantités d'eau.

A un degré moindre, les formations du Barremien présentant des caractéristiques similaires du point de vue hydrogéologique à celles de l'Albien, peuvent constituer un réservoir important. Quand à l'exploitation du Barremien étant donné sa grande profondeur il serait nécessaire de réaliser un ou deux forages de reconnaissance car il reste la solution à tous les problèmes dans le cas d'une très forte demande de besoin en eau dans le futur.

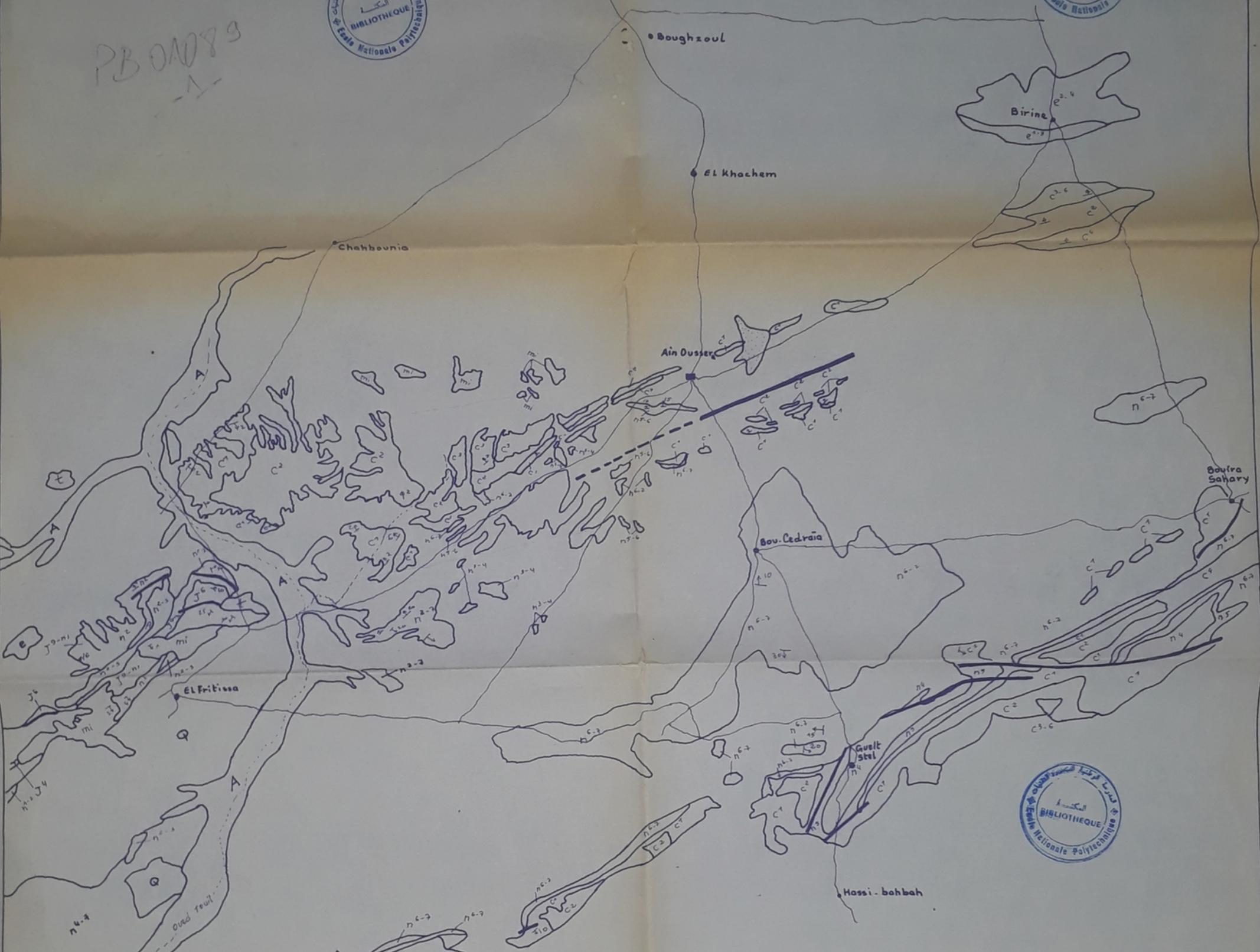
Les autres formations ne présentent pas un grand intérêt, quantitativement les réserves aquifères sont beaucoup moins importantes que dans l'Albien et qualitativement l'eau qu'elles emmagasinent est souvent chargée et de moins bonne qualité.

BIBLIOGRAPHIE

1. Nourredine Chemlal : Etude paleomorphologique et hydrogéologique de la vallée du bas Isser (ALGERIE) . 18 Février 1983
(Thèse présentée à l'université scientifique et médicale de Grenoble pour obtenir le titre de docteur de 3^e cycle de géologie appliquée (option hydrogéologie)).
2. AYAD. A : - Etude hydrogéologique de la plaine d'Aïn oussera .
(ANRH)
- Note sur les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe albienne de la plaine d'Aïn oussera .
3. Gilbert Castany : Principes et méthodes de l'hydrogéologie
(Paris 1982)
4. Carlier : Hydraulique générale et appliquée
5. David Keith Todd : Ground water hydrology .
(Berkeley , California ; mars 1959) .
6. H. D. Sharma et A. S. Chowla : Manual of ground water and Tube wells .
(New Delhi ; mars 1977) .
7. E. M. Wilson : Engineering hydrology . (Third edition) .



PB 00089
-1-



LEGENDE	
	Dunes
	Alluvions récentes
	Quaternaire: croûte calcaire, Alluvions, argiles, galets, dépôts temporaires
	Miocène: grès, calcaires, marnes gréseuses, argiles
	Eocène: conglomérats à blocs, et galets
	Lutétien inférieur, Yprésien, Thanétien: marno-calcaires
	Eocène inférieur: calcaires à numulites
	Sénonien: calcaires - marnes
	Coniacien: calcaires
	Turonien: calcaires - marnes à huîtres
	Cénomanién: calcaires - calcaires dolomitiques, calcaires marneux, marnes
	Albien: grès, calcaires, argiles gréseuses
	Aptien à Albien: calcaires - grès
	Aptien: calcaires, argiles, calcaires marneux
	Barrémien à Aptien
	Barrémien: grès, argiles gréseuses, dolomies
	Hautérvien à barrémien: grès, dolomies, argiles gréseuses
	Néocomien: dolomies gréseuses, grès, argiles gréseuses
	Valanginien
	Bériasien à valanginien: calcaires - marnes
	Thitonique - Bériasien: dolomies calcaires
	Thitonique: dolomies calcaires
	Kimmeridgien: calcaires, marnes, argiles, oolithiques et graveleux, marnes-grès, dolomies
	Oxfordien: marnes, calcaires, argiles, grès
	Dogger: calcaire à silex
	Trias: argiles - gypse

Signes Conventiionnels	
	Limite de faciès ou d'étage
	Faule 1. Visible, 2. Invisible
	Pendage des Couches en degrés

◆ Piezometre ou Forage

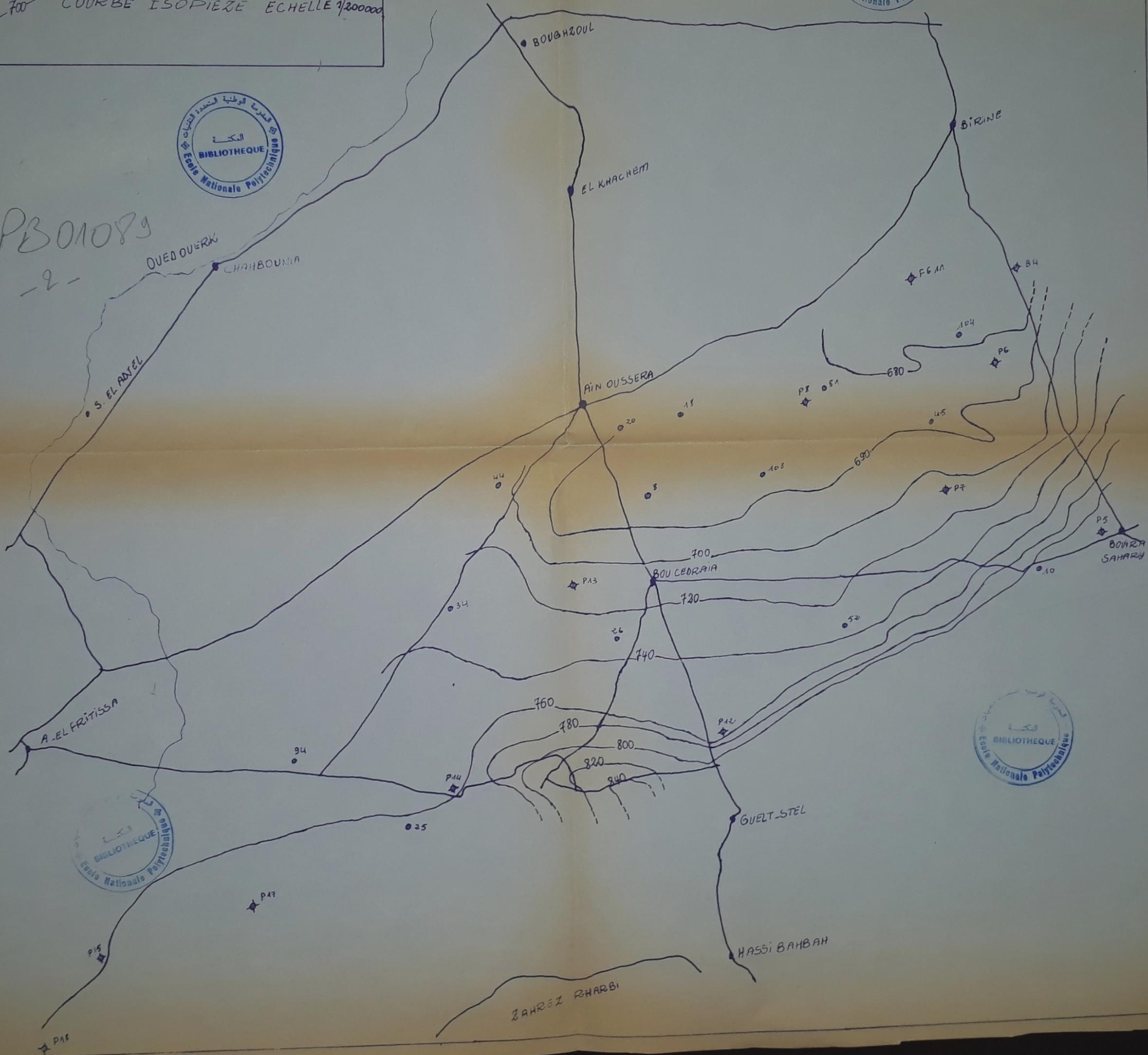
● Puit

700 COURBE ISOPIEZE ECHELLE 1/200000



PB01089

- 2 -

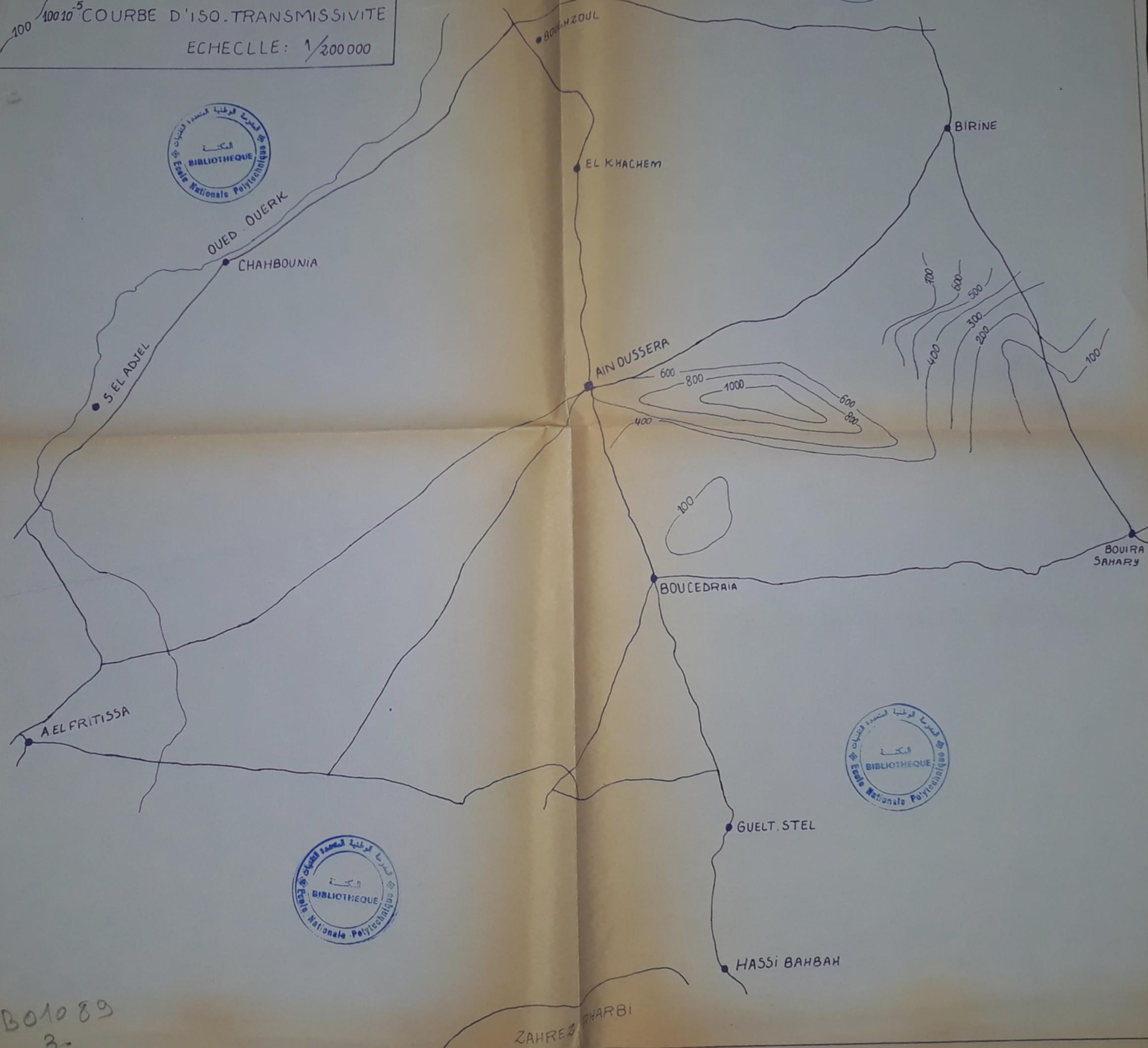


ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE
D'AIN OUSSERA
CARTE DE TRANSMISSIVITE

100 $100 \cdot 10^{-5}$ COURBE D'ISO-TRANSMISSIVITE
EACHELLE: $1/200000$

Carte IV c

Hydraulique
MATI-AMAMRA
JUN - 89



PB01089
-3-

ZAHREZ KHARBI

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA
PLAINE D'AIN OUSSERA
INVENTAIRE DES POINTS D'EAU

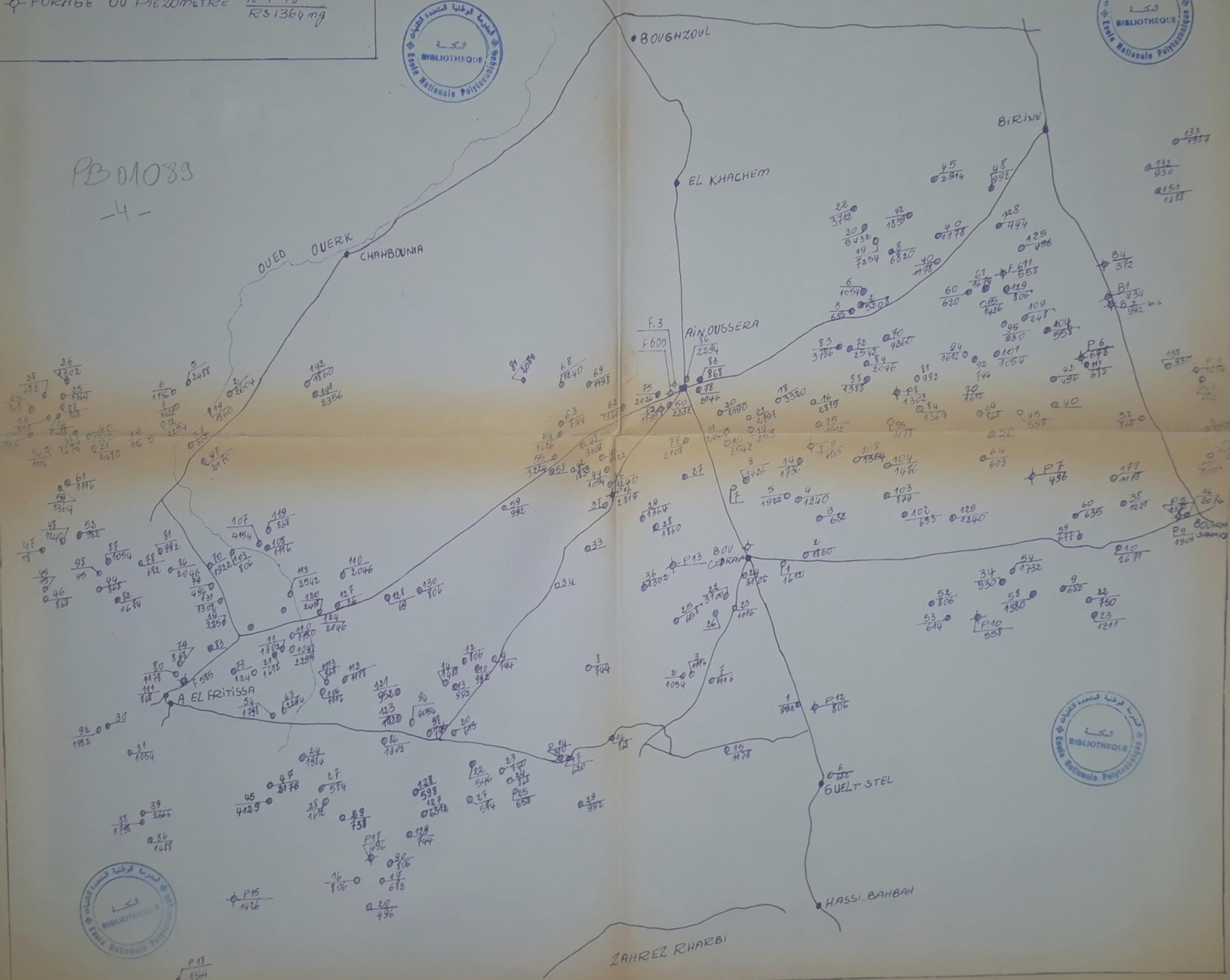
Carte N. 2

○ PUIS N° 53
RS 614 mg/l
⊕ FORAGE OU PIEZOMETRE N° P18
RS 1364 mg



PB 01089

- 4 -



P.11
1307

ZAHREZ RHARBI

Carte du toit de l'albien de la plaine d'Ain oussera

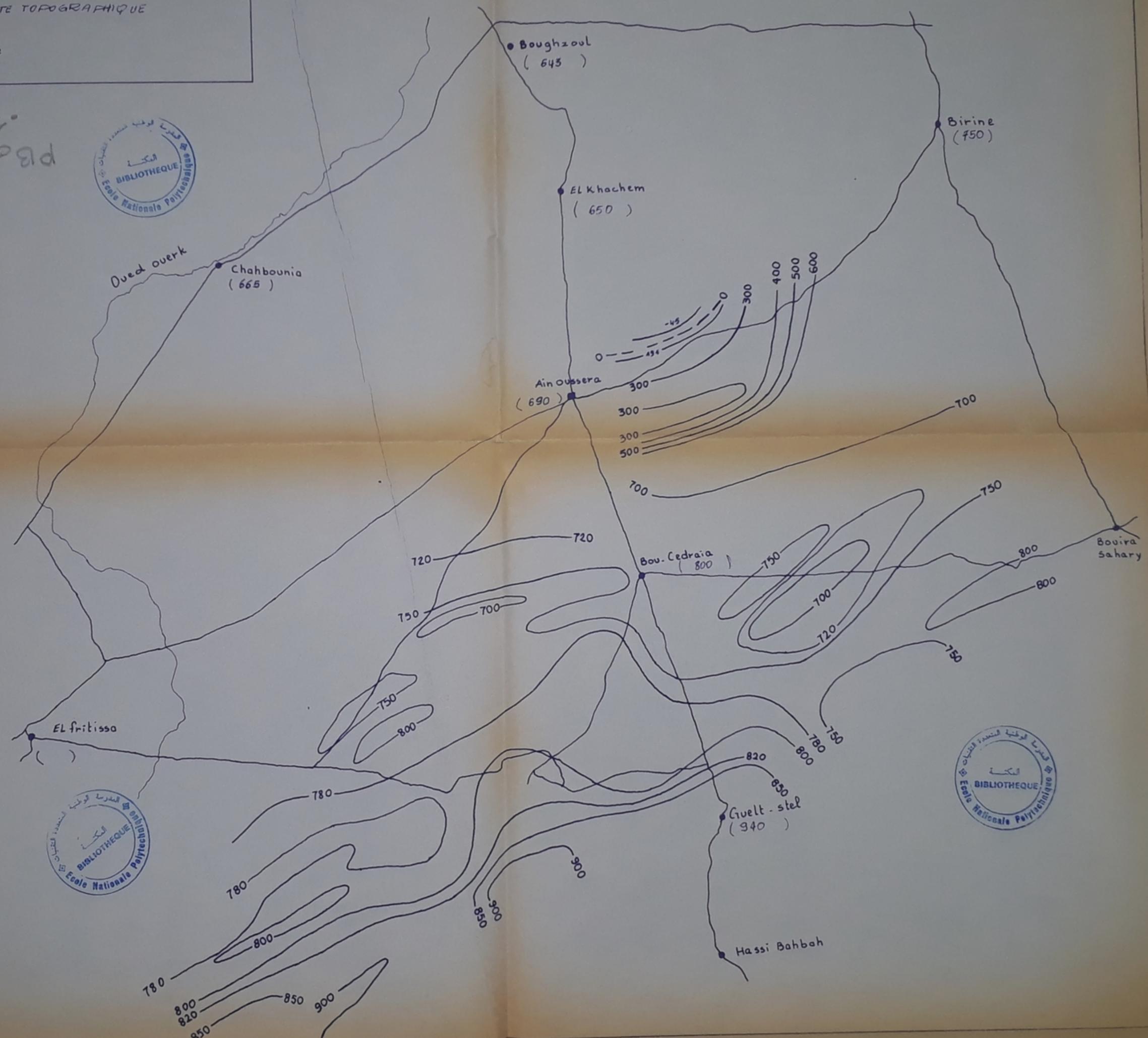
Carte IV.1



700 Courbe Isobathe
() LA COTE TOPOGRAPHIQUE

Echelle : 1/200000^e

5-
PB 010 89



ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA
PLAINE D'AIN OUSSERA

CALCUL DE LA RESERVE STATIQUE PAR

LA METHODE D'ISOPAISEURS

Carte IV.3

Hydraulique
Amamra - Mati
Juin - 89



PB 010 89
- 07 -



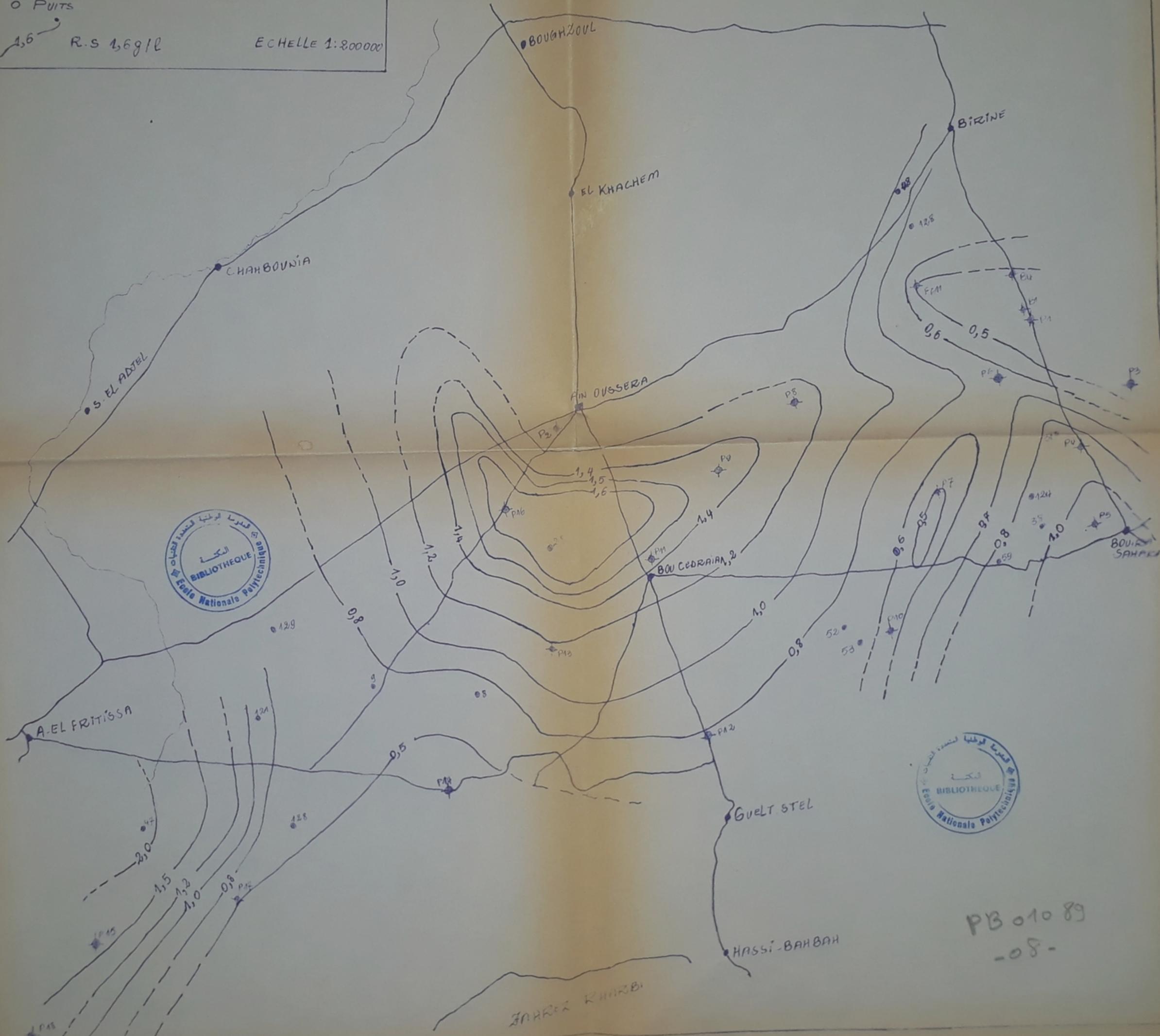
CARTE DES RESIDUS SECS

⊕ FORAGES OU PIEZOMETRES

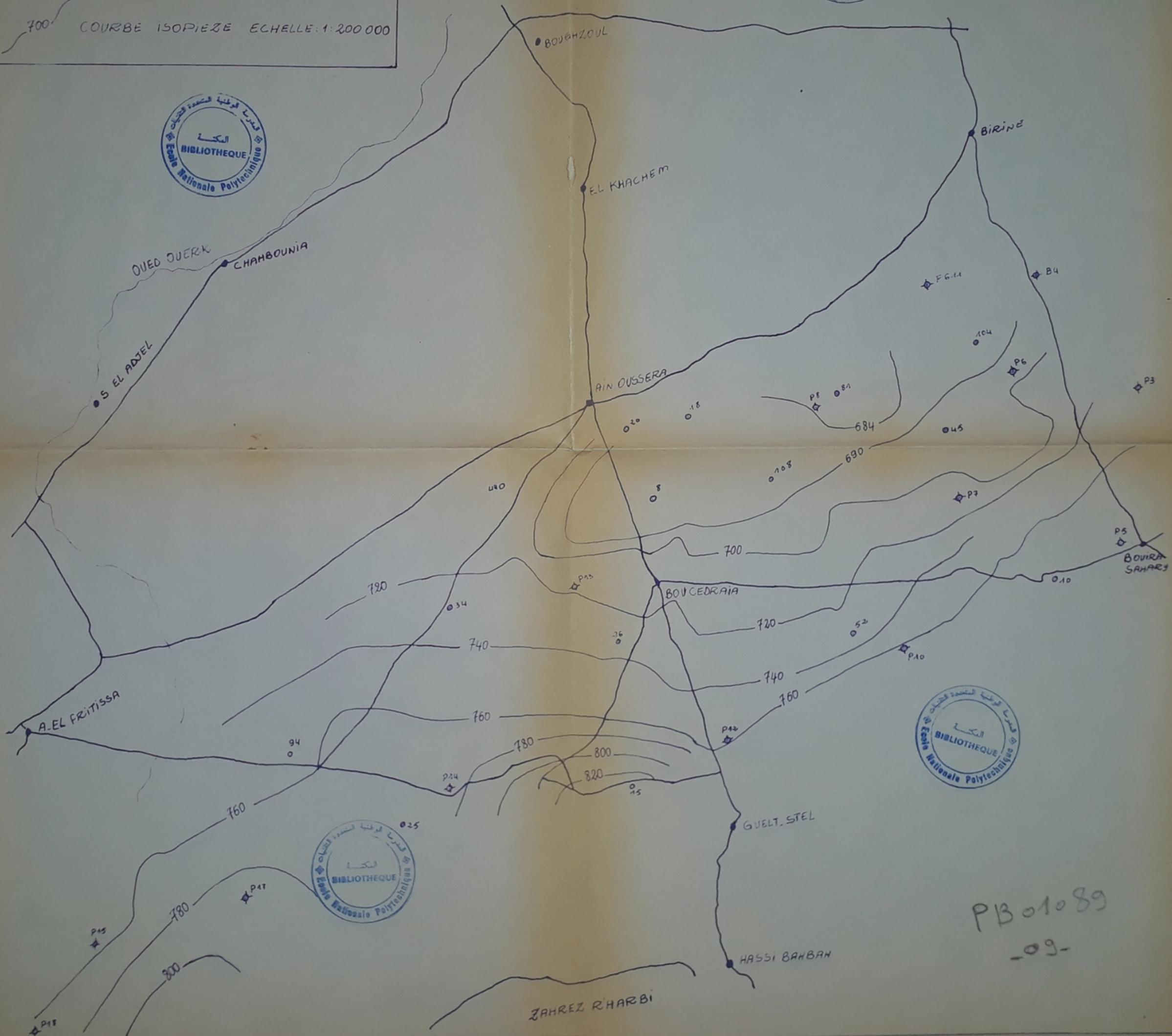
○ PUIXS

1,6 R.S 1,6912

ECHELLE 1:200000



PB 010 89
-08-



PB 01089
-09-

