

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BLIDA
INSTITUT DE GENIE RURAL



SOUTENANCE DE MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Génie Rural
Option : Sciences de l'eau

CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA
PLAINE ALLUVIALE DE OUED EL HACHEM
(Région de Cherchell).
Approche hydrodynamique et hydrochimique

Par Mohammed Ridha KHOULI

Présenté le 21 Mars 2001

devant le Jury constitué de :

Mr. M. MESSAHEL	Maître de conférences USTBlida	Président
Mr. L. DJABRI	Maître de conférences USTAnnaba	Examineur
Mr. A. BOUDOUKHA	Maître de conférences USTBatna	Examineur
Mr. N. MESSAOUD NACER	Chargé de cours USTBlida	Examineur
Mr. A. BOUDJADJA	Chargé de cours USTBlida	Rapporteur

Blida - ALGERIE
Mars 2001

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BLIDA
INSTITUT DE GENIE RURAL

SOUTENANCE DE MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Génie Rural
Option : Sciences de l'eau

CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA
PLAINE ALLUVIALE DE OUED EL HACHEM
(Région de Cherchell).
Approche hydrodynamique et hydrochimique

Par Mohammed Ridha KHOULI

Présenté le 21 Mars 2001

devant le Jury constitué de :

Mr. M. MESSAHEL	Maître de conférences USTBlida	Président
Mr. L. DJABRI	Maître de conférences USTAnnaba	Examineur
Mr. A. BOUDOUKHA	Maître de conférences USTBatna	Examineur
Mr. N. MESSAOUD NACER	Chargé de cours USTBlida	Examineur
Mr. A. BOUDJADJA	Chargé de cours USTBlida	Rapporteur

Blida - ALGERIE
Mars 2001



REMERCIEMENTS



A tous ceux qui comme en Algérie ou en France m'ont aidé à réaliser ce modeste travail, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude en particulier à :

Monsieur Z.YOUBI, Recteur de l'université de Blida.

Monsieur A.BOUDJADJA , pour avoir accepté de diriger mes travaux , son soutien et son assistance et qui n'a ménagé aucun effort pour que je puisse finaliser ce travail.

Monsieur M. MESSAHEL, qui me fait l'honneur de présider ce jury .

Monsieur N.MESSAOUD NACER, pour toute son aide lors de mes déplacements en France, l'intérêt qu'il a apporté à ce travail en voulant bien le juger.

Monsieur J.MANIA , professeur d'hydrogéologie à la faculté des sciences de Besançon, pour m'avoir accueilli dans son laboratoire de géologie appliquée, ses précieux conseils , sa disponibilité et qui fût mon maître en m'initiant à l'informatique géologique.

Monsieur L .DJABRI , pour avoir accepté de faire partie du jury en jugeant ce travail.

Monsieur A. BOUDOUKHA , qui me fait l'honneur de participer au jury en jugeant ce travail.

L'ensemble du personnel de l'institut du génie rural

Monsieur R.BENAISSA, pour sa précieuse assistance lors de la finalisation de ce document.

Madame O.MIATTI, qu'elle sache combien je lui dois de respect.

Monsieur A.BOUCEBCI , en souvenir des moments les plus difficiles surtout lors de mes déplacements sur le terrain, où il a été l'homme de la situation et des décisions.

Mes amis, Mouloud, Fouzi, Omar, Zerrouk , Hamid et Ali.

Mes très chers parents.

Ma petite famille , Kheïra et Walid.

RESUME

Cette étude hydrogéologique est une contribution à la connaissance du réservoir alluvial de Oued El Hachem (région de Cherchell). Le secteur étudié appartient au tell septentrional, comprenant les noyaux kabyles, la chaîne calcaire et les flyschs Sud et Nord kabyles.

La plus grande partie de l'alimentation des eaux de l'oued reste tributaire des eaux météoriques, avec cependant des précipitations annuelles de 578 mm et une infiltration de 6,4%.

L'altimétrie des diverses terrasses a montré l'existence de six niveaux, dont le niveau « zéro », situé à 3,5 m au dessus de l'oued, constitue le réservoir alluvial avec une puissance toujours inférieure à 40m.

L'ensemble des cartes piézométriques montre qu'avant la mise en service du barrage de Boukourdane, l'existence d'un écoulement général des eaux souterraines d'orientation Sud-Nord, parallèle à celui des écoulements des eaux de surface.

La réalisation et la mise en service du barrage a modifié totalement l'hydrodynamisme de la nappe.

La simulation des états piézométriques en régime transitoire par la méthode des différences finies, montre une assez bonne similitude entre la piézométrie mesurée et calculée.

Enfin, les eaux de la nappe montrent une forte prédominance du faciès calcaire due à l'abondance des calcaires à l'Ouest de la plaine, constituant une source d'alimentation.

ملخص

هذه الدراسة الهيدروجيولوجية هي مساهمة لمعرفة الخزان الطميي لواد الهاشم (ناحية شرشال). تنتمي الناحية المدروسة إلى التل الشمالي و تحتوي على النوى القبائلية، السلسلة الكلسية و (flyschs) الجنوبي و الشمالي القبائليين.

إن أكبر نسبة من تموين مياه الواد المدروس تبقى خاضعة لمياه الأمطار و هذا بنسبة 578 مم سنويا، بينما قدرة التسرب تصل إلى 6,4 % .
لقد بينت إرتفاعات الشرفات وجود ستة مستويات، المستوى "الصفر" الموجود على ارتفاع 3,5م فوق مستوى الواد يشكل الخزان الطميي بطاقة تبقى دائما أقل من 40م.

تبين مختلف خرائط مستوى إرتفاع المياه وجود جريان عام للمياه الجوفية ذات إتجاه جنوبي-شمالي موازيا لجريان المياه السطحية و هذا قبل تشغيل سد بو كردان. إن تشغيل هذا السد قد غير كلية من ديناميكية المياه الجوفية.

الدراسة المقلدة لحالات إرتفاع مستوى المياه في نظام إنتقالي بواسطة طريقة محدودة العناصر، تثبت وجود تشابه جيد نسبيا بين الضغط المقاس و الضغط المحسوب.

تظهر أخيرا مياه الطبقة المائية تفوق الصفة الكيميائية الكلسية الناتجة عن وفرة و غزارة الكلس في الناحية الغربية للسهل و التي تشكل مصدر تموين هذه الطبقة.

ABSTRACT

This study is a contribution to the hydrogeological knowledge of the alluvial reservoir of Oued El Hachem (Cherchell region). The studied sector belongs to the northern, containing tell cores kabyls, the chalky chain and the flyschs South and North kabyls.

The biggest part of the feeding of the waters of the oued remains meteoric water tributary, with however of the yearly precipitations of 578 mms and an infiltration of 6,4%.

The various terrace altimetry showed the existence of six levels, of which the level zero, situated to 3,5 ms over to the of the oued, constitute the alluvial reservoir with a strength still lower to 40m.

The whole of piezometric maps shows that before the stake in service of the dam of Boukourdane, the existence of a general out-flow of the underground waters of South-north orientation, parallel to the one of out-flows of the surface waters.

The realization and the stake in service of the dam modified the hydrodynamic of the tablecloth completely.

The simulation of piezometric states in transient regime by the method of differences finished, watch a good enough likeness between the measured and calculated piezometric.

Finally, the waters of the tablecloth show a strong predominance of facies calcique owed to the abundance of limestones to the west of the plain, constituent a source of feeding.

TABLE DES MATIERES

RESUME

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE UN : INTRODUCTION GENERALE

I-1 LES OBJECTIFS	1
I-2 LES MOYENS	1
I-2-1 Etude géologique	1
I-2-2 Etude hydroclimatique	2
I-2-3 Etude hydrodynamique	2
I-2-4 Etude physico-chimique des eaux	2
I-3 DONNEES GENERALES	5
I-3-1 Situation géographique	5
I-3-2 Climat	5
I-3-3 Hydrographie	5
I-3-4 Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued El Hachem	6

CHAPITRE DEUX : APERCU HYDROCLIMATIQUE

II-1 INTRODUCTION	9
II-2 ANALYSE DES TEMPERATURES	9
II-2-1 Station de Bou-Ismaïl	11
II-2-2 Station de Cherchell-Phare	11
II-2-3 Données récentes à Cherchell-Phare	13
II-2-4 Conclusion	13
II-2-5 Les Climogrammes	15
II-3 ANALYSE DES PRECIPITATIONS	17
II-3-1 Introduction	17
II-3-2 Les grandes lignes de la pluviométrie de l'Afrique de Nord (Maroc-Algérie-Tunisie)	17
II-3-3 Le réseau pluviométrique	18

II-3-4 Répartition des moyennes mensuelles à Tipasa, Bou-Ismaïl et Cherchell-Phare pour la période 1913-1953	18
II-3-5 Distribution des précipitations annuelles à Cherchell-Phare et son ajustement à la loi normale	20
II-3-6 Test de la droite de Henry en loi normale ,mode opératoire	21
II-3-7 Caractéristiques statistiques des précipitations annuelles à la station de Cherchell-Phare	23
II-3-7.1 La moyenne arithmétique	23
II-3-7.2 L'écart type ou déviation standard	23
II-3-7.3 La variance	23
II-3-7.4 Le coefficient de variation	23
II-4 L'HUMIDITE	24
II-4-1 Introduction	24
II-4-2 La tension de vapeur d'eau (f)	24
II-4-3 L'humidité relative ou état hydrométrique (H)	24
II-5 L' EVAPOTRANSPIRATION	25
II-5-1 Calcul de l'E.T.P	25
II-5-2 Calcul de l'E.T.R	27
II-5-2-1 Formule de TURC	27
II-5-2-2 Formule de COUTAGNE	27
II-5-2-3 Méthode ombrothermique	27
II-6 HYDROLOGIE DE SURFACE	29
II-6-1 Corrélation précipitations/débits	29
II-6-2 Débits extraits de la nappe	30
II-7 ESSAI DE BILAN HYDROLOGIQUE	31
II-7-1 Définition des différents termes	31
a) Les précipitations	31
b) L'ETP	31
c) L'ETR	31
d) Le ruissellement	31

e) L'infiltration	31
II-7-2 Conclusion	32

CHAPITRE TROIS : GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

III-1 INTRODUCTION	33
III-2 LES FORMATIONS	33
III-3 ROCHES D'EPANCHEMENT D'AGE BURDIGALIEN	37
III-3-1 Pétrographie	37
III-3-2 Analyses des lames minces	37
III-4 GEOLOGIE DU DJEBEL TABARRÄND	39
III-4-1 Introduction	39
III-4-2 Stratigraphie	39
III-4-3 Structures du massif	43
III-5 LES FORMATIONS RECENTES EN RIVE DROITE DE OUED EL HACHEM ET DESCRIPTION DES DIFFERENTS NIVEAUX	45

CHAPITRE QUATRE :LE RESERVOIR ALLUVIAL DE L'OUED EL HACHEM

IV-1 GEOMETRIE DU RESERVOIR ALLUVIAL	46
IV-1-1 Stratigraphie	46
a) 1 ^{ère} période	46
b) 2 ^{ème} période	46
c) 3 ^{ème} période	46
d) 4 ^{ème} période	46
e) 5 ^{ème} période	46
IV-1-2 Structure	47
a) Structure longitudinale	47
b) Structure transversale	47
IV-2 PROSPECTION GEOPHYSIQUE	50
IV-2-1 Interpretation des résultats obtenus	50

a) SE 41	50
b) SE 95	50
c) SE 28	50
IV-2-2 Sondages électriques paramétriques	51
a) SE1-SE2	51
b) SE98-109	51
c) SE82-111	51
d) SE 87-110	51
e) SE73-63-75	51
f) SE sismique refraction	57
IV-2-3 Résultats d'ensemble	57
IV-2.4 Conclusion	61
IV-3 COUPES INTERPRETATIVES	61
IV-3-1 Coupe I	61
IV-3-2 Coupe II	61
IV-3-3 Coupe III	62
IV-3-4 Coupe IV	62
IV-3-5 Coupe V	62
IV -4 LIMITES LATERALES DU RESERVOIR ALLUVIAL	65
IV -5 ESSAI DE DATATION DES TERRAINS QUATERNAIRES	65

CHAPITRE CINQ : ETUDE HYDRODYNAMIQUE

V-1 INTRODUCTION	67
V-2 INVENTAIRE DES POINTS D'EAU	67
V-3 UTILISATION DES OUVRAGES DE CAPTAGE	67
V-4 CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES DE CAPTAGE	67
V-4-1 Les puits domestiques	67
V-4-2 Les forages	67
V-5 INTERPRETATION DES CARTES PIEZOMETRIQUES	68

V-6 INTERPRETATION DES ESSAIS DE POMPAGES EN VUE DU CALCUL DE LA TRANSMISSIVITE (T) ET DU COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT	73
V-6-1 But des essais de pompage	73
V-6-2 Détermination de la transmissivité (T) et du coefficient d'emmagasinement	73
a) Définition	73
b) Méthode d'interprétation: la méthode d'approximation logarithmique de JACOB	74
V-6-3 Mode opératoire	74
V-6-4 Application	75
V-7 IMPACT DE LA MISE EN SERVICE DU BARRAGE DE BOUKOURDANE SUR LA NAPPE ALUVIALE DE OUED EL HACHEM	78
V-7-1 Evolution de la piézométrie	78
V-7-2 Volume lâché et volume infiltré d'après les jaugeages différentielles, réalisés le 27 avril 1998.	81
V-7-2-1 Volume lâché	81
V-7-2-2 Volume infiltré dans la nappe	81
V-7-3 Conclusion	81

CHAPITRE SIX : ESSAI D'ELABORATION D'UN MODELE MATHEMATIQUE TRANSITOIRE DE LA NAPPE ALLUVIALE DE OUED EL HACHEM

VI-1 INTRODUCTION	82
VI-2 BASES PHYSIQUES ET MATHEMATIQUES DANS LA MODELISATION	82
VI-3 CADRE DE LA MODELISATION	83
VI-4 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	83
VI-4-1 Rappel sommaire de la géologie	83
VI-4-2 L'hydrogéologie	84
VI-5 ELABORATION ET CHOIX DU MODELE	85
VI-5-1 Choix du modèle	85
VI-5-2 Schéma du modèle	85
VI-5-2-1 Domaine de définition	85
VI-5-2-2 Géométrie de l'aquifère	87
VI-5-2-3 Distribution des transmissivités	87
VI-5-2-4 Distribution des emmagasinelements	87

VI-5-2-5 Potentiel	87
VI-5-2-6 L'alimentation	87
VI-5-2-7 Débits prélevés	87
VI-5-2-8 Introduction des données	89
 VI-6 CALAGE DU MODELE	 96
VI-6-1 Le coefficient de perméabilité	96
VI-6-2 Résultats	96
VI-6-3 Reproduction de la piézométrie	97
VI-6-4 Etude du bilan issue du calage	100
VI-7 CONCLUSION	100

CHAPITRE SEPT : ETUDE HYDROCHIMIQUE

VII-1 INTRODUCTION	101
VII-2 METHODES D'ANALYSE	101
VII-2-1 Les dosages titrimétriques	101
VII-2-2 Les dosages colorimétriques	101
VII-2-3 Les dosages par spectrométrie	101
VII-3 CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE OUED EL HACHEM	101
VII-3-1 Prélèvements et analyses	101
VII-3-2 Résultats et interprétation	102
VII-3-2-1 Cartographie	102
a) Les sulfates	102
b) Le sodium-potassium	102
c).Le calcium	102
d) Le magnésium	103
e) Les chlorures	103
f) Les bicarbonates	103
g) La conductivité électrique	103

VII-3-2-2 Conclusion	113
VII-3-2-3 Diagrammes de SCHOELLER-BERKALOFF	113
a) Caractéristiques générales	113
b) Evolution des faciès chimiques dans le temps	117
c) Variation spatiale	118
VII-3-2-4 Diagrammes triangulaires	120
VII-3-2-5 Analyses en composantes principales	123
a) Matrice des coefficients de corrélation (Juillet 1985)	123
b) Matrice des coefficients de corrélation (Janvier 1986)	125
VII-3-2-6 Irrigation des sols agricoles et notion de S.A.R	126
VII-4 INTRUSION DES EAUX SALEES DANS LA PARTIE AVALE DE LA NAPPE	129
VII-4-1 Les diagrammes Shoeller-Berkaloff	129
VII-4-2 Les diagrammes triangulaires	129
VII-4-3 Analyse statistique	135
VII-4-4 Profils longitudinaux	135
VII-4-5 Etu de la saturation des eaux	138
VII-5 Conclusion	138
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS	140
ANNEXE 1 -Formules de calcul de l'évapotranspiration	
ANNEXE 2-Méthodes d'analyses chimiques	
ANNEXE 3-Organismes cités dans le texte	
ANNEXE 4-Résultats des relevés piézométriques	
ANNEXE 5-Carte de maillage	
ANNEXE 6-Résultats d'analyses chimiques	
ANNEXE 7-Programme SGMP	
ANNEXE 8-Caractéristiques du barrage de Boukourdane	

LISTE DES FIGURES

Figure N°	Titre	Page
1 :	Situation géographique.....	3
2 :	Géologie de la zone d'étude.....	4
3 :	Constitution de Oued El Hachem.....	7
4 :	Situation du bassin versant de Oued El Hachem.....	8
5 :	Extrait de la carte pluviométrique de l'Algérie (CHAUMONT et PAQUIN 1967).....	10
6 :	Variation annuelle des minima et maxima et de leur demi-somme à Bou-Ismaïl	12
7 :	Variation annuelle des minima et maxima et de leur demi-somme à Cherchell-phare.....	12
8 :	Variation des températures moyennes mensuelles (1964-1984)à Cherchell-phare.....	14
9 :	Climogramme à Cherchell phare.....	16
10 :	Moyenne mensuelle à la station de Tipasa (1913-1953).....	19
11 :	Moyenne mensuelle à la station de Bou-Ismaïl (1913-1953).....	19
12 :	Moyenne mensuelle à la station de Cherchell-phare (1913-1953).....	19
13 :	Test de la droite de Henry en loi normale à la station de Cherchell-phare (1950- 1984).....	22
14 :	Variation annuelle de la tension de vapeur d'eau à Bou-Ismaïl.....	26
15 :	Variation de l'humidité relative à Bou-Ismaïl.....	26
16 :	Courbe ombrothermique à Cherchell-phare	28
17 :	Esquisse structurale de la Berbérie (A. CAIRE 1967).....	35
18 :	Coupes géologiques d'ensemble.....	36
18a :	Coupe du versant sud ouest du Chenoua entre Drâa elGuenina et le Djebel Bahri	
18b :	Coupe du Djebel Chembeïda	
19 :	Coupes lithostratigraphiques (d'après C.LEPVRIER ,JC MANCET 1972) (coupe de Sidi -Zekri ;coupe de Oued Tidaf).....	41
20 :	Coupe lithostratigraphique (d'après C.LEPVRIER ,JC MANCET 1972) coupe de Sidi-Amhend Es Sayah.	42
21 :	Schéma de l'évolution structural des terrains du Djebel Tabarrând	44
22 :	Sondage Cherchell N° F4 ,date des travaux Juin 1974.....	48

23: Sondage Cherchell N° F2, date des travaux Août 1974.....	49
24: Sondage électrique 41	52
25: Sondage électrique 95	52
26: Sondage électrique 28	53
27: Sondages électriques 1-2	53
28: Sondages électriques 98-109	54
29: Sondages électriques 82-111	54
30: Sondages électriques 87-110	55
31: Sondages électriques 73-75-63	56
32: Position des profils de sondages électriques et des coupes interprétatives.....	59
33: Coupes interprétatives d'après l'étude géophysique et les sondages mécaniques	60
33 a :Bordj Ghobrini	
33 b :Bou Aroua	
33 c :Sidi Amar	
34: Coupes transversales dans la plaine alluviale de l'oued El-Hachem (I - II - III)	63
35: Coupes transversales dans la plaine alluviale de l'oued El-Hachem (IV - V)	64
36: Carte des points d'eau	69
37: Carte piézométrique (Avril 1985)	70
38: Carte piézométrique (Novembre 1985)	71
39: Carte piézométrique (Avril 1986)	72
40: Courbe de descente (forage F 4R) 04/05/86.....	76
41: Courbe de descente (forage F 4) 31/08/83.....	76
42: Courbe de descente (forage F3-FB) 11/08/83.....	77
43: Courbe de descente (forage F2) 31/07/83.....	77
44: Courbe de descente (forage F1) 04/05/86.....	77
45: Evolution des profondeurs des niveaux d'eau.....	79
46: Réseau de surveillance des eaux souterraines de la nappe alluviale de Oued El Hachem.....	80
47: Carte de maillage.....	86
48: Carte des transmissivités.....	88
49: Carte piézométrique mesurée.....	98
50: Carte piézométrique simulée.....	99

51: Carte des teneurs en anions (Octobre 1985)	104
52: Carte des teneurs en anions (janvier 1986)	105
53: Carte des teneurs en anions (avril 1986)	106
54: Carte de teneurs en cations (octobre 1985)	107
55: Carte des teneurs en cations (Janvier 1986).....	108
56: Carte des teneurs en cations (avril 1986)	109
57a : Carte des conductivités (octobre 1985).....	110
57b : Carte des conductivités (janvier 1986).....	111
57c : Carte des conductivités (avril 1986).....	112
58: Diagramme de Schoeller-Berkaloff ,forages,F3-FB ,F4 ,F2	115
59: Diagrammes de Schoeller -Berkaloff,points ,105,SA,95	116
60: Diagrammes de Schoeller-Berkaloff;profil Nord-Sud;points,95,SA,35F,101	119
61: Diagramme triangulaire de PIPER Mg++,Ca++,Na+K (Juillet 1985-Janvier 1986-Avril1986)	121
62: Diagramme triangulaire de PIPER SO4 --,Cl-,HCO3- (Juillet 1985-Janvier 1986-Avril1986)	122
63: Analyse en composantes principales des éléments chimiques (période juillet 1985)	124
64: Analyse en composantes principales des éléments chimiques (période janvier 1986)	125
65: Classification des eaux d'irrigation -Diagramme de RICHARDS	128
66: Répartition des excavations à l'intérieur de l'oued (P1 à P12).....	130
67: Biseau salé-diagramme de Shoeller-Berkaloff (P1 àP6).....	131
68: Biseau salé-diagramme de Shoeller-Berkaloff (P7 àP12).....	132
69: Biseau salé-diagramme triangulaire Ca++,Mg++,Na+K.....	133
70: Biseau salé-diagramme triangulaire Cl- ,SO4--,HCO3-.....	134
71: Evolution de la conductivité.....	136
72: Evolution des bicarbonates.....	136
73: Evolution des chlorures.....	137
74: Evolution du résidu sec.....	137

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°	Titre	Page
1:	Caractéristiques morphométriques du bassin versant de Oued El Hachem	6
2:	Valeurs mensuelles et annuelles des températures minima(m),maxima(M) et de leur demi-somme à la station de BOU-ISMAIL (1924-1938).....	11
3:	Valeurs mensuelles et annuelles des températures minima(m),maxima(M) et de leur demi-somme à la station de CHERCHELL PHARE (1918-1934).....	11
4:	Moyennes mensuelles des températures à la station de CHERCHELL PHARE (1964-1984)	13
5:	Moyennes mensuelles des températures et précipitations à la station de CHERCHELL PHARE.....	15
6:	Valeurs des précipitations annuelles à la station de CHERCHELL PHARE (1950-1984)	20
7:	Variations mensuelles et annuelles de la tension de vapeur d'eau (f) et de l'humidité relative (H) à 7h,13h et 18 heures à la station de BOU-ISMAIL.....	25
8:	Correlation précipitations /débits.....	29
9:	Composition chimique (unité %)	38
10:	Caractéristiques géophysiques des alluvions et du substratum	57
11:	Datation des différents niveaux	66
12:	Résultats des essais de pompage	75
13:	Variation de la profondeur du niveau piézométrique entre 1966 et 1998.....	78
14:	Evolutio de la profondeur(en mètres) des niveaux piézométriques après le 27 Avril 1998.....	79
15:	Comparaison de la piézométrie mesurée et calculée sur 14 ans.....	97
16:	Variation des paramètres physico-chimiques (Juillet 1985 et Janvier 1986).....	117
17:	Matrice des coefficients de corrélation (Juillet 1985).....	123
18 :	Matrice des coefficients de corrélation (Janvier 1986).....	125
19:	Analyse statistique des éléments chimiques (biseau salé).....	135
20:	Evolution des bicarbonates,chlorures ,sodium-potassium et résidu sec.....	135
21:	Saturation des eaux vis à vis de la calcite et du gypse.....	138

CHAPITRE UN

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE UN INTRODUCTION GENERALE

I-1 - LES OBJECTIFS

La plaine de Oued El-Hachem a été depuis fort longtemps une région à vocation agricole où les principales spéculations sont : le maraîchage, les agrumes et la viticulture. Cette zone n'ayant pas connue d'essor industriel, constitue dans le prolongement Ouest de la plaine de la Mitidja, une zone agricole d'importance régionale, exigeant une mobilisation maximale des potentialités hydriques. Dans la perspective de son développement et afin de pallier au relatif déficit en eau, dont l'étude a été faite par les services du M.H.E.F en 1983, un projet de construction de barrage a été retenu. La digue située au Sud du village de Sidi Amar, délimitant ainsi une retenue devant assurer les besoins en eau:

- potable de Hadjout-Sidi Amar-Tipasa-Chenoua-Nador-Cherchell
- d'irrigation de la vallée de Oued El Hachem, de la dépression au pied mont des versants nord du Chenoua, parties aval des vallées de Oued Nador et Oued Mered.

L'étude que nous présentons dans ce mémoire a pour objectif, la détermination des principaux caractères hydrologiques et hydrogéologiques de la plaine, le comportement chimique des eaux et l'établissement d'un modèle mathématique des écoulements souterrains (méthode des différences finies) en intégrant l'impact de la retenue en amont.

I-2 - LES MOYENS

I-2.1. Etude géologique :

Nous nous sommes basés pour l'étude géologique sur les travaux de L. GLANGEAUD (1932) [26] et ceux de L. LEPVRIER (1972) [28] [30] [31] . Il nous a semblé utile de compléter la description détaillée des massifs éruptifs de Boukourdane, par la détermination précise des faciès les plus répandus par un échantillonnage et des analyses chimiques. Le concours du professeur M. ROSSY (laboratoire de pétrographie de Besançon) et la contribution à l'étude micropaléontologique des échantillons de M. REYMOND (1970) [50] nous a été d'un apport certain.

En ce qui concerne la géométrie du réservoir, nous avons exploité les résultats de la campagne géophysique de la Compagnie Générale de Géophysique de 1966 ainsi que les données de sondages mécaniques réalisés par la D.H.W. (Direction de l'Hydraulique de la Wilaya) de Blida.

I-2.2. Etude hydroclimatique :

Elle portera essentiellement sur l'analyse et l'interprétation des paramètres climatiques (précipitations, températures, évaporation, ruissellement, infiltration) dans le but d'en évaluer leurs variations spatiales et temporelles, et d'aboutir à un bilan en eau à l'échelle de la région.

I-2.3. Etude hydrodynamique :

L' inventaire et le nivellement des points d'eau entrepris par nos soins, a permis de réaliser cinq levés piézométriques traduits par des cartes piézométriques, correspondant aux différents états de la nappe (basses et hautes eaux).

L' obtention des paramètres hydrodynamiques a été possible grâce à l'interprétation des données de pompage dont les essais ont été réalisés par nos soins.

I-2.4. Etude physico-chimique des eaux :

Les analyses d'eau ont été effectuées par le laboratoire de chimie des eaux de l'U.R.G. (Unité de Recherche de Géologie, Alger) : ont porté sur la conductivité électrique (25°C), le résidu sec, le pH et les ions : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- . Nous avons exprimé les résultats sous différentes formes (cartes et diagrammes) dans le but de caractériser leur faciès.

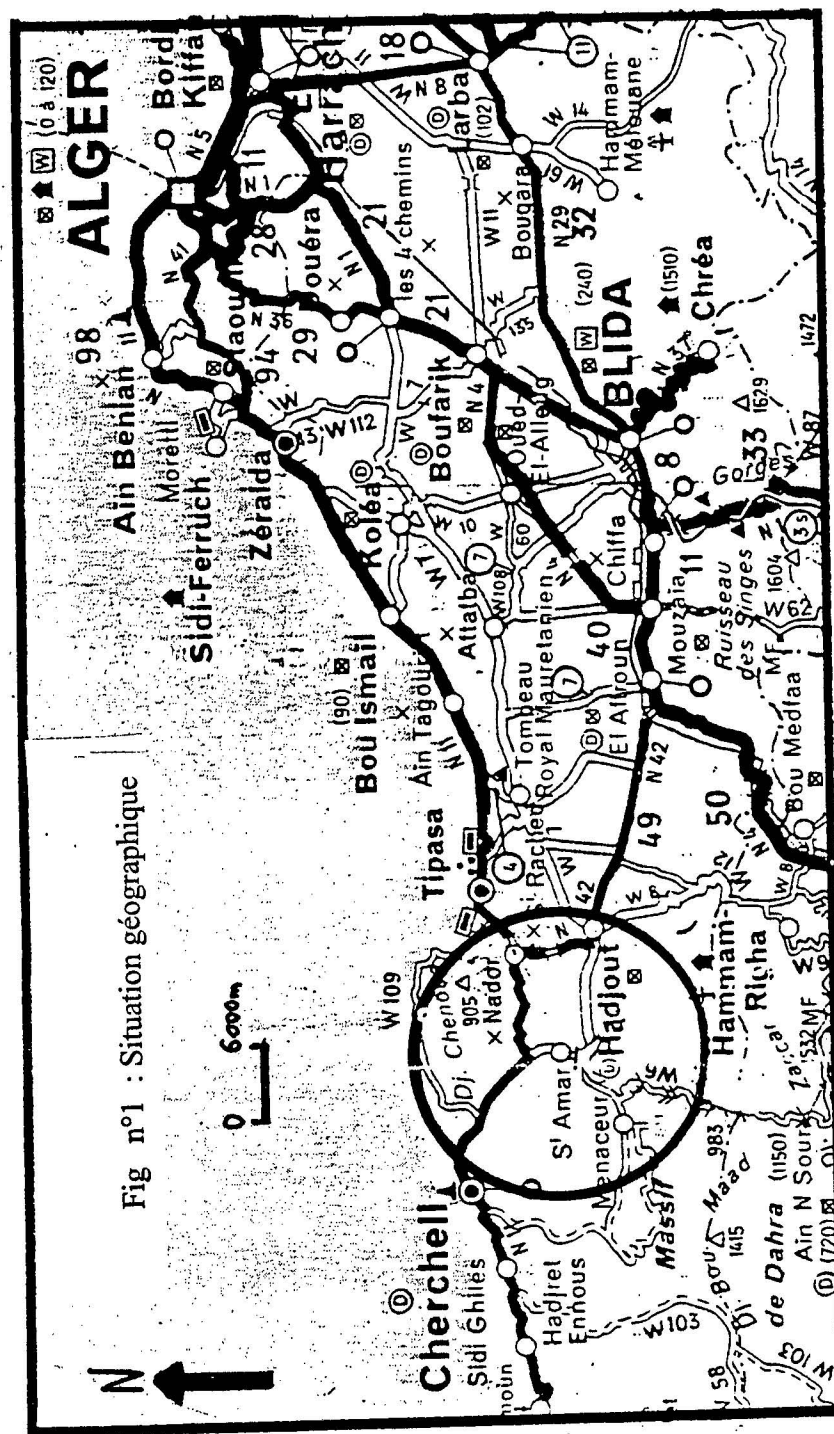
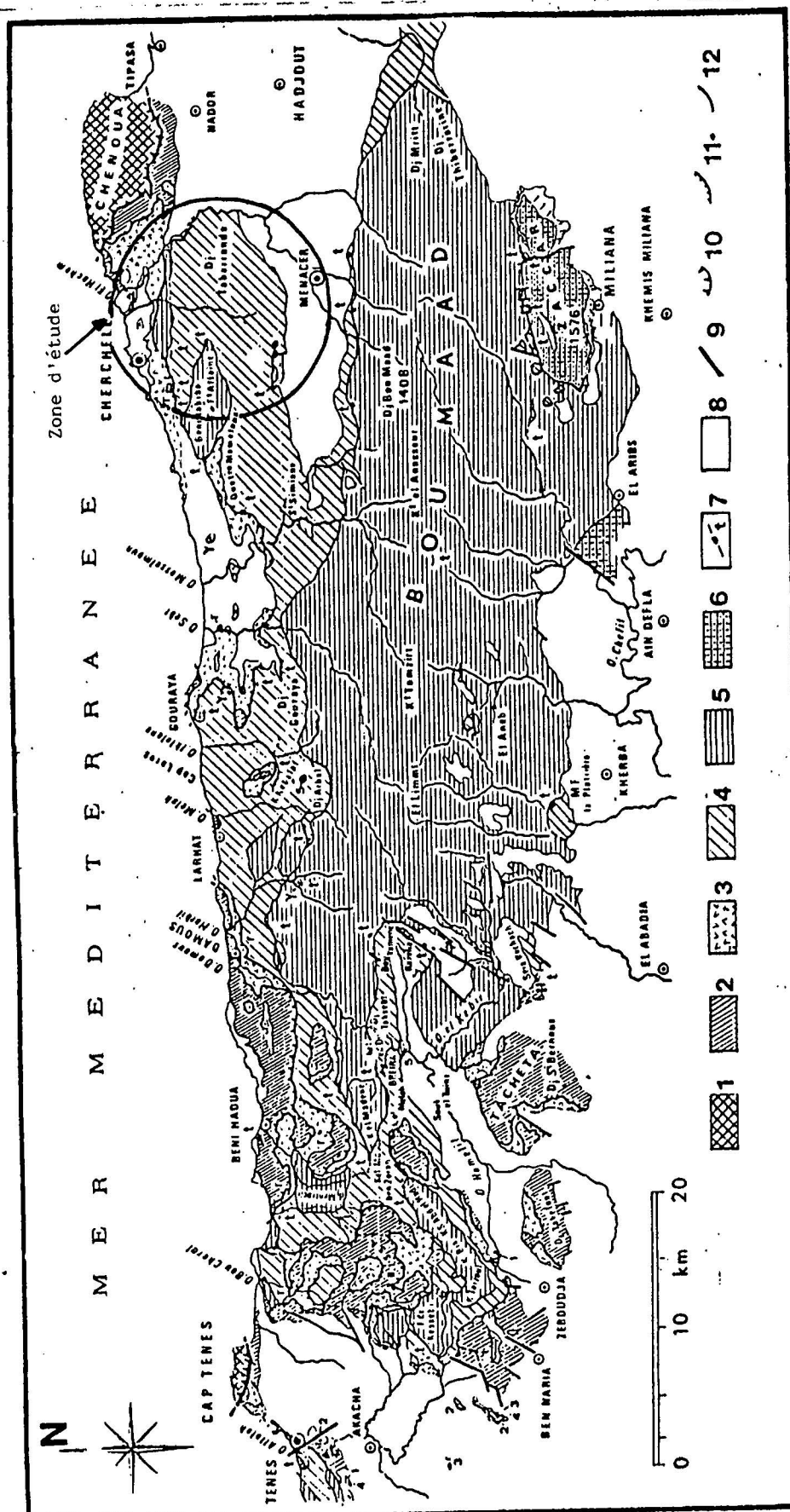


Fig n° 2 : Géologie de la zone d'étude



C. LEPVRIER, J. MAGNE, J. SIGAL
BSGF (7), XII, 1970

(flysch maurétanien) : 3 : unité inférieure f1 (flysch massélien avec radiolarites r) ; 4 : allochthone du Bou Madia ; 5 : autochthone méso-tellien ; unité des massifs du Chelif ; 6 : Trias tellien (t) ; sont indiquées par le signe γ ; 9 : principales failles ; 10 : chevauchement kabyle (de la chaîne allochthone) ; 11 : principaux contacts anormaux affectant les formations telliennes.

1 : zone kabyle avec lambeaux exotiques (z. k.) ; 2 : flyschs allochtones ; 3 : unité inférieure f1 (et paraallochthone ?) tellien ; 4 : autochthone nord-tellien ; 5 : unité des Quatre Mamelons ; 6 : autochthone méso-tellien ; 7 : Trias tellien (t) ; 8 : Tertiaire post-nappe ; 9 : m (y compris les émissions volcaniques) — les intrusions « granitiques » (calcaire) sur les flyschs allochtones ; 10 : les intrusions « granitiques » (calcaire) sur les flyschs allochtones ; 11 : contacts anormaux de la base des deux unités de flyschs ; 12 : principaux contacts anormaux affectant les formations telliennes.

I-3- DONNEES GENERALES

I-3.1. Situation géographique

La région d'étude, située à quelques 80 km à l'ouest d'Alger, appartient au domaine de l'atlas tellien-littoral. Il s'agit de la plaine alluviale de Oued El-Hachem, d'orientation générale NW-SE, qui s'étend du littoral au village de Sidi Amar avec une légère inflexion SW-NE entre Djebel Tabarrând et le versant sud du massif du Chenoua (fig n° 2).

I-3.2. Climat :

Cette région est soumise au climat méditerranéen caractérisé par une saison pluvieuse et une saison sèche. Les moyennes mensuelles des températures relevées à la station de Cherchell « Phare » varient entre 11°6 et 24°4 C. La pluviométrie annuelle reste faible avec environ 500 mm et les vents dominants sont d'origine marine de force moyenne à faible.

I-3.3. Hydrographie :

Cette zone appartient aux bassins versants de Oued Bellah et de Oued El-Hachem.

Oued Bellah prend sa source sur le versant Nord du Djebel Gourine et présente un écoulement permanent. La lithologie de son bassin versant de 53 km² de surface, est dominée par des marnes et des argiles que les oueds ont profondément entaillé. Quelques sources pérennes prennent naissance aux contacts marnes - calcaires et alimentent l'oued.

Oued El-Hachem (fig n° 3), à l'amont de Sidi Amar, naît de la confluence des oueds Boukadir, de direction Ouest-Est en provenance de Menaceur, Tegdza, Nechef et Fedjana. Ce dernier est de direction Nord-Sud, semble constituer le prolongement de Oued El Hachem. La superficie du bassin versant (fig n° 4) de Oued El Hachem est évaluée à 215 km² à sa fermeture (station de Bordj Ghobrini).

Le Djebel Tabarrând soumis à un régime pluviométrique plus arrosé puisqu'il reçoit en moyenne 1000 mm de pluie par an, constitue un massif calcaire bien individualisé.

I-3.4. Caractéristiques morphométriques :

Surface	215 km ²	Altitude maximale	1417 m
Périmètre	63 km	Altitude minimale	14 m
Indice de compacité	1,20	Indice de pente de roche	0,22
Longueur du rectangle équivalent	21,5 km	Densité de drainage	3,1 km/km
Longueur du thalweg principal	14 km	Coefficient de torrentialité	27,3

Tableau n° 1 : Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued El Hachem

Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de Oued El-Hachem reportées dans le tableau n° 1 traduisent :

- l'allongement du bassin versant
- une forte dénivellée qui explique la densité du chevelu hydrographique avec ses implications sur l'érosion des affleurements tendres
- un fort coefficient de torrentialité qui traduit l'importance des écoulements de surface.

Ces caractéristiques restent très représentatives des bassins versants exoréiques de l'ensemble de la région (Damous, Messelmoun, Mellah, Essebt) [53].

N
↑

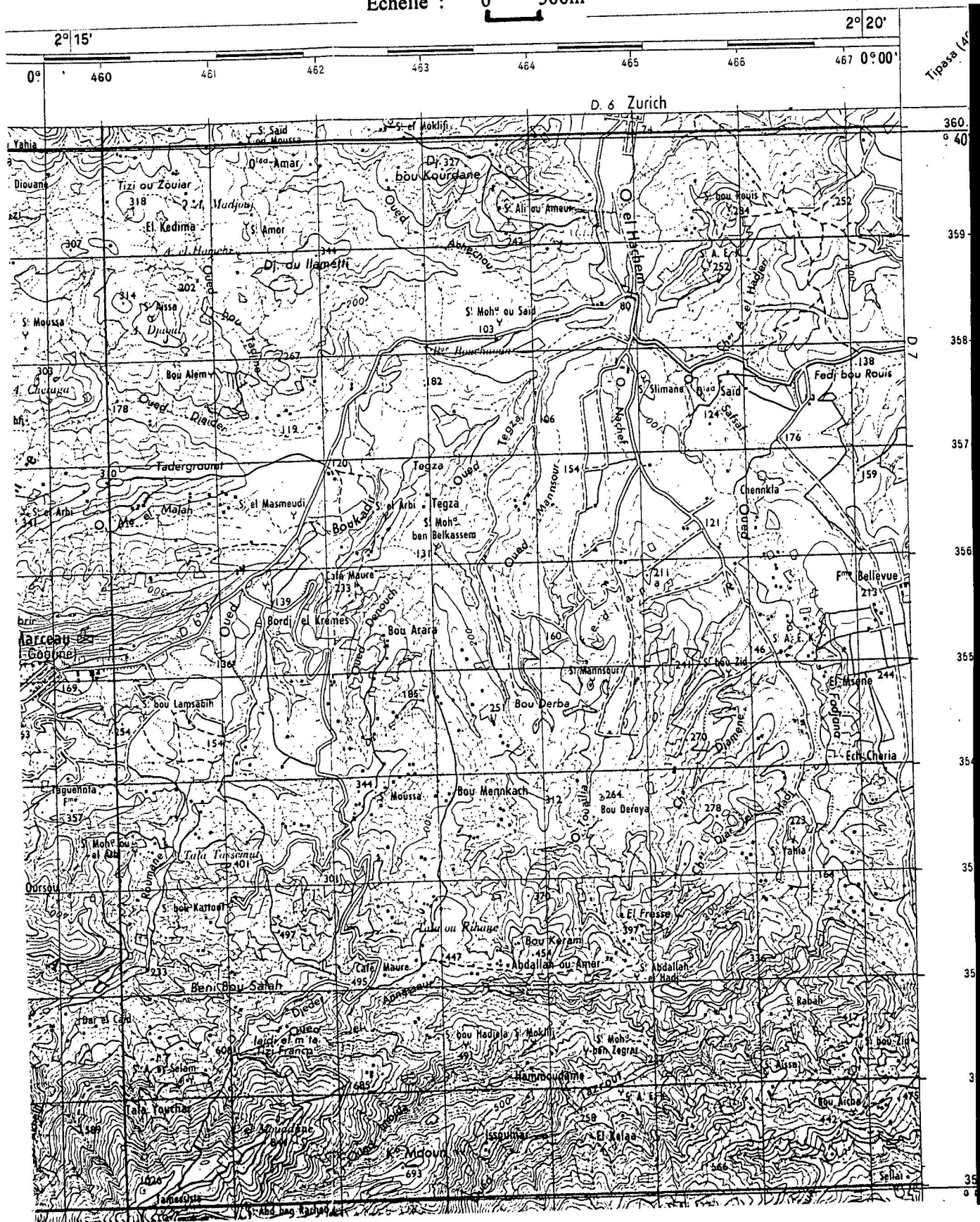
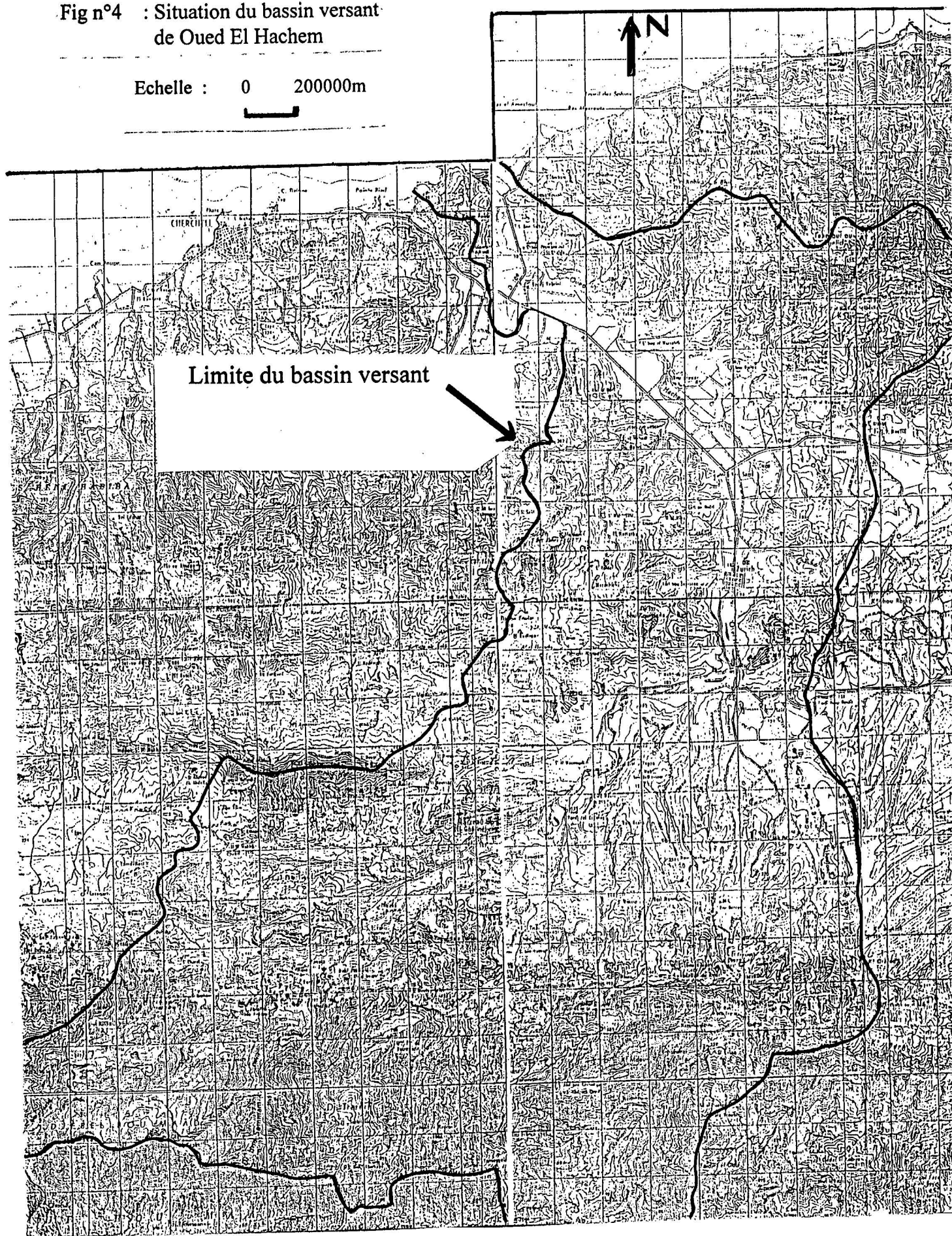


Fig n°4 : Situation du bassin versant
de Oued El Hachem

Echelle : 0 200000m



CHAPITRE DEUX

APERCU HYDROCLIMATIQUE

CHAPITRE DEUX APERCU HYDROCLIMATIQUE

II-1- INTRODUCTION

La connaissance des facteurs climatiques, physico-biologiques et géomorphologiques est d'une première importance lorsqu'il s'agit de contrôler le régime d'exploitation des eaux, dans une région.

L'hydroclimatologie d'une région permet de définir les termes du bilan.

$$P = R + E + I + W$$

P = Précipitations

R = Ruissellement

E = Evapotranspiration

I = Infiltration

W = Variation des réserves

II-2- ANALYSE DES TEMPERATURES

Les températures constituent, avec les précipitations, l'élément majeur qui régit le climat d'une région. La température est utilisée en phytoclimatologie pour rendre compte de l'apport d'énergie à la végétation à défaut des observations de rayonnement [27] [51] .

La mesure de la température s'effectue deux fois par jour, définissant une valeur maximale et une valeur minimale.

Nous considérerons que la température quotidienne moyenne correspond à :

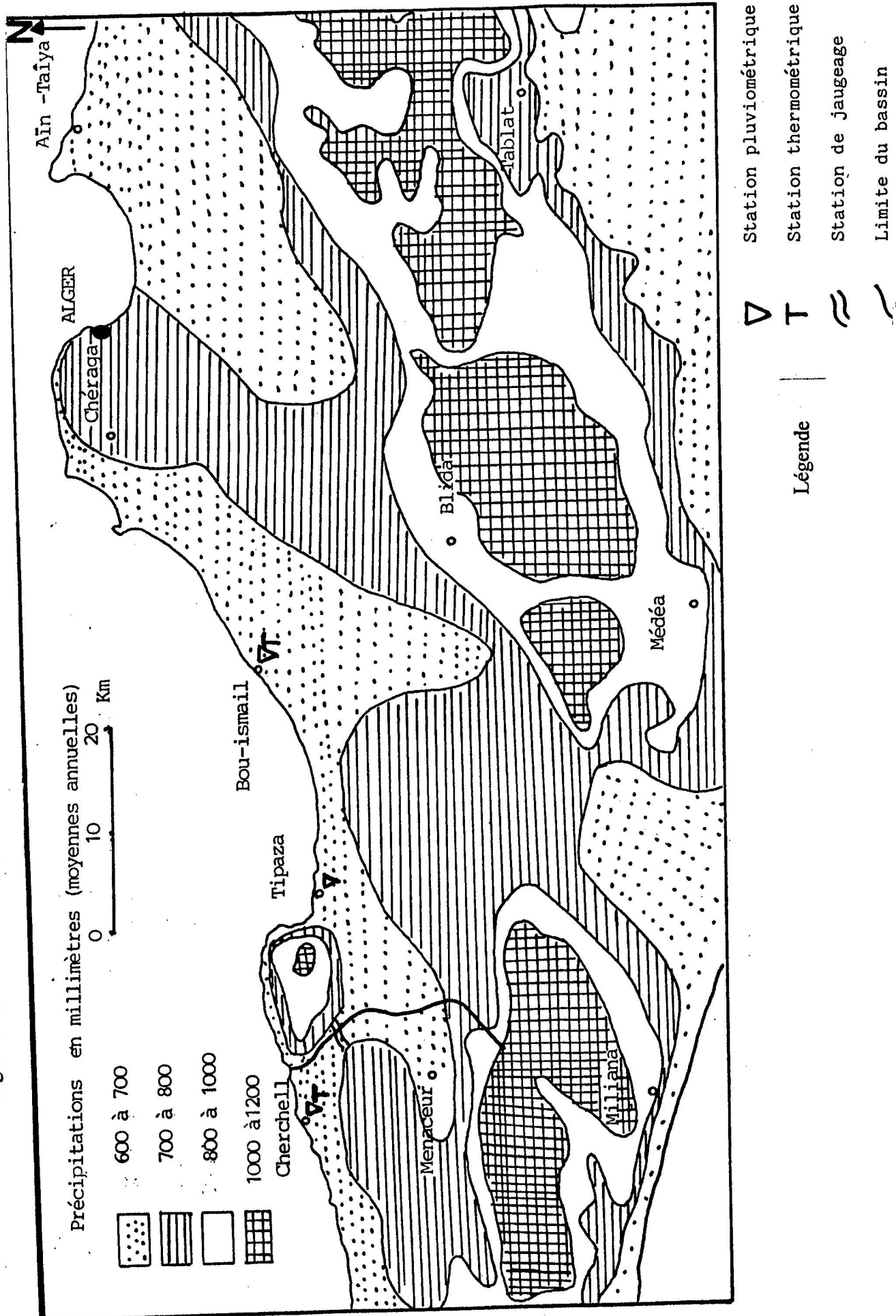
$$T = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}$$

L'étude qui suit est donc basée sur la moyenne mensuelle des températures moyennes quotidiennes. Cette étude sera succincte et peu détaillée, se basera sur les données thermiques de:

- la station de Cherchell Phare,
- la station de Bou-Ismaïl .

Ces deux stations étant implantées en bordure de côte (fig n° 5)

Fig n° 5 : Extrait de la carte pluviométrique de l'Algérie (Chaumont et Paquin 1967)



II-2.1. Station de Bou-Ismaïl :

Les mesures enregistrées ne portent que sur une période de 14ans de 1924 à 1938.

Les mesures relevées, parfois lacuneuses, ont été comblées par corrélation sur une période de 25 ans (P. SELTZER, 1946) [27] .

Les valeurs mensuelles et annuelles des températures minima(m), maxima (M) et de leur demi-somme $(m+M)/2$ sont portées sur le tableau n° 2

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
m	8,3	8,7	9,7	10,8	13,3	16,1	18,4	19,4	18,3	15,1	11,9	9,3	13,3
$\frac{m+M}{2}$	12,0	12,60	13,70	15,20	17,70	20,75	23,25	24,20	22,85	19,40	15,75	13,05	17,55
M	15,7	16,5	17,7	19,6	22,1	25,4	28,1	29,0	27,4	23,7	19,6	16,8	21,8

Tableau n° 2 : Valeurs mensuelles et annuelles des températures minima (m), maxima (M) et de leur demi-somme à la station de Bou-Ismaïl (1924-1938)

Les courbes de la figure n° 6 , montrent les variations mensuelles moyennes indiquant une croissance des températures de l'air de Janvier à Août, puis une décroissance régulière. Le minimum et le maximum absolus se situent respectivement aux mois de Janvier et Août, ce qui est une constante des régions méditerranéennes.

II-2.2. Station de Cherchell Phare

Le tableau n° 3 , résume les résultats des mesures thermométriques faites à la station de Cherchell Phare. P. SELTZER(1946) [27] , classe cette station dans le type L, signifiant une station lacunaire. L'enregistrement des données s'étale entre 1918 et 1934 , 1970 et 1990.

L'insuffisance des données fait que ces valeurs portées sur le tableau n° 3 sont des moyennes brutes non ramenées à une période de 25 ans, mais couvrant uniquement la période 1918-1934.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
m	7,7	7,4	9,2	11,3	14,2	17,2	19,8	20,5	19,0	15,9	12,1	9,5	13,6
$\frac{m+M}{2}$	11,65	12,10	14,10	16,10	18,5	21,2	23,9	24,4	25,05	19,7	15,75	13,35	17,80
M	15,6	16,8	19,0	20,9	22,8	25,2	28,0	28,3	27,1	23,5	19,4	17,2	22,0

Tableau n° 3 : Valeurs mensuelles et annuelles des températures minima (m), maxima (M) et de leur demi-somme à la station de Cherchell Phare (1918 - 1934)

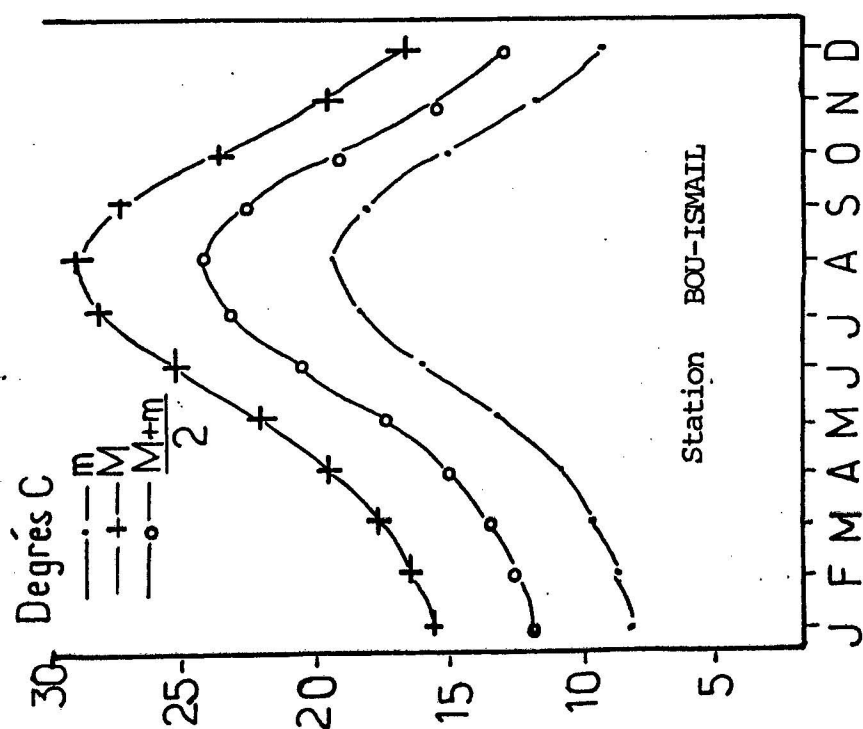


Fig n° 6 : Variation annuelle des minima et maxima et leur demi-somme

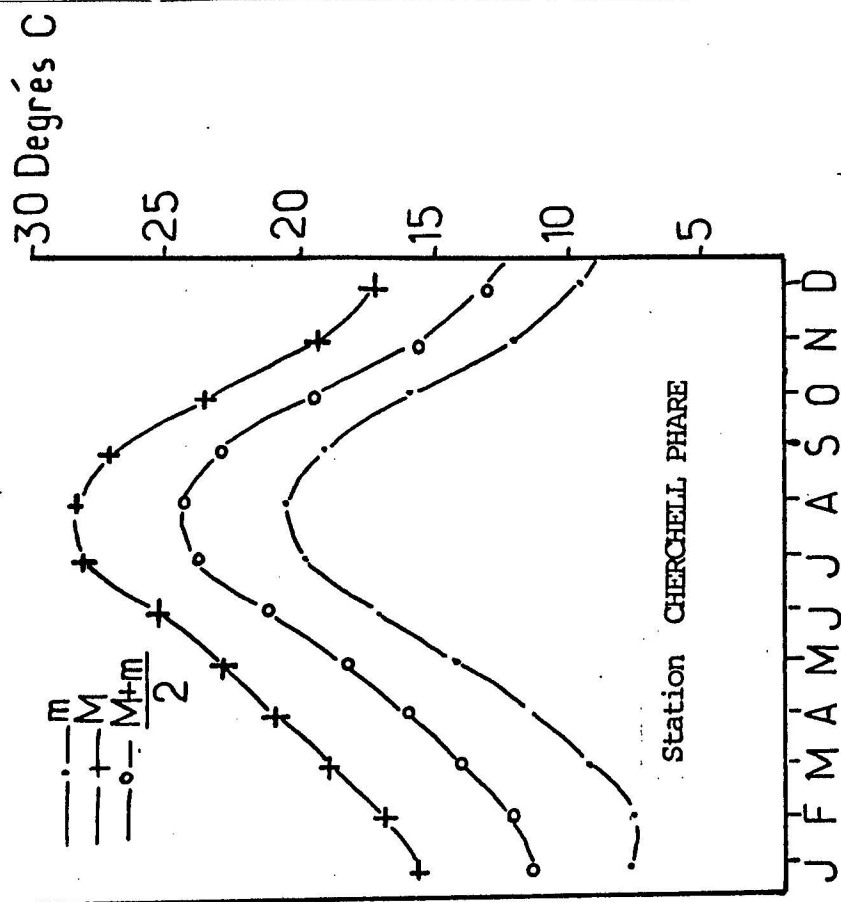


Fig n° 7 : Variation annuelle des minima et maxima et leur demi-somme

La figure n° 8, reproduit les variations mensuelles moyennes à la station de Cherchell Phare.

L'étude comparative des données de température de l'air à Bou-Ismaïl et Cherchell phare (figures n°6 et n°7) montre une similitude dans les variations. L'écart entre minima, maxima ou demi- somme entre ces deux stations ne dépasse jamais 2°C.

En considérant que les gammes de variation sont les mêmes au niveau de la plaine de Oued El- Hachem, cette région peut alors se caractériser par une variation de 13,45°C pour le minimum, de 17,7°C pour le maximum et de 21,9°C pour la demi- somme.

L'année peut se diviser en 2 périodes :

- une période froide de Novembre à Avril avec une température inférieure à la température annuelle,
- une période chaude de Mai, jusqu'à Octobre avec une température moyenne supérieure à la moyenne annuelle.

II-2.3. Données récentes à Cherchell Phare :

Les moyennes mensuelles de température entre 1964 et 1984 sont regroupées dans le tableau n°4. Elles montrent la même variation que celles des stations précédentes avec cependant une moyenne plus faible. L'écart de 2,5 °C résulte certainement de la longueur des chroniques utilisées.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
m+M	10,63	10,38	10,31	13,11	16,42	18,25	21,5	21,4	19,39	17,17	14,12	11,76	15,32
----- 2													

Tableau n° 4 : Moyennes mensuelles des températures à la station de Cherchell Phare (1964-1984)

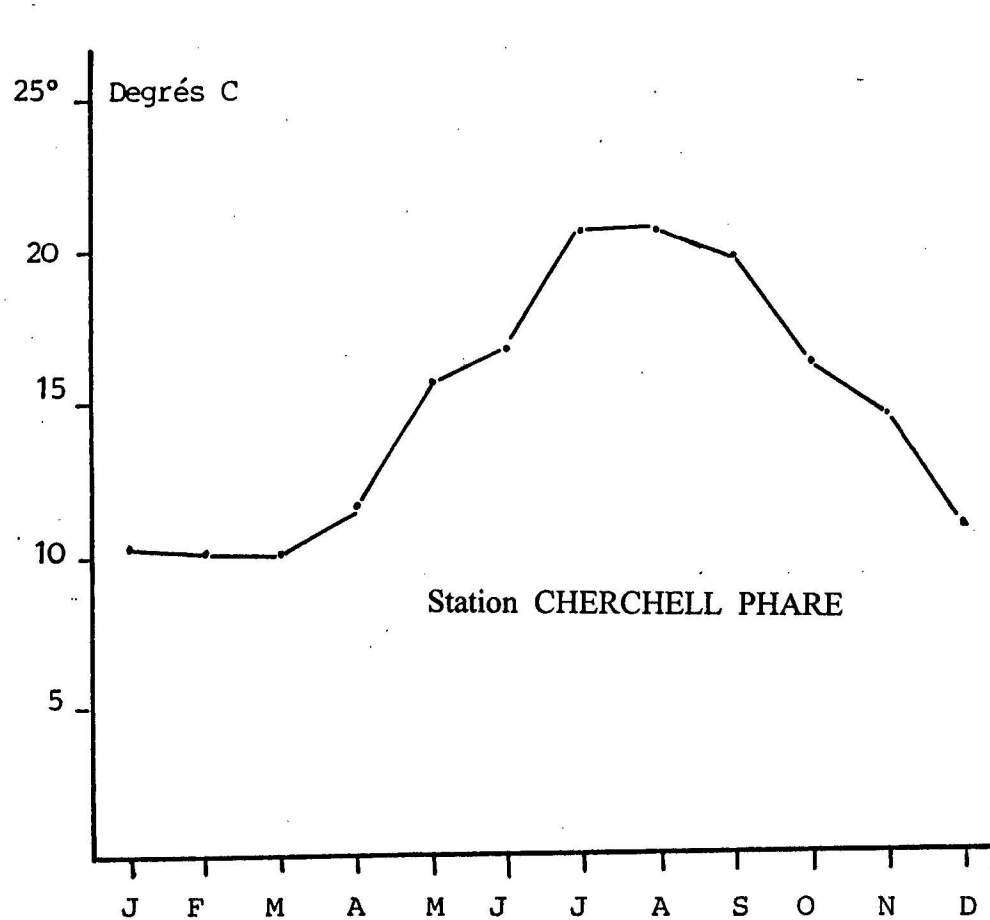
II-2.4. Conclusion :

Il apparait nettement que la région se caractérise par:

- des températures maximales relativement élevées,
- des températures minimales douces .

Son extension Nord-Sud fait qu'elle subit certainement l'influence de la mer dans sa partie nord [51]. Le confinement de la région entre des reliefs à l'Est et à l'Ouest avec l'existence des vents du nord plus frais en hiver, expliquent l'adoucissement important des températures durant cette saison.

Fig n° 8 : Variation des températures
moyennes mensuelles (1964-1984)



II-2.5. Les climogrammes

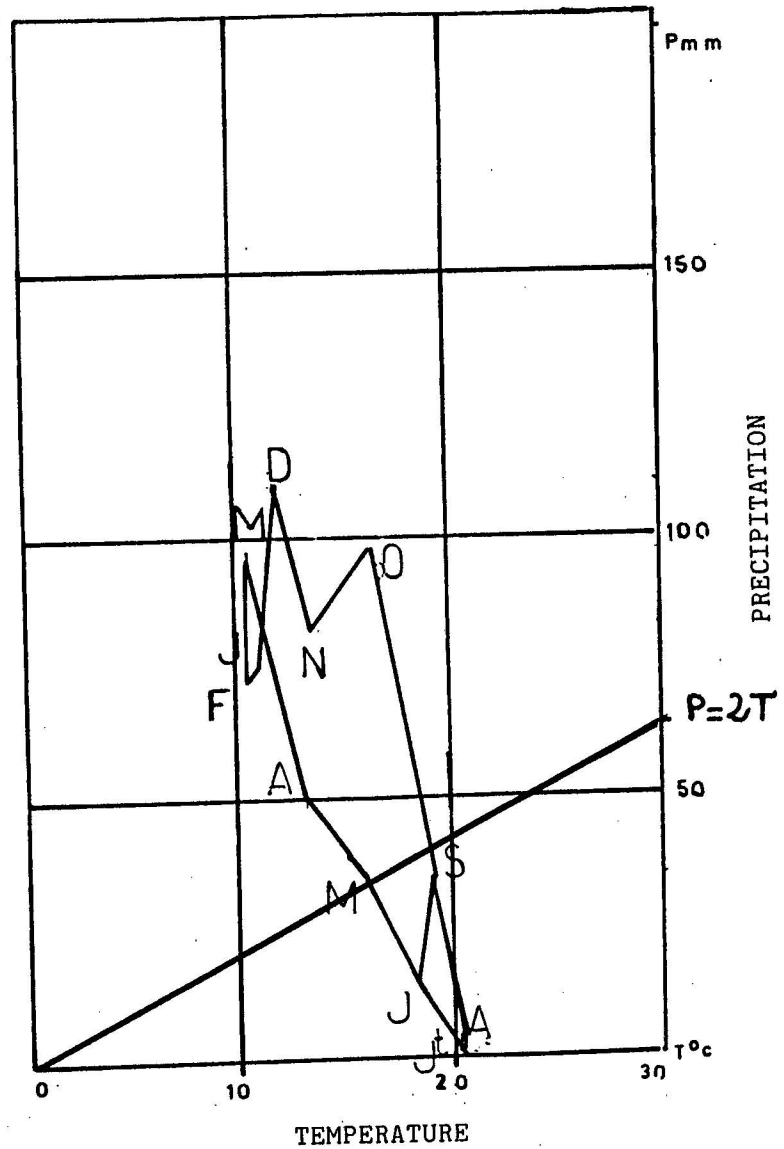
Sur le graphique , on reporte, en abscisse, les températures moyennes mensuelles (T) et en ordonnées les totaux pluviométriques mensuels (P) [52]. La droite $P = 2 T$ détermine, selon Gaussen , 2 grands domaines : en haut celui regroupant les mois relativement humides et en bas celui caractérisé par l' aridité.

Pour la station de Cherchell Phare, il apparait que Juin, Juillet, Août et Septembre correspondent aux mois secs ,tandisque la période allant du mois d'Octobre à mai traduit une certaine aridité (c.f fig n° 9 et tableau n° 5).

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T°C	10,63	10,38	10,31	13,11	16,42	18,25	21,5	21,4	13,39	17,17	14,12	11,76
Pmm	78,2	71	96,5	50	34,8	15,15	1,75	3,55	34	96	80,8	109,8

Tableau n° 5 : Moyennes mensuelles des températures et précipitations à la station de Cherchell phare

Fig n° 9 : Climogramme de Cherchell Phare



II-3. ANALYSE DES PRECIPITATIONS

II-3.1 Introduction

Les précipitations sont la source principale de notre approvisionnement en eau. Leur étude constitue la partie la plus importante de l'hydrologie [52] , car elle a pour but de déterminer les quantités d'eau précipitée, donc disponibles pour suivre les trois principales fonctions du cycle de l'eau:

Infiltration - Ruissellement - Evapotranspiration

L'analyse des précipitations compilée concernera les stations aux chroniques les plus longues, ce sont les :

- station de Bou-Ismaïl,
- station de Cherchell phare,
- station de Tipasa .

II-3.2 Les grandes lignes de la pluviométrie de l'Afrique du Nord (Maroc-Algérie-Tunisie)

Ces régions sont soumises à un régime plus complexe que celui de la France[51] [52]. Tandis que leur zone maritime relève du régime méditerranéen, les hauts plateaux intérieurs et le Sahara sont soumis au régime désertique [51] [52] .

Tout le littoral méditerranéen est caractérisé par une saison froide relativement tempérée durant laquelle les perturbations cycloniques apportent des pluies souvent substantielles, surtout sur les reliefs, suivie d'une période chaude, sèche et à atmosphère calme. La hauteur et l'orientation des barrières de montagnes créent de nombreuses variations locales de climats méditerranéens.

La répartition des précipitations obéit en Algérie aux trois lois suivantes :

- la hauteur de pluie augmente avec l'altitude. Les précipitations sont plus élevées sur les versants exposés aux vents humides que les versants à l'abri des vents,
- les précipitations augmentent d'Ouest en Est. Ce phénomène est dû au front polaire et aux reliefs plus importants à l'Est,
- les précipitations diminuent selon l'éloignement au littoral.

II-3.3. Le réseau pluviométrique : fig n° 5

Les stations existantes ne répondent pas aux besoins de l'étude, ni en localisation ni en densité, ceci nous a contraint à utiliser des stations situées à l'extérieur du secteur d'étude.

Notons cependant que les travaux de M. A. BOUDJADJA [53] objectivent cette option dans la mesure où ils montrent que la variation et les modules pluviométriques annuels sur l'ensemble de la partie Ouest du côtier Algérois sont comparables.

II-3.4. Répartition des moyennes mensuelles à Tipasa , Bou-Ismaïl et Cherchell Phare pour la période 1913-1953

La répartition des précipitations par année agricole permet une meilleure comparaison de la pluviométrie avec les rendements des cultures. Cette coupure généralement familière des documents météorologiques a lieu à partir du 1^{er} Septembre après l'absence presque totale de pluie durant l'été.

Les figures n° 10 ,11 et 12, montrent généralement une augmentation régulière et progressive des précipitations de Septembre (30 mm) jusqu'à Décembre (110 mm) à l'exception de la station de Cherchell Phare jusqu'en Janvier (115 mm).

On assiste dès janvier à une diminution des précipitations jusqu'au mois de Juin (5 mm). Les mois de Juillet et Août étant considérés pratiquement secs.

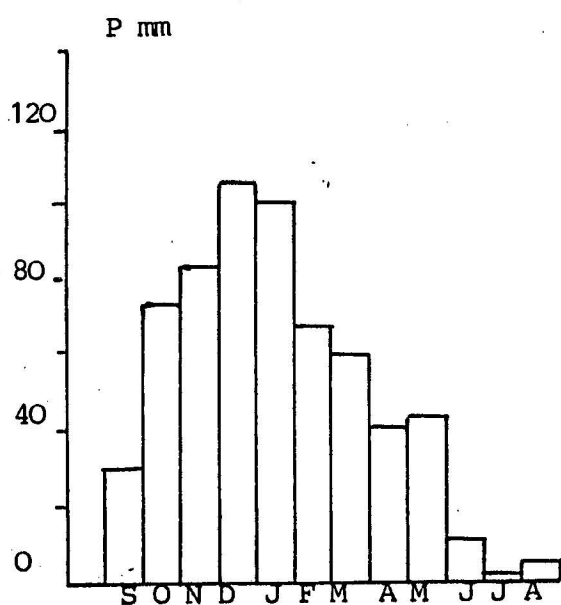


Fig n° 10 : Moyenne mensuelle
à la station de Tipasa
(1919-1953).

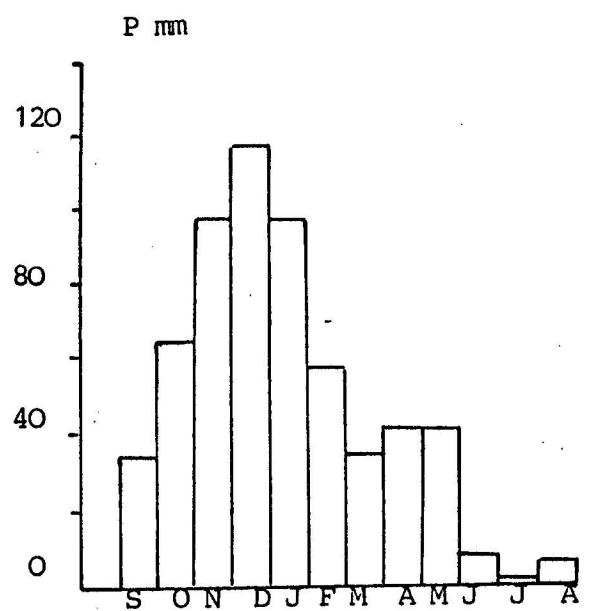


Fig n°11: Moyenne mensuelle
à la station de Bou-ïsmail
(1919-1953).

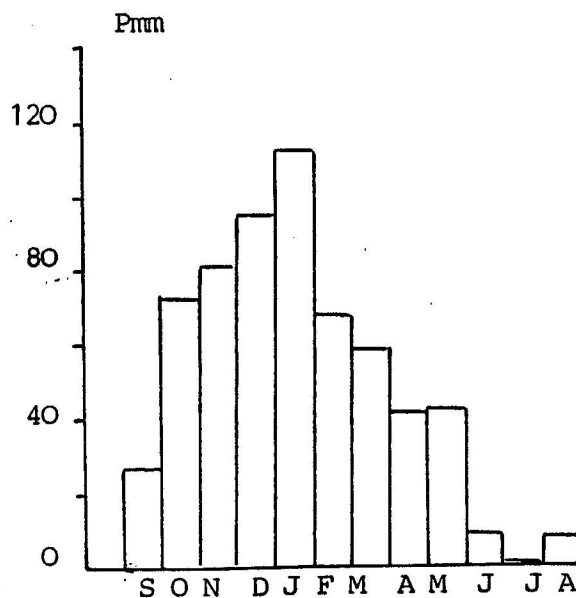


Fig n° 12 : Moyenne mensuelle à la station de Cherchell Phare
(1919-1953) .

II-3.5. Distribution des précipitations annuelles à Cherchell phare et son ajustement à la loi normale

Les régimes pluviométriques présentent des caractères dispersifs ordonnés suivant un schéma de type binomial et peuvent s'étudier à l'aide de lois statistiques simples dérivant de la loi de Gauss et des dérivées asymétriques. Les formes analytiques des lois statistiques d'ajustement des distributions observées sont des critères de reconnaissance du régime pluviométrique. Elles représentent en d'autres termes l'effet statistique résultant de l'action combinée des diverses variables aléatoires.

ANNEE	PRECIPITATIONS (mm)	RANG @	PROBABILITE $P = R/(N+1)$	PROBABILITE %
1950-1951	462,4	26	0,742	74
1951-1952	778,8	4	0,114	11
1952-1953	663,3	11	0,314	31
1953-1954	781,9	3	0,085	08,5
1954-1955	648,1	13	0,371	37
1955-1956	668,4	10	0,285	28,5
1956-1957	430,4	27	0,771	77,1
1957-1958	778,7	5	0,142	14
1958-1959	581,7	17	0,485	48,5
1959-1960	638,2	14	0,4	40
1960-1961	413	28	0,8	80
1961-1962	612,9	16	0,457	46
1962-1963	489,8	25	0,714	71
1963-1964	631,3	15	0,428	43
1964-1965	537,2	21	0,6	60
1965-1966	383,7	29	0,828	83
1966-1967	553,7	20	0,561	57
1967-1968	716,4	8	0,228	23
1968-1969	570,93	18	0,541	51
1969-1970	712,6	9	0,257	26
1970-1971	490,3	24	0,685	68,5
1971-1972	894,5	1	0,028	02,8
1972-1973	874,1	2	0,057	06
1973-1974	772,3	6	0,17	17
1974-1975	498,1	23	0,657	66
1975-1976	498,1	32	0,914	91
1976-1977	352,9	30	0,857	86
1977-1978	331,9	31	0,885	88,6
1978-1979	654,4	12	0,342	34
1979-1980	556,2	19	0,542	54
1980-1981	377,7	33	0,942	94
1981-1982	716,6	7	0,2	20
1982-1983	257,9	34	0,971	97
1983-1984	507,4	32	0,91	91

Tableau n° 6 : Valeurs des précipitations annuelles à la station de Cherchell Phare (entre 1950 et 1984)

II-3.6. Test de la droite de Henry en loi normale.

Mode opératoire : on classe les précipitations annuelles (d'ordre i) suivant une distribution ordonnée en termes croissants ou décroissants. On calcule les probabilités d'atteindre et de dépasser (ou inversement d'atteindre sans dépasser) chaque valeur par la formule:

$$P_i = \frac{R_i}{N + 1}$$

qui tend vers la fréquence:

$$FC = \frac{P_i}{N} \quad \text{quand } N \text{ devient grand.}$$

On reporte les points représentatifs de chaque distribution sur un papier fonctionnel dit papier Gausso arithmétique ou papier gaussique où les probabilités sont portées en ordonnées suivant une distribution de Gauss (échelle des ordonnées Gaussiennes) et les valeurs de la variable en abscisses en échelle monotone.

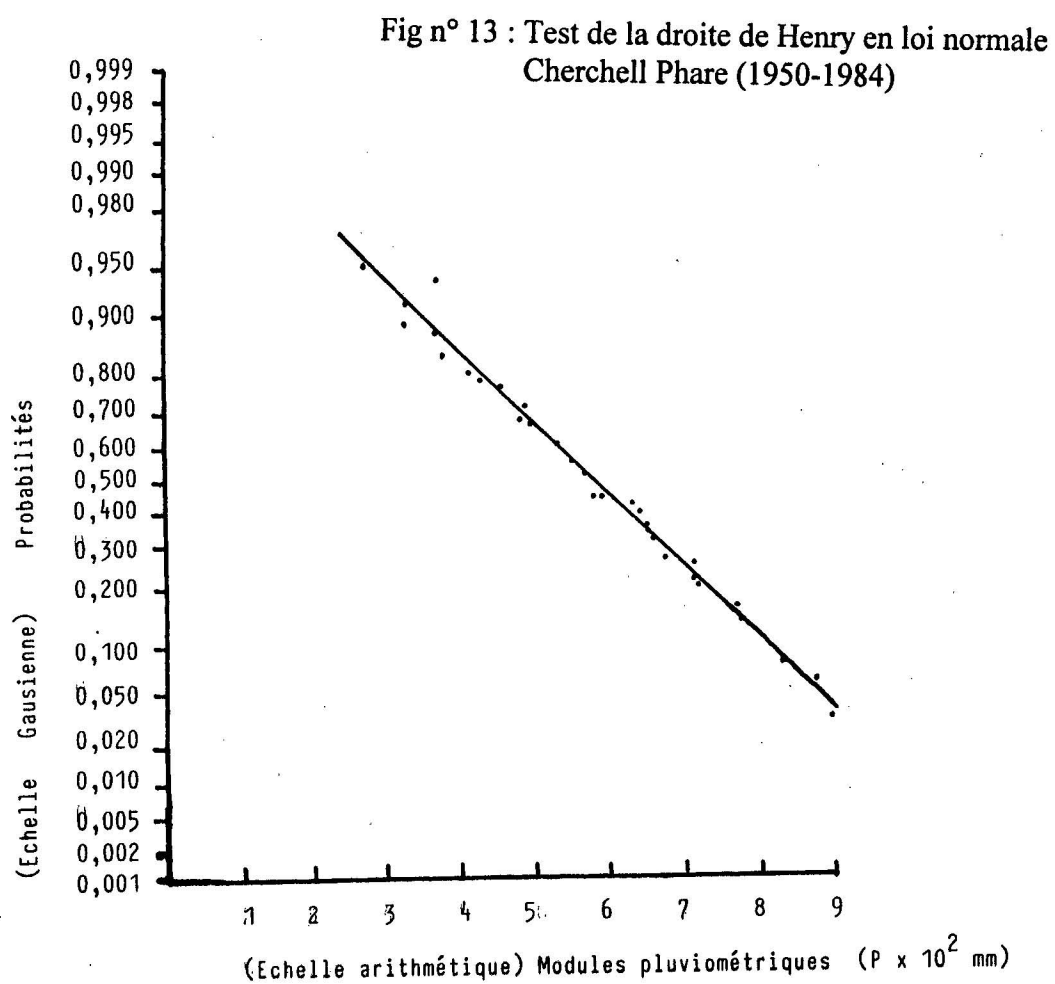
L'adaptation de la distribution observée à une loi normale, doit se traduire par un bon alignement des points (P_i, X_i). Les résultats de calcul sont reportés au tableau n° 5 et portés sur la figure n° 14 , montrent un alignement acceptable des points.

N.B:

N : nombre d'années

i : ordre de l'année considérée dans la distribution

X_i : valeur de la précipitation par l'ordre i considéré



II-3.7. Caractéristiques statistiques des précipitations annuelles à la station de Cherchell Phare**II-3.7.1. La moyenne arithmétique :**

$$X = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{N} = 578$$

II-3.7.2. L' écart type ou déviation standard :

$$\delta x = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(X_i - X)^2}{N}} = 163$$

II-3.7.3. La variance var (X) :

$$Var(x) = \sum_{i=1}^N \frac{(X_i - X)^2}{N} = 25950$$

II-3.7.4. Le coefficient de variation : Cv

$$Cv = \frac{\delta x \cdot 100\%}{x} = 0,282$$

Il apparait que la moyenne est relativement faible et qu'au vu de l'écart type, les écarts inter-annuels peuvent représenter 28% de la moyenne inter-annuelle calculée sur 34 ans. Ce trait d'extrême variabilité de la moyenne annuelle est caractéristique de toute la région littorale [53].

II-4. L'HUMIDITE

II-4.1. Introduction

L'humidité de l'air est un élément dont la mesure correcte nécessite plus de soin que celle de la température. Ne disposant pas de mesures à la station de Cherchell Phare, nous avons retenu les mesures d'humidité recueillies à la station de Bou-Ismaïl (SELTZER, 1946) [27] .

II-4.2. La tension de vapeur d'eau (f) :

Elle est exprimée en mm de Hg, déduite de la formule de REGNAULT :

$$f = f' - 0,00079 h$$

f' : tension maximum de la vapeur d'eau à la température t'

t' : température ou moyenne des températures lues au thermomètre mouillé

t : température ou moyenne des températures lues au thermomètre sec

$t-t'$: différence psychométrique

Hg : pression atmosphérique en mm de Hg

II-4.3. Humidité relative ou état hydrométrique (H) :

Elle correspond au rapport exprimé en pourcentage de la tension maximum correspondant à la température.

Les courbes relatives aux variations annuelles de la tension de vapeur d'eau (fig n° 15 et 16.) révèlent :

- des variations plus faibles à 7 h qu'à 13 h et 18 h,
- un maximum en été aux mois de Juillet à Août (13 h). Les valeurs relevées sont de l'ordre de 19,2 à 19,7 °C.

Les courbes représentant les variations de l'humidité relative (fig. n° 16) montrent :

- des valeurs plus faibles à la mi-journée (13 h),
- des valeurs minimales au mois de février (68%) à 13h,
- des valeurs maximales au mois d'août (81%) à 7 h .

Mois		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
7h	f	7,1	7,1	8,2	9,6	11,7	14,7	17,0	17,4	15,7	12,2	9,2	7,6	11,5
	H	74	76	75	74	78	78	79	81	80	78	76	74	77
13h	f	8,7	8,7	10,0	11,2	13,3	16,1	19,2	19,7	17,8	14,4	11,2	9,2	13,3
	H	71	68	73	70	74	73	74	73	72	70	70	70	72
18h	f	8,2	8,4	9,4	10,5	12,6	15,6	18,2	18,6	16,8	13,4	10,6	8,6	12,6
	H	80	77	78	76	78	79	77	78	79	78	80	79	78

Tableau n° 7: Variation mensuelle et annuelle de la tension de vapeur d'eau (f) et de l'humidité relative (H) à 7h, 13h et 18h à la station de Bou-Ismaïl.

II-5.L' EVAPOTRANSPIRATION

Les théories modernes de l'évaporation, justifient dans une certaine mesure certaines formules récentes pour le calcul de transpiration potentielle (ETP) [52] .

En effet, l'ETP correspond à la quantité d'eau qui pourrait être évapotranspirée si le sol était constamment saturé en eau. Par contre, l'évapotranspiration réelle (ETR), sera la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée et de ce fait doit être inférieure ou au plus égale à l'évapotranspiration potentielle.

II-5.1. Calcul de l'ETP :

Il existe plusieurs formules pour le calcul de l'ETP à savoir :

- Formule de Thornthwaite
- Formule de Penman
- Formule de Blaney et Criddle
- Formule de Turc...

Nous présentons les résultats d'après la formule de Thornthwaite.

Ainsi pour une température moyenne mensuellement de 17,80°C et après correction, on obtient une ETP égale à 763 mm/an.

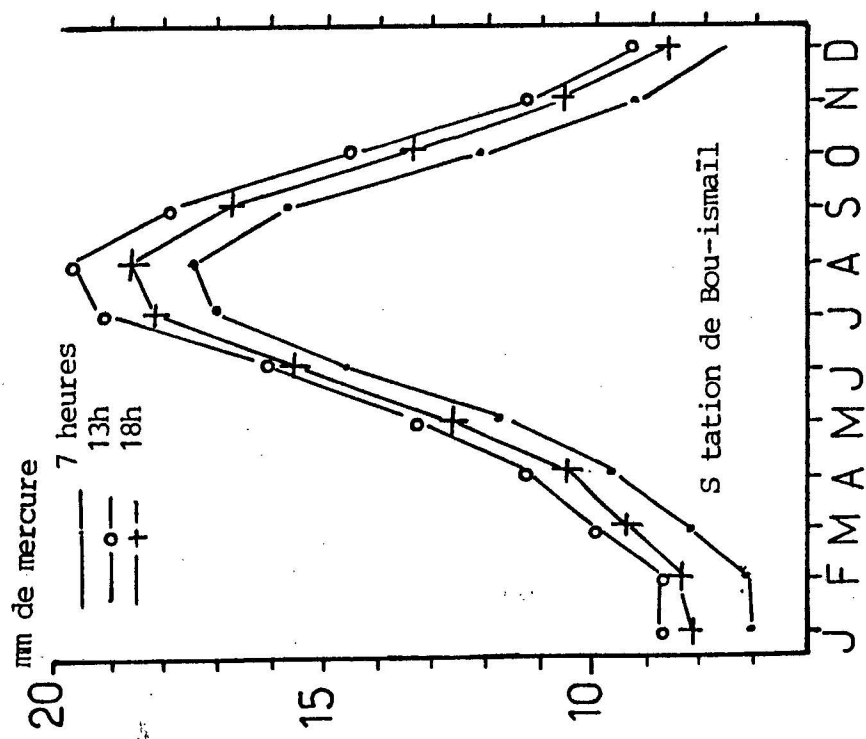


Fig n° 14 : Variation annuelle de la tension de vapeur d'eau.

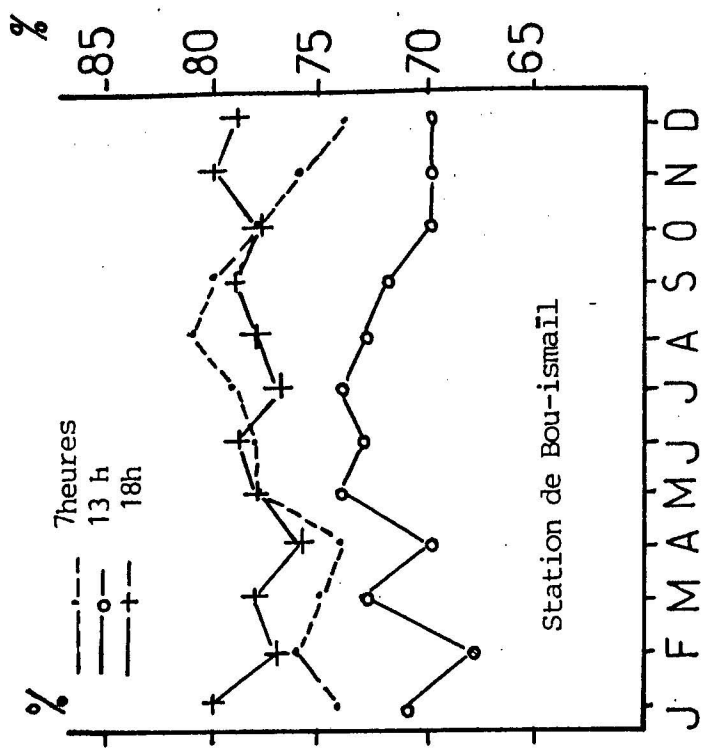


Fig n° 15 : Variation annuelle de l'humidité relative

II-5.2. Calcul de l'ETR :**II-5.2.1- Formule de TURC :**

TIPASA : $P = 619 \text{ mm}$; $t = 17,55^\circ\text{C}$ ETR = 500 mm/ an

CHERCHELL : $P = 612 \text{ mm}$; $t = 17,80^\circ\text{C}$ ETR=431mm/an

II-5.2.2- Formule de Coutagne :

Pour la période allant de 1950 à 1984

$P = 0,578 \text{ m}$

$T = 17,80^\circ\text{C}$

$\lambda = 0,30$ d'où ETR = 0,477 m; soit 82,5 % de P

II-5.2.3- Méthode ombrothermique :

Pour GAUSSEN et BAGNOUB, un mois sec est celui pour lequel le total moyen des précipitations, exprimé en mm, est inférieur ou égal au double de la température moyenne : $P = 2 T$

Cette relation permet d'établir un diagramme pluviothermique dans lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations. On constate que la courbe des précipitations se situe au-dessus de la courbe thermique, elle se situe au-dessus de la courbe thermique de Janvier à mai, alors que de Juin à Septembre, elle se situe au-dessous, elle revient au-dessus à partir d'Octobre (fig. n°16).

La figure n° 16 montre que:

- les pluies automnales sont celles qui participent à la reconstitution des réserves, et ce à partir de début Septembre,
- l'utilisation des réserves commence à partir de Mars jusqu'à leur épuisement en Mai,
- le déficit total couvre la période estivale.



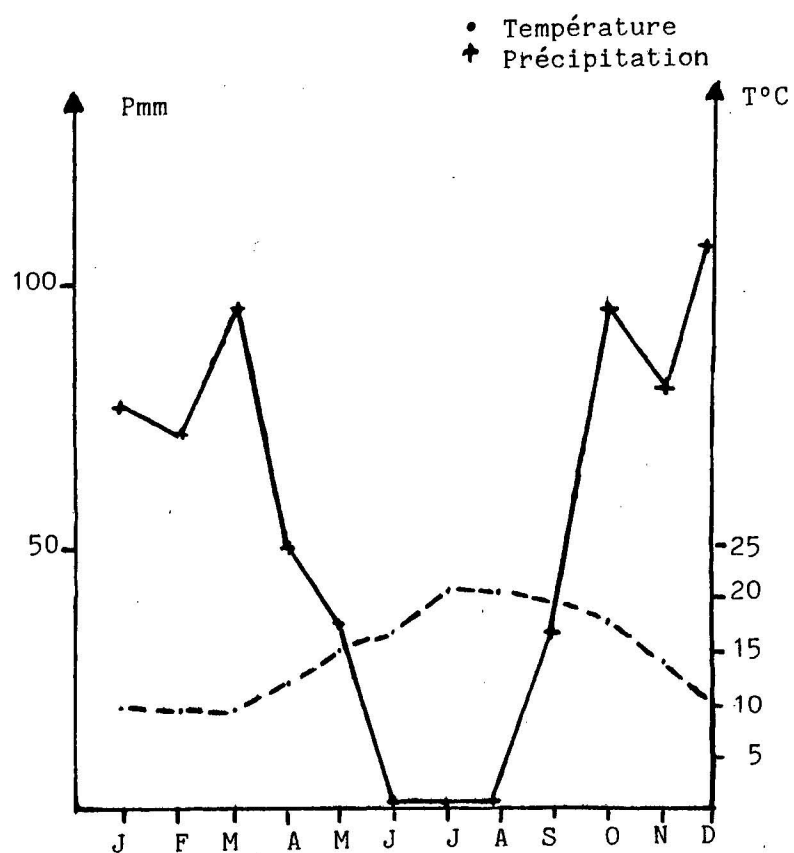


Fig n° 16: Courbe ombrothermique
à la station de Cherchell Phare.

II-6- HYDROLOGIE DE SURFACE

Les mesures de débits de Oued El Hachem ont été enregistrées depuis 1968/69 à 1982/83. Ces mesures effectuées à la station de Bordj Ghobrini permettent de déterminer les écoulements de surface de toute la vallée, sans la possibilité de déterminer les apports des différents affluents de Oued El Hachem. Disposant des données de précipitations aux mêmes périodes nous avons essayé d'établir des corrélations.

II-6.1. Corrélations précipitations / débits

Le tableau A (en annexe) regroupe les valeurs mensuelles des débits auxquels correspondent les précipitations. Les corrélations précipitations /débits ont donné les résultats suivants (tableau n°8).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
régression linéaire	0,44	0,671	0,71	0,708	0,532	0,655	0,557	0,525	0,626	0,716	-0,188	-0,195
ajustement logarithmique	0,128	0,394	0,177	0,193	0,148	0,32	0,323	0,135	0,194	0,511	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$
ajustement exponentiel	0,337	0,486	0,58	0,416	0,241	0,438	0,308	0,243	0,344	0,429	0,03	$5,22 \cdot 10^{-3}$
ajustement puissance	0,364	0,554	0,474	0,159	0,167	0,381	0,325	0,193	0,366	0,522	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$7,44 \cdot 10^{-3}$

Tableau n° 8 : Corrélation précipitations / débits

Il en ressort, que la loi de régression linéaire montre le plus grand coefficient de corrélation (CR = 0.71). Les lois d'ajustement logarithmique, exponentielle ou puissance, se traduisent par un très faible coefficient de corrélation (Aj.Log= 0.51 ; Aj.Exp =0.58 ;Aj.Puis= 0.55)

Pour la loi de régression linéaire, les coefficients de corrélation les plus élevés correspondent aux mois de :

- Novembre : CR = 0,71 d'équation $y = 0,03x - 0,801$
- Décembre : CR = 0,708 d'équation $y = 0,02x + 0,167$
- Juin : CR = 0,716 d'équation $y = 0,01x + 0,212$

Nous avons effectué une série de jaugeages au niveau de sept stations réparties d'aval en amont, entre le pont de la station hydrométrique de Bordj Ghobrini et le pont de la route de Nador (bois Sacré) . Les jaugeages ont eu lieu entre le 26 Avril et le 29 Aavril 1986.

Les mesures de jaugeage ont donné les résultats suivants :

- débit aval = 543 l/s
- débit amont = 697 l/s

La diminution du débit de l'oued d'amont en aval met en évidence des pertes par l'oued dans ses endroits les plus perméables , très certainement au profit de la nappe alluviale.

II-6.2. Débits extraits de la nappe

Les eaux de la nappe alluviale de Oued El-Hachem sont essentiellement utilisées pour les besoins en :

- eau potable pour la ville de Cherchell et le village de Sidi -Amar,
- irrigation des surfaces agricoles .

Quelques puits sont équipés de motopompes, cinq forages sont destinés à l'alimentation en eau potable de la ville de Cherchell . Or ,nous constatons que le plus souvent, ces forages ne fonctionnent pas pendant plusieurs mois de l'année parfois une année pour plusieurs raisons, entre autres :

- l'absence d'entretien des forages, surtout les pompes,
- le mauvais réglage des pompes dû essentiellement au déphasage en temps entre l'essai de pompage prévoyant toutes les caractéristiques de la pompe et la date de son montage.

L'absence de compteur de débit sur l'ensemble des forages (sauf sur celui placé à notre demande, au niveau du forage F4), ne permet que d'estimer les débits prélevés et cela avec une certaine erreur d'appréciation.

Le volume total moyen annuel soutiré de la nappe est de l'ordre de 864.000 m³/an. Environ 60 % de ce volume est destiné à l'A.E.P , le reste servant à l'irrigation et la petite industrie.

II-7- ESSAI DE BILAN HYDROLOGIQUE

Le bilan hydrologique peut être défini par la formule :

$$P = R + E + I + W$$

II-7.1. Définition des différents termes

- a) Les précipitations : les précipitations moyennes annuelles P, sont de l'ordre de 578 mm ± 58mm.
- b) ETP : l'évapotranspiration potentielle calculée est de l'ordre de 863 mm/an ± 86mm/an.
- c) ETR : l'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 416 mm/an.
- d) Le ruissellement

L'alimentation de la nappe se fait par les seules précipitations qui s'infiltrent dans les formations perméables. Ainsi, d'après la formule de TIXERONT - BERKALOFF, le ruissellement sera égal à :

$$R = \frac{P^3}{3 \cdot E_p^2}$$

R : Ruissellement en mm.

P : Précipitations annuelles en mm

E_p : Evapotranspiration potentielle en mm

soit $R = 110\text{mm} \pm 11\text{mm}$

- e) L'infiltration : I

$$P = R + I + E + W$$

$$I = P - R - E$$

$$I = 37\text{ mm} \pm 4\text{ mm}$$

II-7.2. Conclusion

La plus grande partie de l'alimentation de l'oued est assurée par l'apport d'eau météorique. Si nous considérons que la surface de l'impluvium est de l'ordre de 60 km^2 , et la précipitation moyenne annuelle de 578 mm, nous obtenons un coefficient d'infiltration de 6,4 %. Ainsi, l'impluvium reçoit environ un volume de $34,68.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ et l'infiltration en direction de la nappe est de $2,2.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$. L'ordre de grandeur des erreurs d'estimation des termes du bilan est de l'ordre de 10 à 30 %.

Il apparaît donc que :

- la réalimentation naturelle de l'impluvium est très faible,
- le déséquilibre en faveur du ruissellement est très accusé.

CHAPITRE TROIS

GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

CHAPITRE TROIS GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

III-1- INTRODUCTION

L'ensemble des terrains se situe dans l'Atlas tellien littoral, plus précisément à l'Est de Cherchell, au pied du massif du Chenoua séparant la plaine de Oued El Hachem de la mer méditerranée [1] [2] [26] [28] [29] [30] [31] (fig n°2).

Le secteur étudié appartient plus particulièrement au tell septentrional, comprenant les noyaux kabyles, la chaîne calcaire et les flyschs Sud et Nord Kabyles (fig n°18). De part et d'autre de ces chaînons d'orientation Est-Ouest, nous avons des dépressions occupées par des sédiments néogènes et quaternaires. Ce sont à l'Est, les sédiments de la vallée de la Soummam et à l'Ouest ceux du bassin de Oued Chélif.

La zone d'étude présente une grande complexité géologique due :

- à la terminaison occidentale des affleurements pliocène type Sahel,
- au contact anormal entre le flysch Albo-Aptien et Crétacé moyen-supérieur (présence d'écaillés),
- aux variations de faciès dans un même étage,
- à la présence d'un volcanisme sous-marin avec projections et intrusions doléritiques.

III-2- LES FORMATIONS :

Du point de vue stratigraphique, nous considérerons dans l'ordre chronologique :

C¹⁻² : le Flysch Albo-Aptien, constitué de schistes durs d'aspect gris-bleu intercalés avec des bancs de quartzites souvent importants (3 - 4m). Son épaisseur totale peut atteindre 400m.

C⁴ et C⁵ : Cénomanien (C³ au C⁵), le Cénomanien inférieur (C⁴) est constitué de marnes noires schisteuses avec quelques lentilles calcaires (épaisseur approximative 250 m). Le Cénomanien supérieur (C⁵) est constitué de calcaires très durs, à cassure noire et patine jaunâtre bien visibles à l'aqueduc romain et d'épaisseur maximum : 250 m.

Entre le Cénomanien et le Flysch, L. GLANGEAUD indique la présence d'écaillés septentrionales (C⁵⁻³), constituées essentiellement de calcaires à patine blanche, de marnes schisteuses et de brèches de glissement.

C⁸⁻⁶ et C⁸⁻⁷ : Sénonien, l'étage inférieur est essentiellement calcaire avec des intercalations schisteuses et bancs de microbrèches ("écaillés intermédiaires") de L. GLANGEAUD.

Par contre l'étage supérieur (C⁸⁻⁷) se présente comme une épaisse série de marnes à lentilles calcaires.

Formations : Miocène, visibles en rive gauche à l'estuaire de Oued El- Hachem ,elles sont de lithologie très diverses. On y distingue :

- des formations de calcaires, grès et poudingues,
- des marnes jaunâtres,
- des horizons gréseux,
- des intrusions doléritiques ou des tufs et projections volcaniques blanchâtres.

L. GLANGEAUD a distingué trois séries sédimentaires d'âge miocène, de bas en haut :

* Le Burdigalien : M1

La série débute par des poudingues rougeâtres sur lesquels repose une série marneuse à intercalations de roches éruptives. Sur le flanc nord du synclinal de Menaceur, les roches éruptives (M1PS) reposent directement sur les poudingues de base : ces roches éruptives devant constituer les fondations du « futur » barrage de Boukourdane.

* Le Vindobonien : M2

C'est une série marneuse avec intercalations locales de niveaux détritiques et de roches éruptives.

* Le Pontien : M3

Ce sont des grès, argiles, lignites et des calcaires à planorbes, affleurant dans la région de Menaceur.

Formations Pliocène P1:

Deux affleurements principaux dans la région étudiée :

- le mamelon séparant les vallées de l'oued Bellah et de l'oued El- Hachem , constitué de marnes sableuses,
- les collines sur la rive droite de Oued El- Hachem, à l'Est de Sidi Amar, formées de marnes gréseuses à nodules bleuâtres passant à des marnes jaunes molassiques dans la partie supérieure.

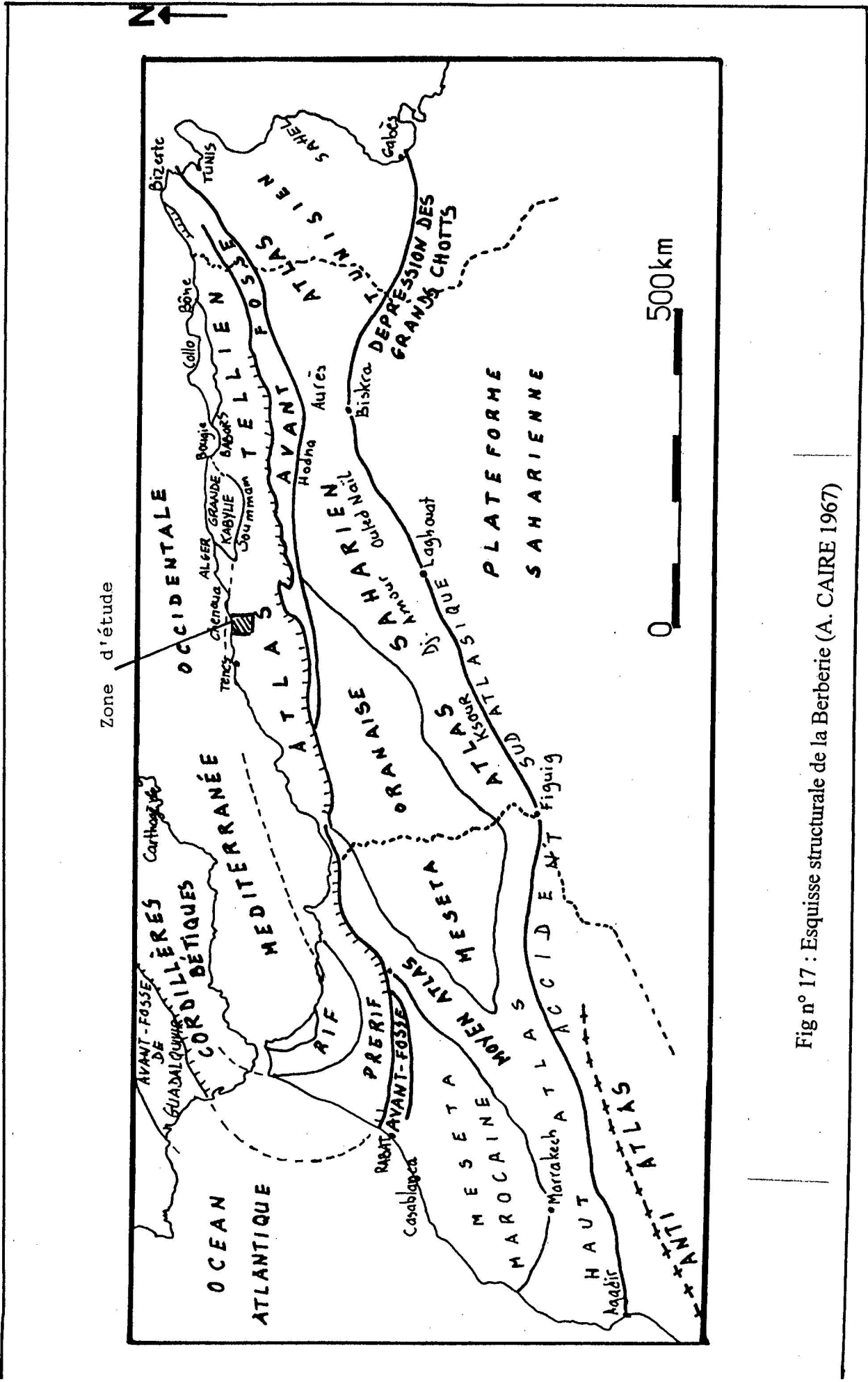
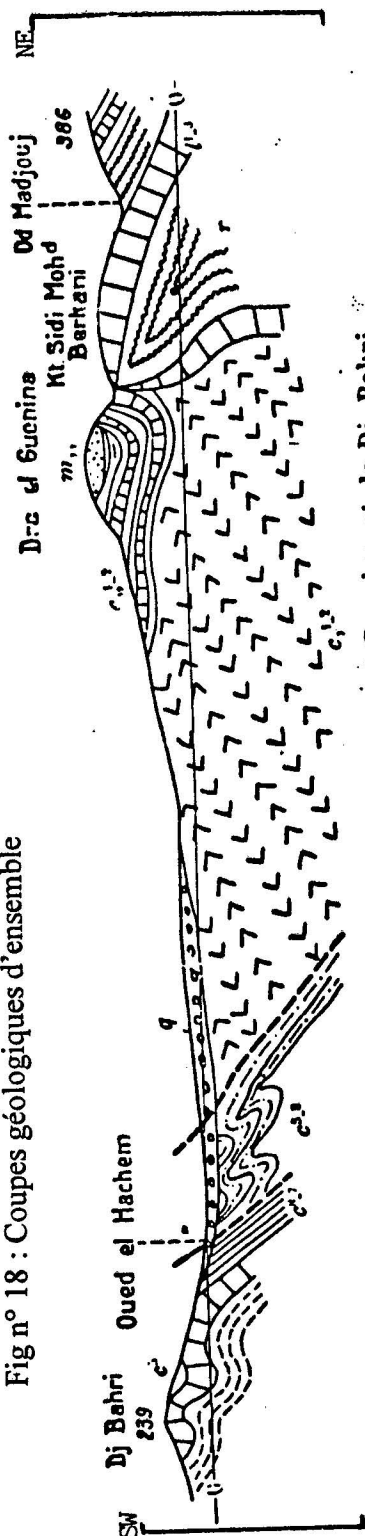


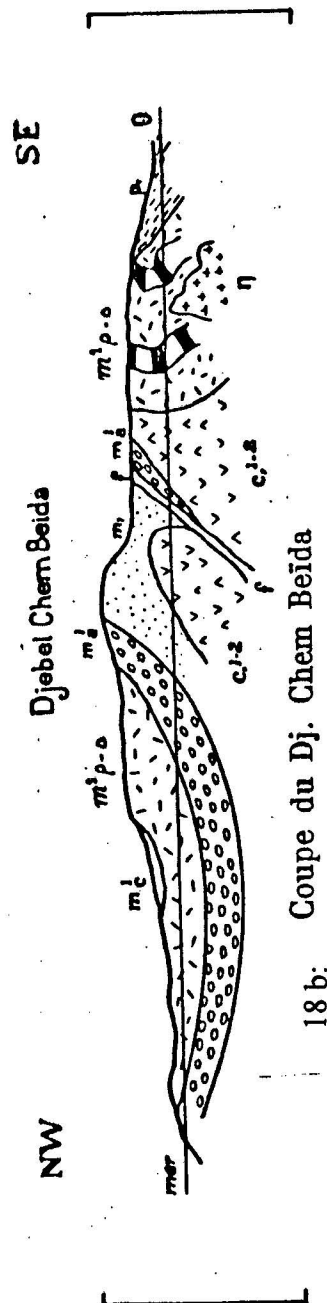
Fig n° 17 : Esquisse structurale de la Berberie (A. CAIRE 1967)

Fig n° 18 : Coupes géologiques d'ensemble



18 a: Coupe du versant sud-ouest du Chénoua entre Dra el Guenina et le Dj. Bahri.

X : schistes primaires. — r : grès micacés permians. — p_1 : calcaire compact du Lias. — $c_{1,2}$: flysch albo-optien — $c_{2,3}$: calcaires à Foraminifères des « écaillés intermédiaires ». — c_4 et c_5 : marnes et calcaires (Cénomaniens). — c_{6-7} : Sénonien. — $e_{1,2}$: couches à Nummulites du Lutétien et de l'Eocène supérieur. — m : grès micacés (Oligocène-Aquitaniens). — q : Alluvions et dépôts actuels. La ligne de traits interrompus marque la surface de chevauchement de la nappe du « flysch ».



18 b: Coupe du Dj. Chem Beida

$c_{1,2}$: Flysch albo-optien. — m : grès à *Amphiope*. — m^1_a : poudingues burdigaliens. — $m^1_{p-\Delta}$: tufs et coulées d'âge burdigalien. — m^1_c : marnes carteniennes. — η : dolérite postburdigalienne.

III-3- ROCHES D'EPANCHEMENT D'AGE BURDIGALIEN (ml : PS : Andésites ou dolérites)

Les anciens travaux décrivent ces formations comme étant des andésites, roches éruptives d'épanchement. Leur puissance a été estimée au minimum à 120 m.

III-3.1. Pétrographie

D'après L. GLANGEAUD (1932), ces roches éruptives d'épanchement sont des dacitoïdes labradorites à hyperstène. Le terme dacitoïde désigne des roches éruptives à quartz virtuel (calcul, d'après la norme C.I.P.W.). Cette appellation désigne les roches microlithiques de la famille des diorites.

Les derniers travaux entrepris par le bureau d'étude B.G.(Bonard-Gardel) (rapport B.G. n° 2086-45 mars 1983), montrent que Oued El -Hachem traverse du Sud au Nord sur 1 km environ, du point 80 (pont de l'oued Fedjana), un massif de roches hypovolcaniques basiques surmontées par places de coulées basaltiques (prismes plus anciens très altérés), l'ensemble étant recoupé par quelques dykes subverticaux d'orientation E-W ou NE-SW à tendance plus acide.

Ces roches paraissent appartenir en majeure partie à la famille des dolérites à "olivine" sous forme de masse intrusive compactée ou brèches. Rencontrées saines, alors extrêmement dures, elles sont à cassure esquilleuse, de couleur gris foncé. Souvent altérées en surface, elles paraissent de couleur verdâtre tachetées de limonite(ocre).

III-3.2. Analyses des lames minces

Nous avons prélevé, deux échantillons à proximité du pont de Fedjana (entrée de Sidi Amar). L'analyse des lames minces montre que les roches éruptives à texture microlithique fluidale porphyrique sont constituées de phénocristaux de plagioclases zonés comportant des inclusions vitreuses. La biotite est généralement très altérée. Cependant, il existe de nombreux "Fantômes" de minéraux qui ont été remplacés par des carbonates, par l'association carbonates - phyllites brunes, ou même par du quartz et qui peuvent correspondre à d'anciens orthopyroxènes et/ou à d'anciennes amphiboles.

La matrice, relativement fluidale est constituée de microlites de plagioclases zonés calciques, ménageant des interstices où apparaît probablement un peu de feldspath alcalin, des biotites et des minéraux opaques.

Elle contient par ailleurs des cristaux d'hématite et de nombreux granules ou plages de carbonates.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Ti ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O à 1000 ° C
59,07	17,59	6,59	0,39	1,61	6,03	1,52	1,84	0,40	0,05	4,58

Tableau n° 9 : Composition chimique (unité en %)

Il s'agit d'une lave andésitique assez typique, caractérisée par une (teneur de 59%) en SiO₂, andésite cénozoïque : SiO₂ : (57 - 63 %), une forte teneur en Al₂O₃ (17,6 %) liée à la présence d'abondants plagioclases en phase précoce (phénocristaux) et une faible teneur en TiO₂ (0,4 %) assez caractéristique des volcanismes orogéniques.

On notera cependant que la teneur en Na₂O est faible (1,52%) comparée aux laves équivalentes cénozoïques suggérant un lessivage partiel de cet élément. L'altération est attestée par la teneur élevée en H₂O (4,6%).

En conclusion, ces roches correspondent à des dynamismes éruptifs aériens. Elles ont été altérées à basse température par la circulation probable d'un fluide riche en CO₂ (carbonates) en relation possible avec l'encaissant sédimentaire.

N.B. - L'analyse a bénéficié, du concours de M. ROSSY (professeur de pétrographie à l' UFR de BESANCON) que nous remercions vivement.

Coordonnées des prélèvements : carte topographique CHERCHELL au 1/50 000

X : 461 et 461

Y : 365,9 et 359

Z : 20m et 20 m

III-4- GEOLOGIE DU DJEBEL TABARRAND :

III-4.1. Introduction :

Le versant rive gauche est constitué de calcaires profondément entaillés principalement par l'oued Bou-Hammoûd recueillant les eaux de ruissellement du Djebel Tabbarând (fig n° 18). Ces calcaires peuvent cependant former un réservoir important susceptible d'alimenter les alluvions de la plaine de l'oued El -Hachem et assurent un débit pérenne au seuil de Bordj Ghobrini. L'eau de ruissellement du massif calcaire, drainé par les oueds, rejoint directement Oued El -Hachem et ne contribue pas à l'alimentation de la nappe des alluvions dont le toit est argileux. L'étude des relations possibles entre la nappe de Oued El -Hachem et ces calcaires nécessite d'abord la géologie du Djebel Tabarrând car la pluviométrie à elle seule ne peut suffire à assurer un débit d'étiage de l'oued à Bordj Ghobrini.

Les faciès souvent semblables des terrains tertiaires et le manque de macrofossiles n'ont pas facilité l'établissement de la stratigraphie. En conséquence, il a été fait appel aux résultats de la micropaléontologie (M.A. REYMOND, J.H. LEROUX, J.C. MANCET, S. BAUDOUY, 1970) dont les déterminations ont été rendues extrêmement délicates par des déformations et altérations affectant la plupart des microfossiles.

Malgré l'absence totale de faune et la pauvreté de la microfaune , l'étude a pu aboutir à déterminer une stratigraphie et une structure géologique du Djebel.

III-4.2. Stratigraphie

Les séries sédimentaires rencontrées, exceptées celles du Crétacé inférieur de type flysch dépourvues de fossiles ne sont pas étudiées. Seule la micropaléontologie permet de définir l'âge.

Trois séquences lithologiques individualisent le Djebel Tabarrând :

- une séquence inférieure argilo-calcaire,
- une séquence intermédiaire,
- une séquence supérieure argilo-calcaire.

La séquence inférieure argilo-calcaire:

L. GLANGEAUD (1932) attribue cette séquence au Sénonien. Il y distingue deux faciès :

- le faciès des écailles intermédiaires au nord du Djebel Tabarrând,
- le faciès des marnes à lentilles calcaires jaunes au niveau de Sidi- Amar.

C. LEPVRIER, J.C. MANCET (1972) [30] , pensent qu'il s'agit là, de terrains d'âge cénomanien ou sénonien.

De par la tectonique, les séries sont renversées et très faillées. Deux coupes ont été reconstituées, l'une faite au Nord de la vallée de l'oued Tidaf (fig n°19) et l'autre au Sud à Sidi Zekri (fig n°19). Après cette étude, il semble que les terrains du haut de la série de Sidi Zekri peuvent être raccordés à la base de la série de Oued Tidaf, datée du Sénonien sans plus de précision.

L'ensemble de cette séquence aurait donc une épaisseur minimale de 250 m. Son âge peut varier du Cénomanien supérieur - Turonien au Paléocène inférieur. La présence du Campanien ou du Maestrichtien n'a pu être mise en évidence, aucun fossile n'ayant pu permettre la datation des terrains compris entre Santonien inférieur et Crétacé supérieur -Paléocène inférieur, d'où l'adoption d'un âge Sénonien supérieur.

La séquence intermédiaire : marno-calcaire :

L. GLANGEAUD (1932) [26] attribuait cette série au Cénomanien et les calcaires du haut de la série au cénomanien ou Turonien. En fait, faute d'éléments paléontologiques, l'âge de cette séquence ne peut être bien défini. Cependant grâce aux rares déterminations micropaléontologiques, C. LEPVRIER (1972) [31], précise que cette séquence doit être attribuée au Paléocène. L'épaisseur de cette séquence marno-calcaire serait de 40 mètres.

La séquence supérieure : argilo-calcaire:

Faute de fossiles, L. GLANGEAUD (1932) [26] , attribuait les couches décrites ci-dessous, au Cénomanien, mais émettait des doutes.

C. LEPVRIER (1972) [31] , grâce à l'étude de la rare microfaune attribua cette série monotone à l'Eocène inférieur et moyen. Ces terrains affleurent largement et permettent d'établir une coupe à Sidi Amhend Ben Sayah (fig n°20). La série est très monotone essentiellement argileuse et épaisse de 110 à 120 mètres.

Fig n° 19 : Coupes lithostratigraphiques d'après
C.LEPVRIER et J.C.MANCET (1972)
(SIDI ZEKRI; OUED TIDAF).

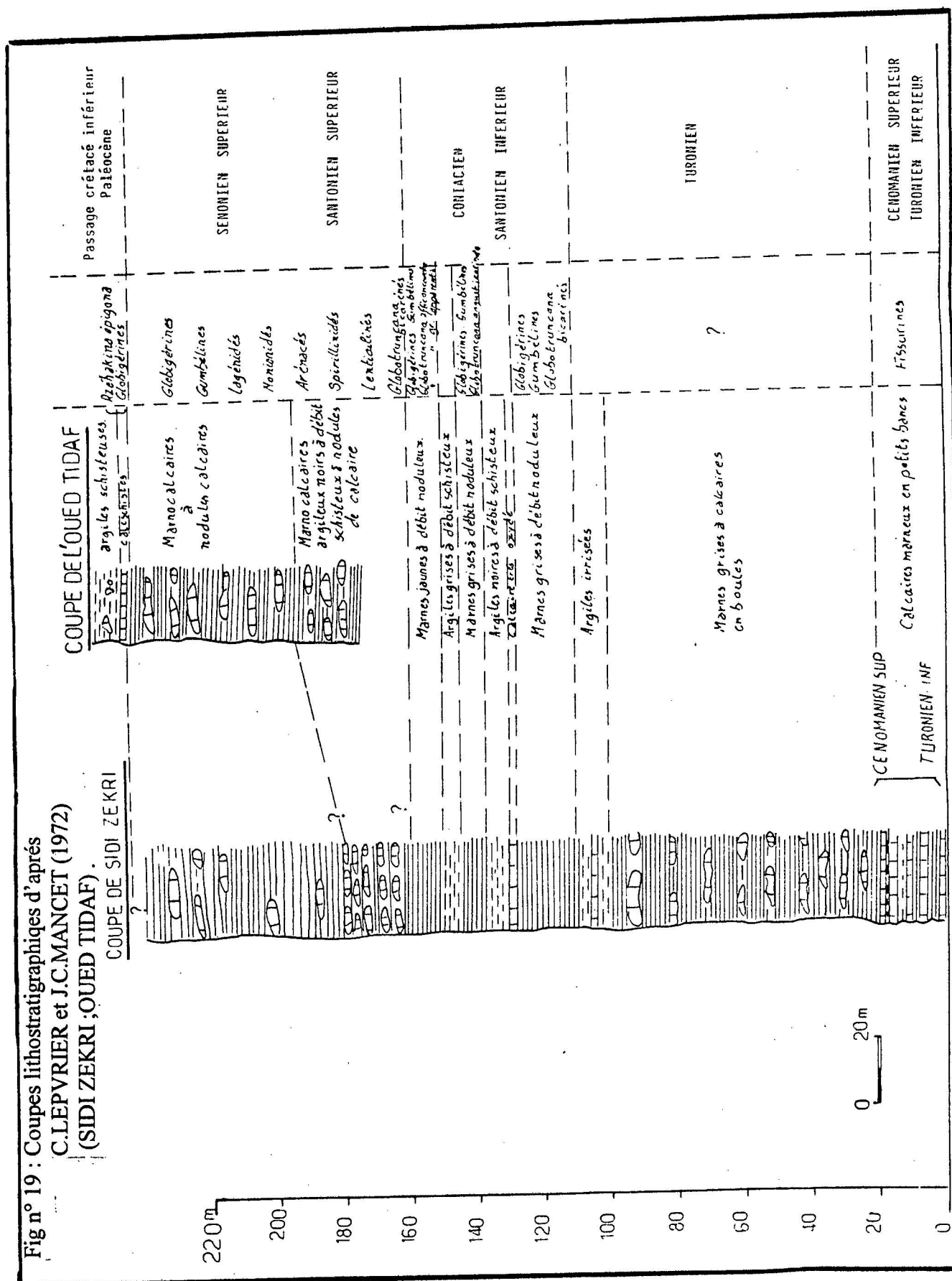


Fig n° 20 : Coupes lithostratigraphiques d'après
C.LEPVRIER et J.C.MANCET (1972)
(SIDI AMHEND ES SAYEH).

120	Argile noire à débit schisteux contenant des nodules de calcaire très argileux noirs à patine ocre.	Textularidés et traces d'organismes ferrugineux	Eocene Moyen
110	Argile noire à débit schisteux contenant des nodules de calcaire très argileux noirs à patine ocre.	Textularidés et traces d'organismes ferrugineux	
100	Argile noire à débit schisteux contenant des nodules de calcaire très argileux noirs à patine ocre.	Textularidés et traces d'organismes ferrugineux	
90	Argile noire à débit schisteux contenant des nodules de calcaire très argileux noirs à patine ocre.	Textularidés et traces d'organismes ferrugineux	
80	Argile noire à débit schisteux contenant des nodules de calcaire très argileux noirs à patine ocre.	Textularidés et traces d'organismes ferrugineux	
70	Alternance d'argiles noires schisteuses et de marnes grises, feuilletées et fossilifères.	Tantômes d'organismes Globigérinopsis, Rzehakina, spigona Globorotalia, Globigérines Gyrogonite, Monian polymorphinides Textularidés, Lagaridés, Nodosaria, Lenticulina, Astacolus.	Eocene Moyen
60	Filons de calcaire mielleux dans les argiles.	Globigérines - Globorotalia.	
50	Argile noire teintée par de l'hématite et de la limonite.	Globorotalia Bullbrooki Globigérinopsis index Rzehakina spigona, Globigérine Gyrogonite, Dentalina Nodosaria, Lenticulina Robulus, vaginella Globorotalia Bullbrooki polymorphinides, Lagaridés (Robulus, Lenticulina) Buliminidés Globigérines.	
40	Calcaire fibreuse mielleux.	Globigérines	
30	Marnes calcaires gris-ocre feuilletées.	Foraminifères planctoniques	
20	Argile feuilletée à nodules de calcaire argileux.		Eocene Inferieur
10			
0			

Conclusion :

Les terrains formant le djebel Tabarrând forment une série argilo-calcaire dont l'âge serait du Cénomaniens supérieur – Turonien inférieur à l'Eocène moyen ou supérieur. On peut y différencier trois séquences :

- une séquence inférieure "Sénonienne" essentiellement marneuse,
- une séquence intermédiaire plus carbonnatée où les calcaires Yprésiens jouent un rôle important dans la topographie, formant des crêtes et servant de zones d'alimentation des aquifères,
- une séquence supérieure Eocène formée d'argiles débris schisteux noirs.

Toutes les précisions d'âge sont faites sur la base de la micropaléontologie. Ainsi l'absence ou la présence de certains étages ne peut se confirmer, notamment le Campanien - Maestrichtien et peut être le Danien.

III-4.3. Structure du massif (fig n° 21)

L. GLANGAUD (1932) [26] , distingue trois phases de plissements dans la région.

*** Plissements Pyrénéens :**

S'étalant de la fin du Lutétien supérieur à la fin de l'Eocène, les plissements étaient dûs à des efforts tangentiels orientés Nord - Sud ayant déterminé la structure actuelle du Djebel Tabarrând . Cette phase de plissement fût la plus importante.

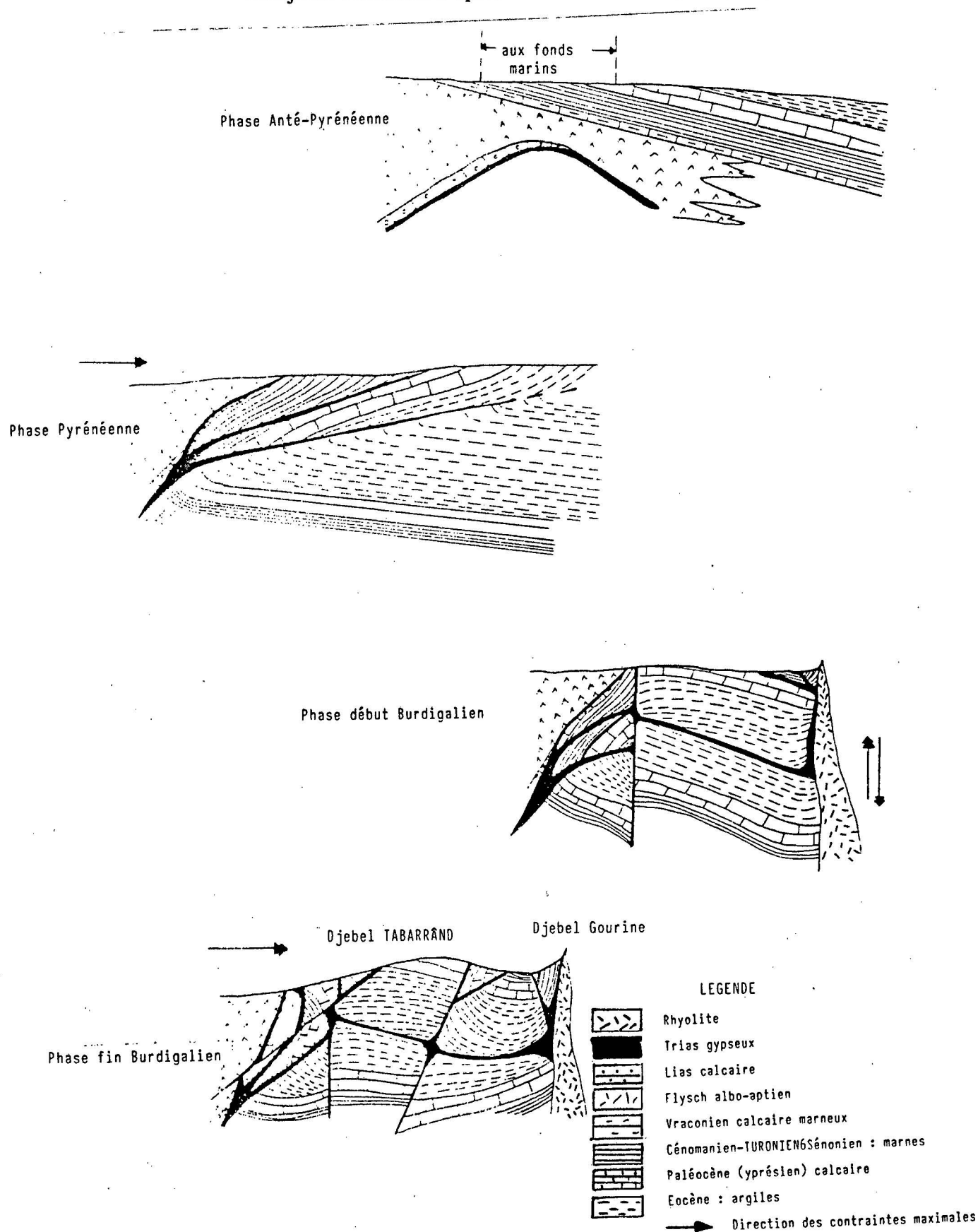
*** Plissements au début du Burdigalien**

Les efforts dûs aux réajustements isostatiques à la suite des plissements précédents, entraînaient des mouvements verticaux et créaient des distensions ayant permis l'éruption des roches volcaniques.

*** Plissements de la fin du Burdigalien**

Dûs à des efforts tangentiels, ils ont défini, la structure actuelle du Djebel.

Fig n° 21 : Schéma de l'évolution structurale des terrains du Djebel Tabarrând d'après L. GLANGEAUD (1932).



III-5 - LES FORMATIONS RECENTES EN RIVE DROITE DE OUED EL-HACHEM :

Les marnes plaisanciennes bleues en rive droite de Oued El -Hachem, visibles dans les oueds, supportent des sols cultivés. Les reliefs y sont mous et plusieurs surfaces d'aplanissement s'étagent en altitude formant des méplats où subsistent parfois des restes de terrasses alluviales.

Les surfaces planes se présentent souvent sous forme de glacis à surface caillouteuse séparés par des ruptures de pente très nettes dans la topographie.

L'étude de ces formes et restes quaternaires a été faite suivant le procédé de l'altimétrie (J.C.MANCET 1972).

Les diverses surfaces d'aplanissement et terrasses ont été regroupées selon leur altitude respective par rapport à Oued El -Hachem considéré comme niveau "zéro". Six niveaux ont ainsi pu être mis en évidence :

- Niveau "zéro" : à 3,5 m au-dessus de l'oued. Ce niveau correspond à l'ensemble de la plaine alluviale de l'oued El-Hachem.
- Niveau I : de 10 à 15 m environ au-dessus de l'oued. Ce niveau n'est visible qu'en rive droite de l'oued.
- Niveau II : Situé entre 18 et 30 m au-dessus de l'oued. Ce niveau est bien mis en évidence à l'embouchure de l'oued Mizbâ, les sols qu'il supporte sont très cultivés en général.
- Niveau III : Visible entre 30 et 70 m au-dessus de l'oued. Ce niveau se présente sous forme de sol assez pentu dont la couleur diffère de celle du niveau II. L'épaisseur du sol est moins épaisse, les cultures plus pauvres et on note beaucoup de garriques sur le niveau.
- Niveau IV : dont on ne peut préciser sa hauteur par rapport à l'oued, s'étale entre 70 et 130m au-dessus de l'Oued. Il se caractérise par des surfaces de couleur blanchâtre. Le sol et les cultures ont pratiquement disparu.
- Niveau V : situé à 100 m en moyenne au-dessus de l'oued, il peut se retrouver jusqu'à 140 m et se présente sous forme de crêtes blanches et nues émergeant du niveau IV.

Conclusion :

Le niveau "zéro" constitue le réservoir alluvial proprement dit de la plaine de Oued El-Hachem.

CHAPITRE QUATRE

LE RESERVOIR ALLUVIAL DE OUED EL HACHEM

CHAPITRE QUATRE LE RESERVOIR ALLUVIAL DE OUED EL HACHEM

IV-1- GEOMETRIE DU RESERVOIR ALLUVIAL

Le remplissage le plus récent, s'étale en rive gauche de Oued El -Hachem, à 3,5 m au dessus et constitue le réservoir hydraulique étudié. Il a fait l'objet d'une reconnaissance plus particulière par prospection géophysique (C.G.G. 1966) [24] et par forages.

IV-1.1. - Stratigraphie :

Il est très difficile d'établir une stratigraphie générale dans ce niveau étant donné qu'elle est tributaire des conditions lithologiques à ses limites.

Il apparait toutefois cinq périodes de sédimentation caractérisées par une sédimentation différente de bas en haut :

a) 1ère période :

Après le creusement maximum de Oued El-Hachem, dessinant un chenal profond que la campagne géophysique a pu mettre en évidence, les premiers dépôts dans le fond de ce chenal sont formés d'argiles à galets.

b) 2ème période :

Caractérisée par des dépôts de galets traduisant une reprise d'érosion après le dépôt des argiles rouges avec érosion locale de ces dépôts qui sont parfois absents et ne subsistent que dans le fond du chenal ancien. Cette reprise d'érosion est suivie du dépôt de galets.

c) 3ème période :

La capacité de transport des eaux de ruissellement diminuant ,il se forme un dépôt d'argiles un peu sableuses sans qu'il y ait de période de creusement préalable puisque la puissance de ces argiles est sensiblement constante dans la partie aval de la plaine.

d) 4ème période :

Les dépôts ont tendance à devenir plus grossiers et les argiles se chargent en sable où parfois s'individualisent des lits de graviers. Ceci caractérise une intensification du ruissellement et de la force des courants traduisant une reprise d'érosion.

e) 5ème période :

Elle se caractérise par des dépôts d'argiles et de limons.

IV-1.2. - Structure :

L'épaisseur maximum totale de ces dépôts alluvionnaires est de 40m environ. Les dépôts de la 2ème période constituent le réservoir aquifère rendu captif par les dépôts argileux supérieurs.

La lithologie des alluvions n'est pas homogène et l'on note des variations latérales de faciès offrant des séquences horizontales formées des termes suivants : détritiques grossiers, détritiques fins.

Ces variations se font suivant deux directions :

a) Structure longitudinale :

Les dépôts de la 5ème période constitués d'argiles, sont chargés en sable surtout en graviers au niveau du forage F4 (fig n°22) . Ces dépôts montrent une variation latérale de faciès où les éléments détritiques grossiers disparaissent progressivement, on ne les retrouve plus au niveau du forage F2 (fig n°23) .

Les dépôts argileux de la 3ème période augmentent de puissance de l'amont vers l'aval. Ceci est propre tout dépôt de rivière dont le matériel devient de plus en plus fin vers l'aval.

b) Structure transversale :

La bordure rive gauche de la vallée de Oued El -Hachem contribue par les apports des différents oueds issus du Djebel Tabarrând à l'alluvionnement de la plaine.

Selon que le matériel détritique provient du démantèlement des calcaires Yprésiens ou des marnes Sénoniennes , les dépôts sur la bordure de la vallée seront grossiers ou fins. Dans ce dernier cas, ils n'auront que peu d'influence sur la lithologie des dépôts, car ils sont transportés jusqu'à Oued El Hachem.

La sédimentation dans le sens d'écoulement de Oued El -Hachem l'emporte alors sur la sédimentation dans le sens transversal.

Fig n° 22: Sondage Chercell N° F4

Date des travaux Juin 1974

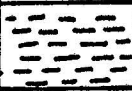
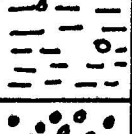
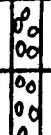
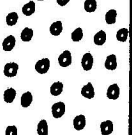
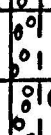
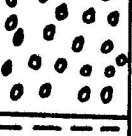
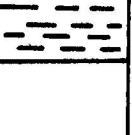
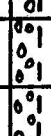
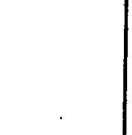
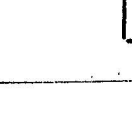
Profondeur cotes	Tubages et cimentation	Niveau d'eau	Echant.	COUPE	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
0m		+1,50m				QUATERNAIRE
					TERRE VEGETALE	
5					3m ARGILE BLEUE AVEC QUELQUES GRAVIERS	
10			S			
	Graviers 5/10mm		G			
15			N			
			I		16m	
20	Crépine ø 350mm		T		GRAVIERS	
			T			
25			U			
	Tube plein ø 350mm		C		26m ARGILES BLEUES	
30					28m	

Fig n° 23 : Sondage Cherchell N° F2
Date des travaux Août 1974

Profondeur Cotes	Tubages et Cimentation	Plan d'eau	Échan	COUPE	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
0m		N.S.: 270m			TERRE VEGETALE	QUATERNAIRE
5					3,5m LIMONS AVEC QUELQUES GRAVIERS	
10					7m ARGILE BLEUE	
15						
20	Graviers 5/10 mm				19 m GRAVIERS	
25	Crépine Ø 350 mm					
30	Tube plein Ø 350 mm				28 m ARGILES ROUGEÂTRES AVEC QUELQUES GRAVIERS	
					31 m	

IV-2- PROSPECTION GEOPHYSIQUE

Pour les besoins d'une meilleure connaissance de la géométrie de l'aquifère et à la demande de la direction du Génie Rural et de l'Hydraulique Agricole de Mostaganem, la Compagnie Générale de Géophysique a effectué une étude hydrogéologique par prospection électro-sismique dans la plaine alluviale de Oued El Hachem du 22 Juillet au 26 Août 1966.

Le but de l'étude était de déterminer l'épaisseur et la nature du recouvrement alluvial. Accessoirement, il était demandé à la géophysique d'apporter des indications sur la nature du substratum.

Ont été effectués:

- 111 sondages électriques (S.E.) dont 104 en ligne AB = 1000m et 7 (S.E.) en ligne AB inférieure à 1000m (paramétriques). Les sondages électriques ont été, disposés suivants des profils transversaux à la vallée distants entre eux de 250 à 300m.
- 18 bases sismiques avec un écartement entre géophones de 10m.

IV-2.1. Interprétation des résultats obtenus

Trois forages ont été effectués aux emplacements des S.E. 28,41 et 95 qui ont pu être ainsi calés.

a) Sondage électrique 41 : fig n°24

Les alluvions ont 13,50 m d'épaisseur. Si l'on attribue l'ensemble de la courbe convexe vers le haut aux alluvions. Celles -ci ont par examen de l'asymptote non reportée, une résistivité de l'ordre de 90 - 100 ohm.m. Il est toutefois possible qu'une partie de la courbe appartienne à un niveau résistant du substratum.

La résistivité des alluvions serait alors moindre et dans ce cas, il est difficile de distinguer les alluvions du substratum.

b) Sondage électrique 95 : fig n° 25

Le forage à travers, 19 m d'alluvions, d'abord des argiles jusqu'à 13 m ensuite des sables et graviers jusqu'à 19 m. La partie argileuse possède une résistivité de 10 ohm.m. La partie sableuse de base a une résistivité inférieure à 6 ohm.m.

c) Sondage électrique 28 : fig n°26

Les alluvions sont représentées par des sables et galets en surface, puis par

des argiles sableuses limitées à leur base par un poudingue jusqu'à 19,70m. Le substratum est constitué de marnes grises puis de calcaires. Il semble donc qu'il faille attribuer la plus grande partie de la courbe non pas seulement au poudingue, mais surtout aux marnes et calcaires du substratum.

IV-2.2. Sondages électriques paramétriques :

a) sondages électriques S.E.1 - S.E.2 : fig n°27

La position en bordure de la vallée des deux sondages permet de fixer la valeur de la résistivité des marnes pliocènes à 3 - 4 Ohm.m.

b) Sondages électriques 98 - 109 fig n°28

La résistivité de l'horizon des schistes et quartzites du flysch Albo - Aptien est variable suivant le pourcentage de bancs quartziteux :

- SE 109 : montre une dizaine de mètres de schistes et quartzites à 60 -100 Ohm.m puis un long palier à 30 Ohm.m.

- Par contre le SE 98, montre un niveau épais (40 m environ) à 10 - 12 Ohm.m intercalé entre deux niveaux à 30 Ohm.m.

c) Sondages électriques : 82 - 111 (fig.n°29) (sur calcaires cénomaniens)

Seul le début du S.E. doit être pris en considération. La résistivité des calcaires cénomaniens peut être évaluée à 50-100 Ohm.m.

d) Sondages électriques 87 - 110 (fig n° 30)

Les deux sondages électriques effectués sur des calcaires marneux (datés C⁵⁻³ pour le SE 87 et C⁸⁻⁷ pour le SE 110), indiquent une résistivité d'ensemble de 20 à 30 Ohm.m.

e) Les sondages électriques : 73,63 et 75 : fig n°31

- Les S.E. 73 et 63, permettent d'évaluer la valeur de la résistivité des alluvions grossières de l'Oued à 150 - 200 Ohm.m.

- Le S.E. 75, montre des alluvions anciennes, du moins dans les niveaux à sédimentation grossière une valeur analogue.

En conclusion, nous pouvons fournir l'échelle des résistivités selon la nature lithologique des formations, testées par les sondages électriques (tableau n°10).

Fig n° 24 : Sondage électrique 41

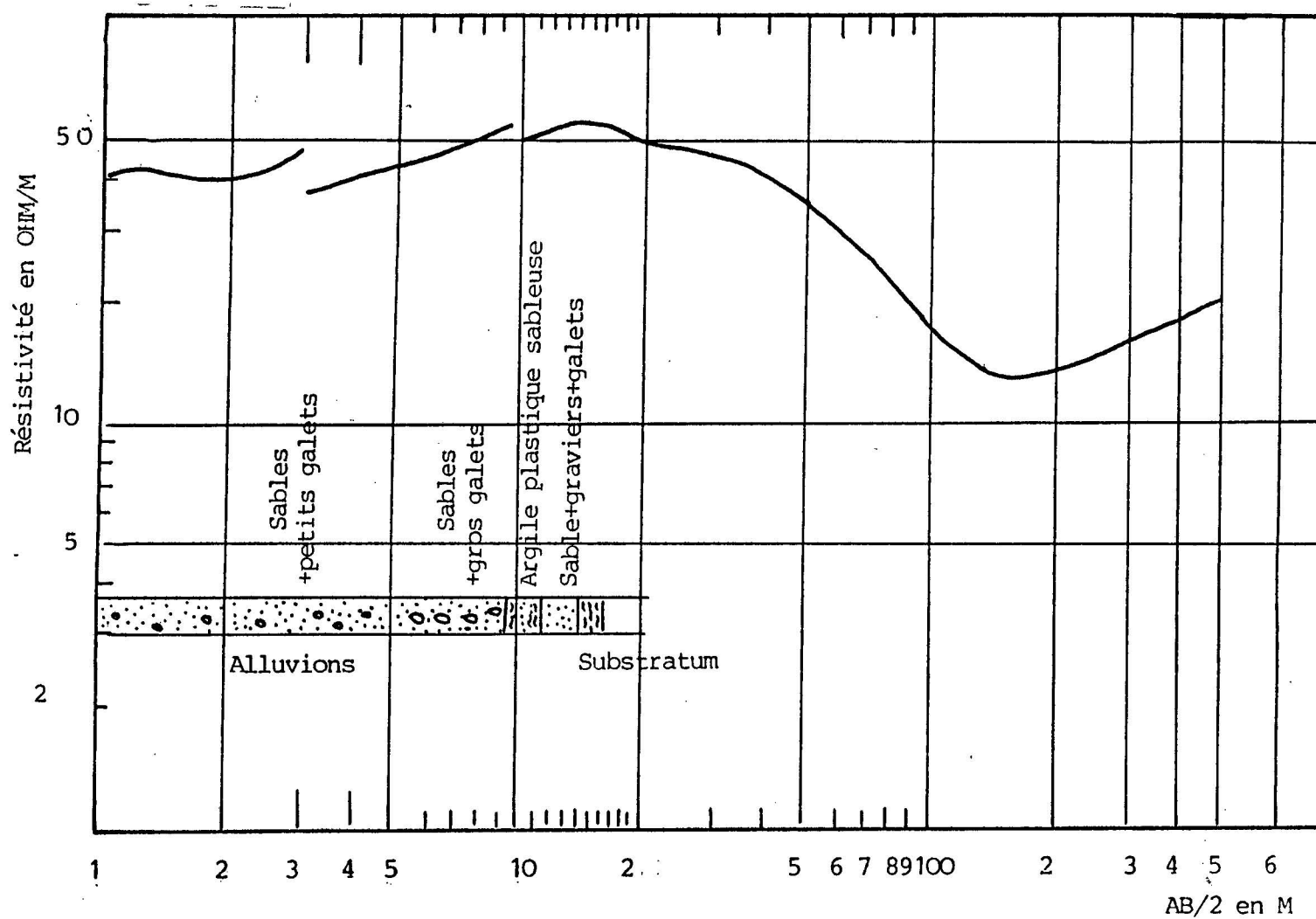


Fig n° 25 : Sondage électrique 95

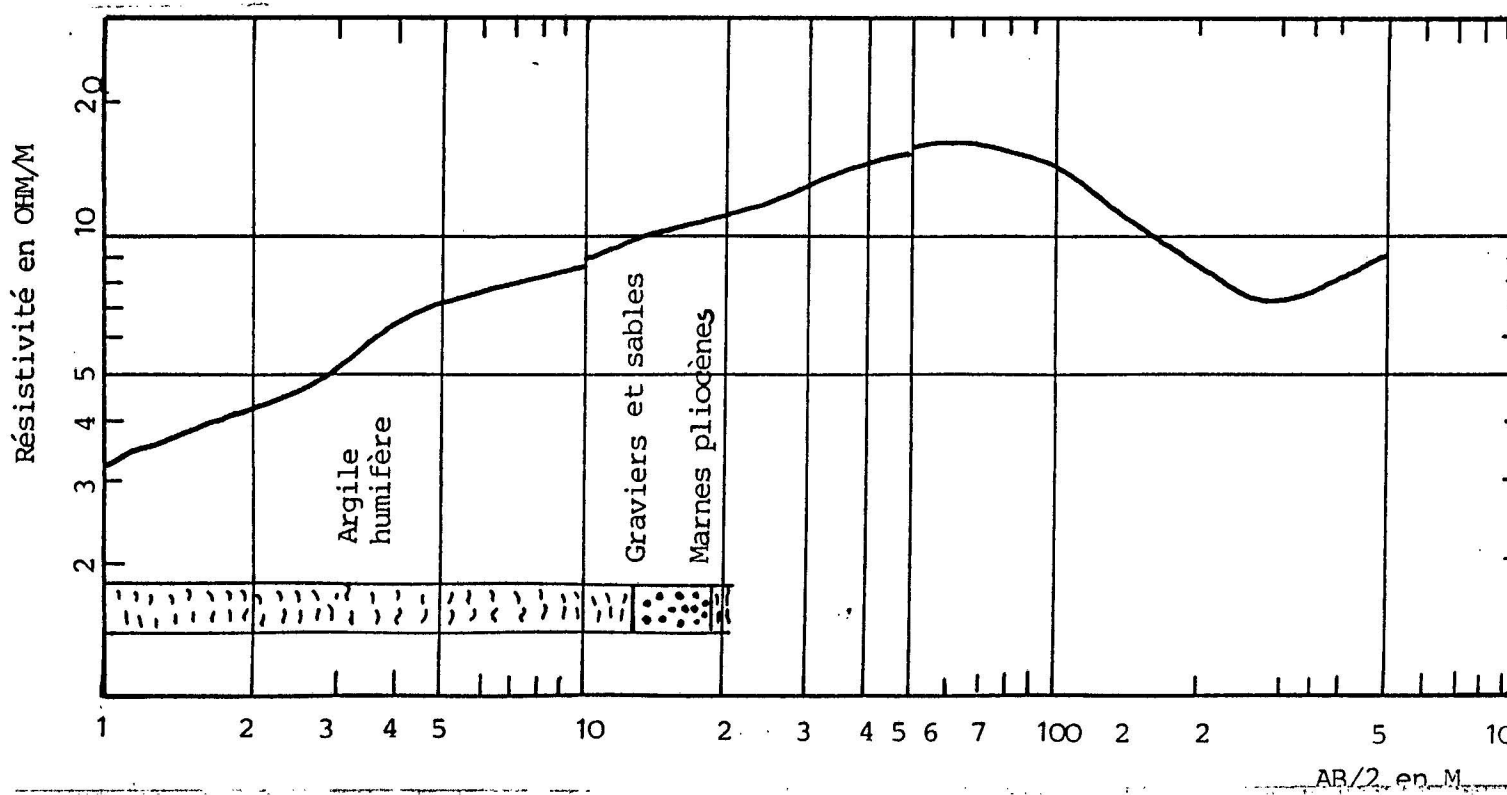


Fig n° 26: Sondage électrique 28

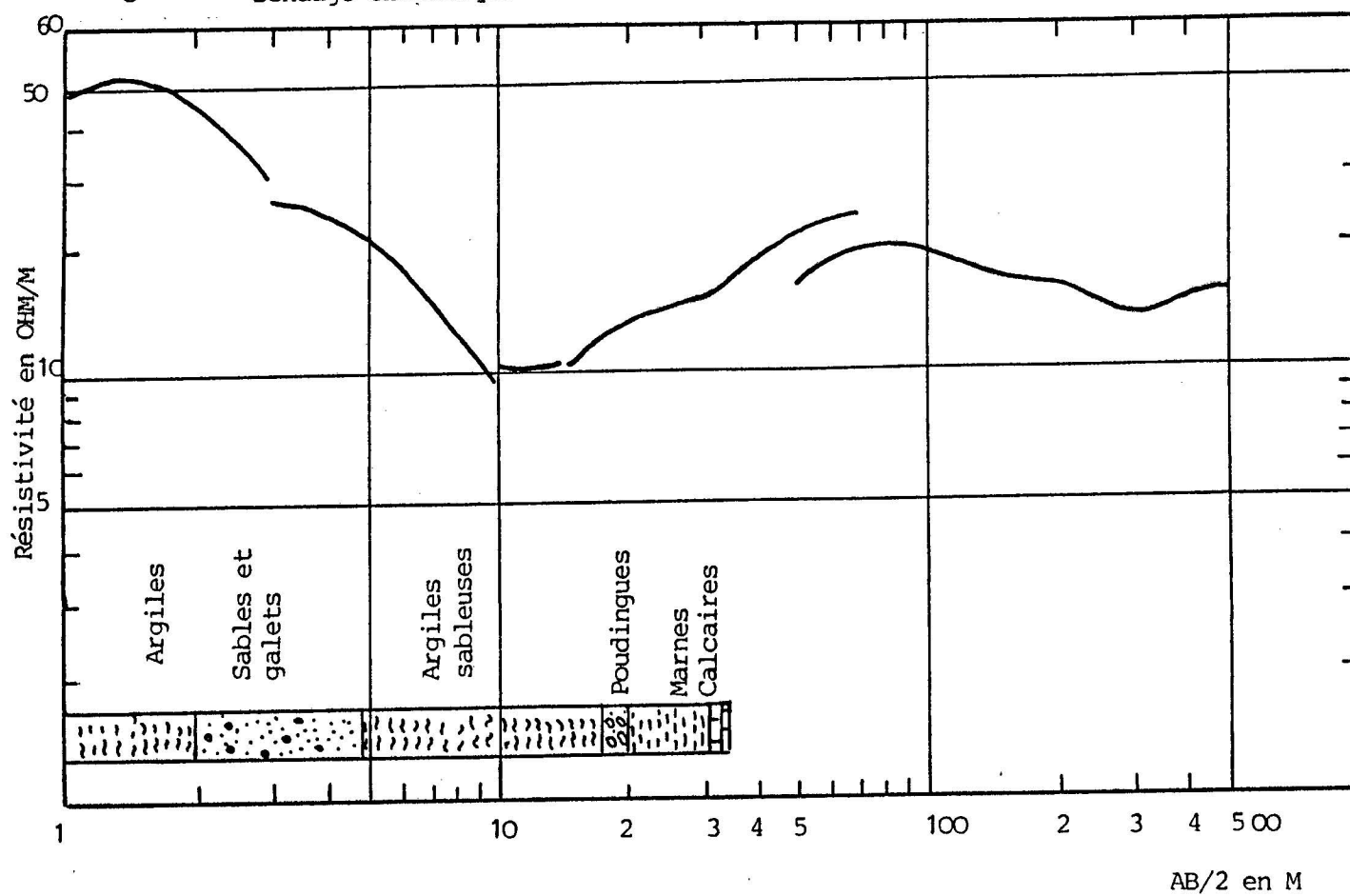


Fig n° 27: Sondages électriques 1-2

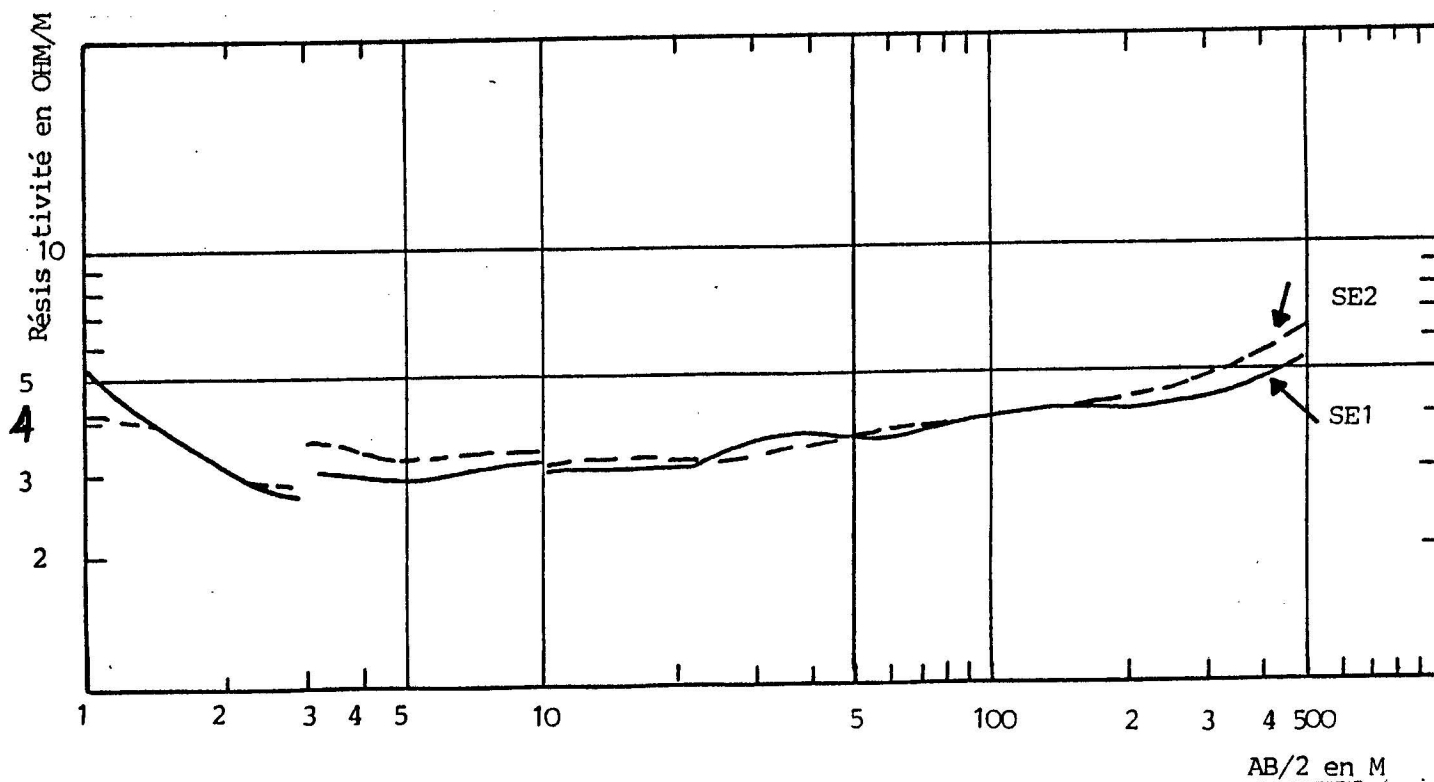


Fig n° 28 : Sondages électriques 98-109

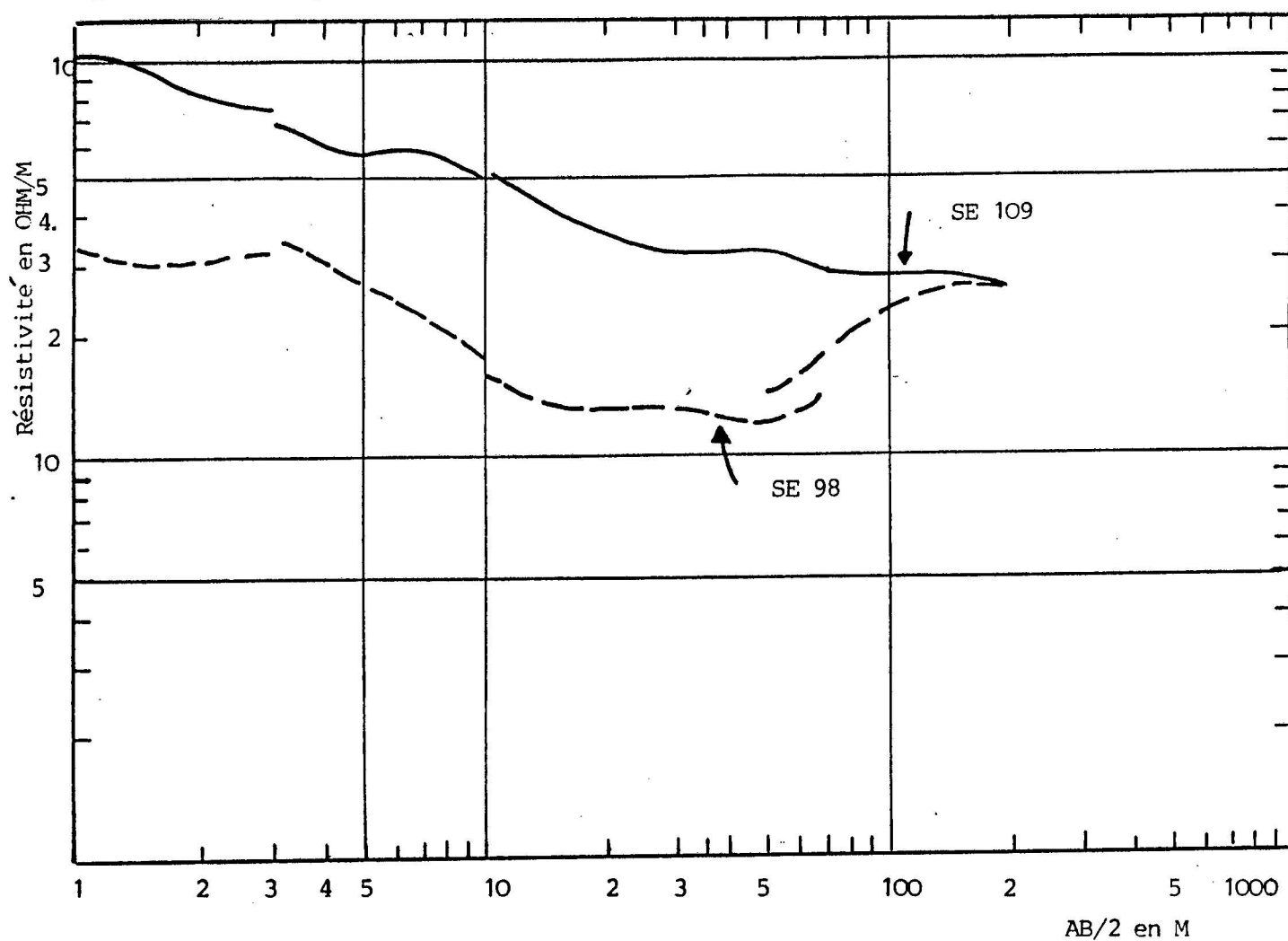


Fig n° 29 : Sondages électriques 82-111

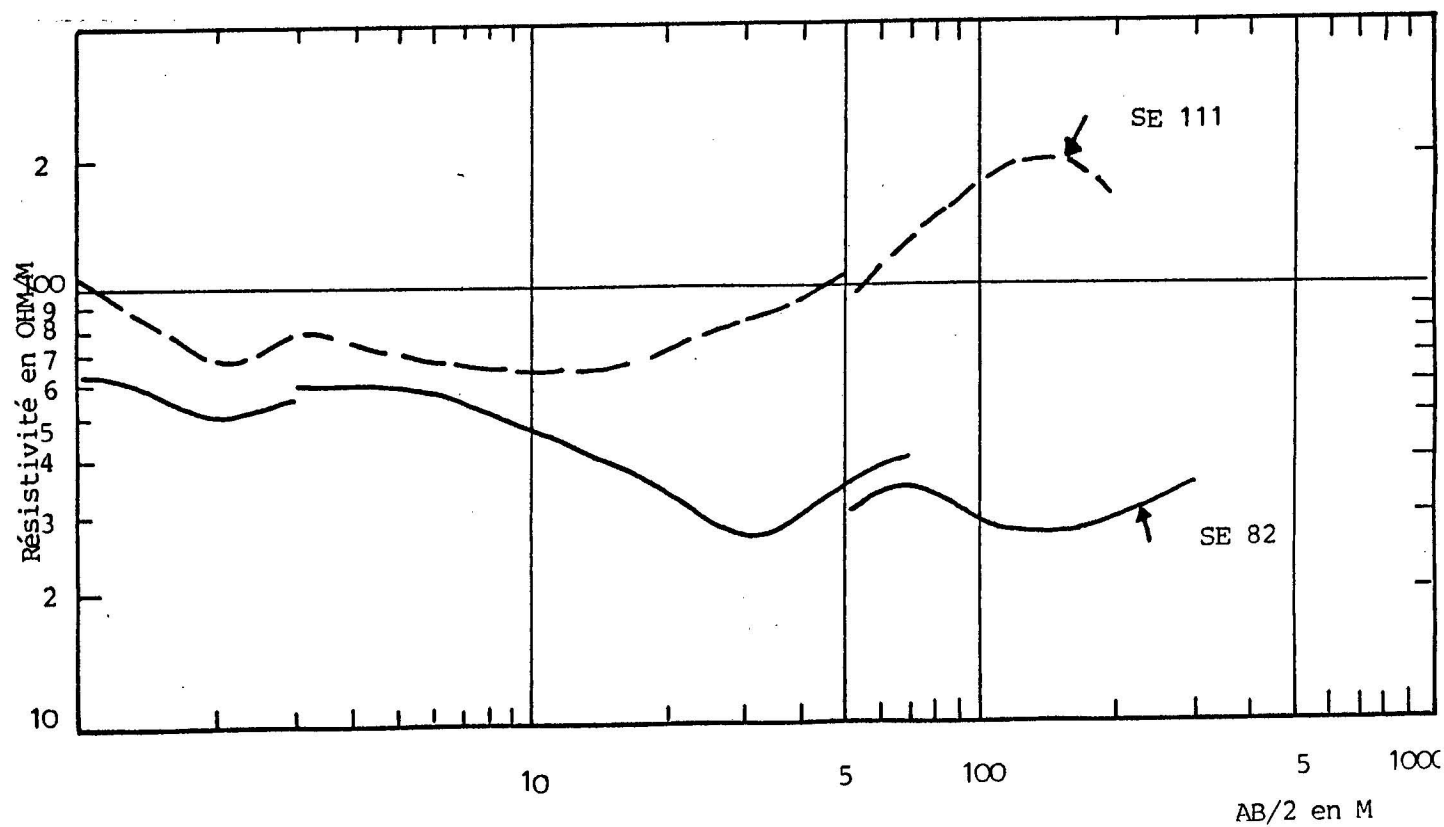


Fig n° 30: Sondages électriques 87-110

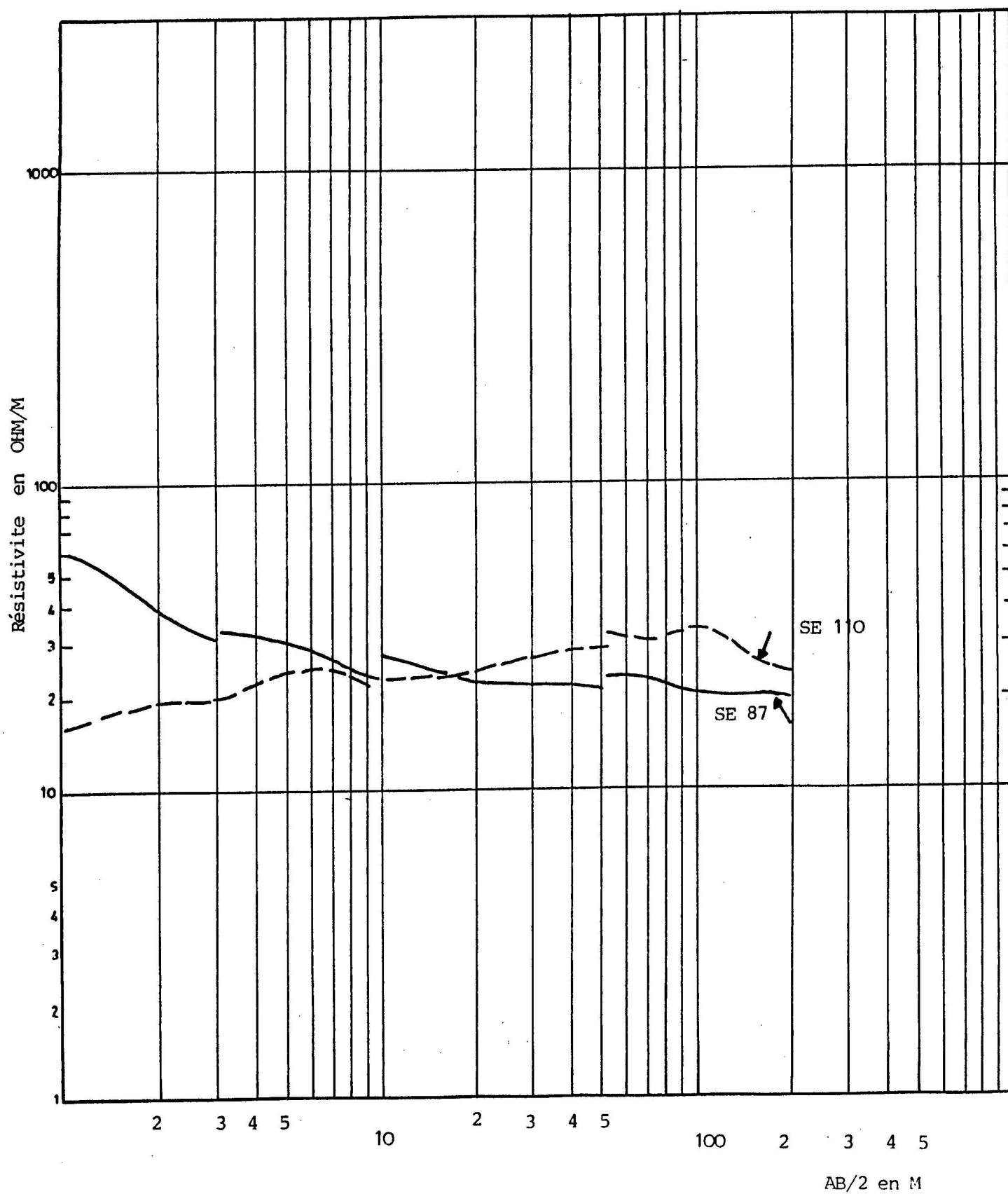
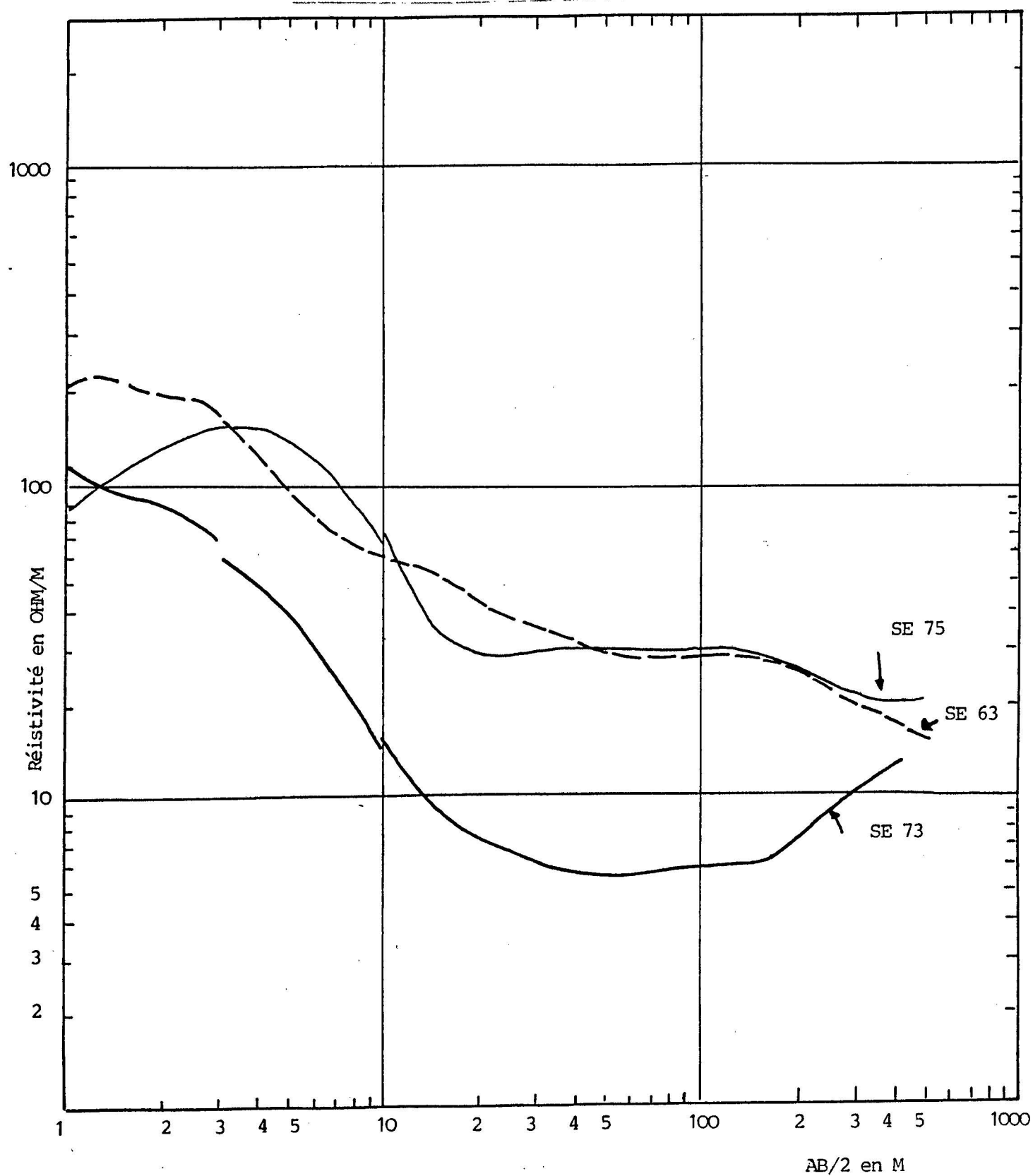


Fig n° 31: Sondages électriques 73-75-63



f) Sondages sismiques réfraction :

Trois profils transversaux à la vallée ont été réalisés à Sidi Amar (amont), Bou Aroua et Bordj Ghobrini (aval) (fig n° 32 et fig n°33).

L'intercalation des couches argileuses dans des formations de graviers et sables rend délicate l'interprétation sismique.

		nature	Résistivité (ohm.m)	Vitesse (m/s)
R E C O U V R E M E N T	S	Alluvions anciennes	200 et plus	600
	E C	Galets-sables-argiles Alluvions actuelles Galets-sables	150-200	800- 1000
H U M I D E	H	Alluvions actuelles	10 - 15	1800
	U M I D E	Argiles Galets-sables graviers	60 -100	
SUBSTRATUM		Flyschs schisteux Albo-aptien Calcaires cénomaniens C4- C5	10 -100 30 en général 50 - 1000	
		Calcaire marneux C5-C3 C8-C7	20 -30	
		Pliocène :marnes bleues et argiles	3 - 4	

Tableau n° 10 :caractéristiques géophysiques des alluvions et du substratum

IV-2.3 Résultats d'ensemble : fig n° 32 et n° 33

Un essai de reconstitution synthétique à partir de la géophysique et des sondages mécaniques montre :

Profil 2 : fig n° 33 a

L'existence d'un réservoir résistant sous un recouvrement alluvial conducteur (40 m) pouvant être très épais (20 m). Cette zone semble correspondre à d'anciens marécages, la butte de Bordj Ghobrini ayant constitué un seuil à une époque ancienne (argile mêlée à l'humus).

Profil 6' : fig n°33 b

L'existence dans la zone intermédiaire au niveau de Bou Aroua probablement de deux réservoirs résistants superposés.

Profil 13: fig n° 33 c

A partir de Bou Aroua, jusqu'à Sidi Amar, la taille des éléments devient plus grossière, mais l'épaisseur totale des alluvions reste limitée à une vingtaine de mètres au maximum.

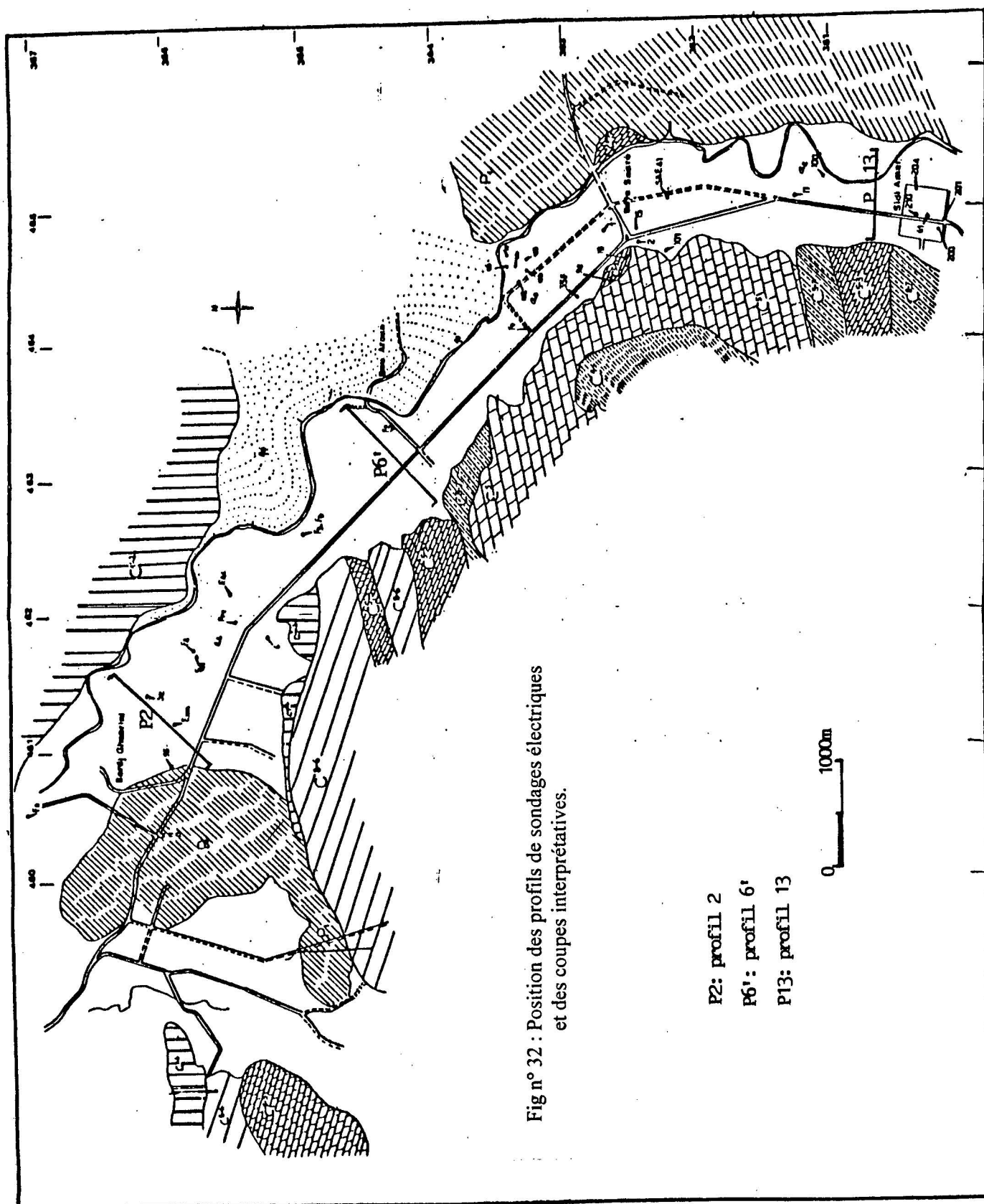
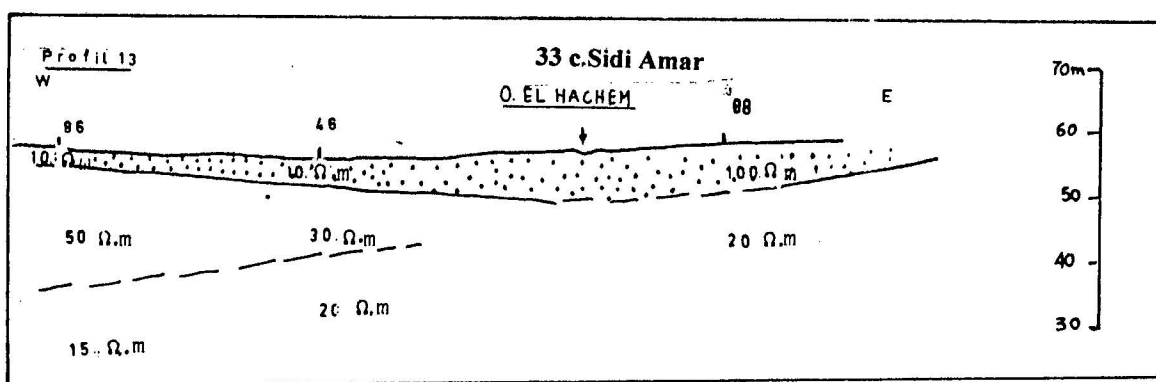
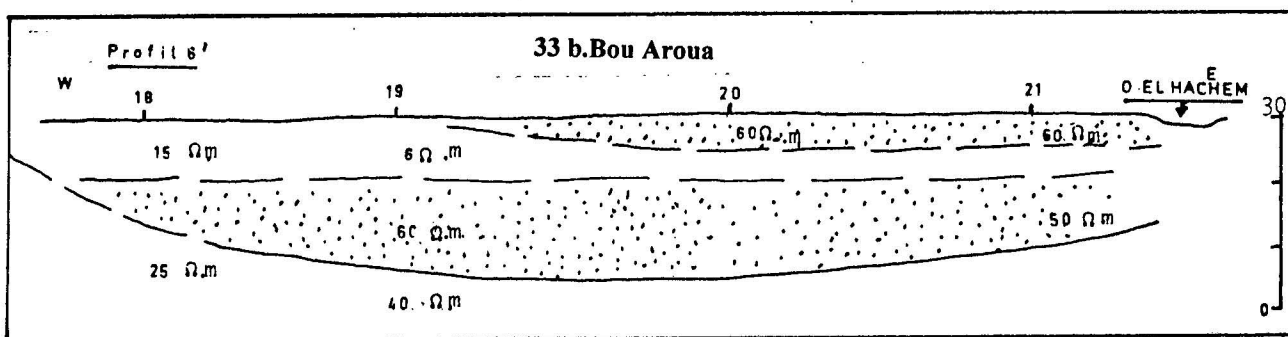
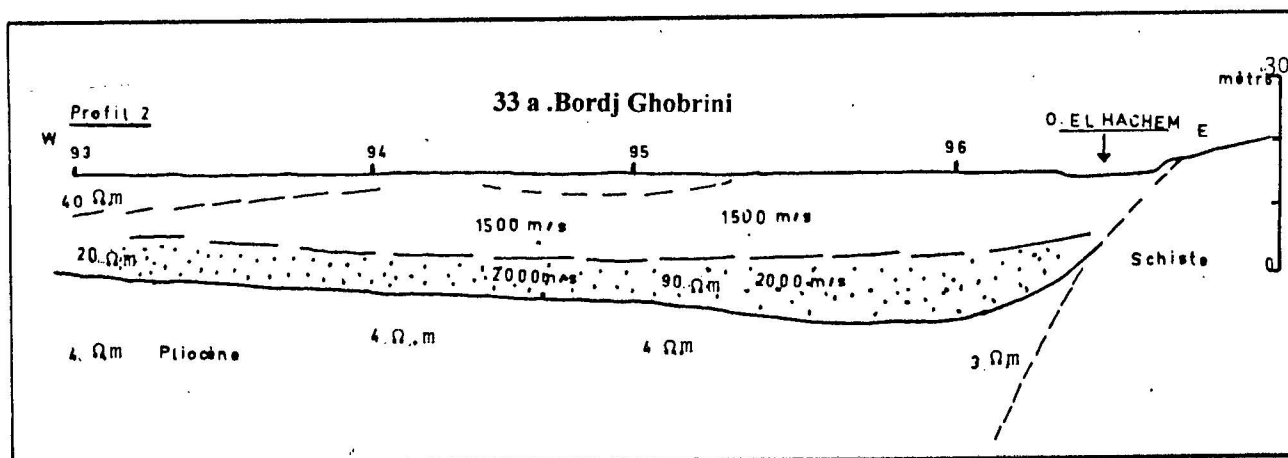


Fig n° 33 : Coupes interprétatives d'après l'étude géophysique et les sondages mécaniques.



m/s : vitesse sismique

$\Omega.m$: résistivité électrique

Echelles : horizontale : 1/5000

verticale : 1/1000

C.G.G. 1966

-  Recouvrement: argiles, limons et sables
-  Réservoir aquifère

IV-2.4 Conclusion

En ce qui concerne les vitesses sismiques du substratum, seules celles des schistes noirs du SE 41 peuvent être données avec précision : 2300 - 2600 m/s. Pour les autres vitesses, du fait du manque d'étalonnage, on sait seulement qu'elles varient entre 2200 et 4200 m/s.

Les échelles de résistivité et des vitesses nous montrent que la différenciation entre alluvions et substratum, n'est possible que par la méthode électrique :

- 1- Lorsque les alluvions sont constituées en majeure partie de sables et graviers résistants (plus de 60 Ohm.m):
- 2- Lorsque le substratum est constitué par des marnes du Pliocène et de flyschs et à la limite par des calcaires marneux du Crétacé, présentant des résistivités inférieures à 30 Ohm.m.

Enfin, les résultats obtenus, bien que peu précis sur le plan quantitatif sont exploitables pour l'implantation de nouveaux forages.

IV-3 - COUPES INTERPRETATIVES :

Sur la base de données de forages, de géophysique, nous pouvons établir quelques coupes géologiques interprétatives :

IV 3.1 Coupe I: fig n° 34

La partie basale des alluvions grossières montre un dépôt de grande extension largement érodé. Seuls deux niveaux ont pu être différenciés :

- un niveau à galets, épais à la base de 5 m environ
- un niveau d'argiles plus ou moins sableuses au-dessus, le tout recouvert par de la terre végétale limoneuse.

Le lit actuel de l'oued se situe sur la bordure Est du chenal et s'est enfoncé jusqu'au niveau galets, peu épais à cet endroit. L'oued érode actuellement une terrasse du niveau 1.

IV-3.2 Coupe II: fig n° 34

La forme de la vallée est conditionnée par la lithologie des roches sédimentaires formant le substratum et les bordures. La bordure Ouest, formée de calcaires, s'est prêtée à une érosion ayant donné des éboulis que l'on retrouve dans les alluvions.

Ces éboulis disparaissent vers la bordure Est où l'on retrouve la même succession que dans

la coupe I, bien que dans la séquence argileuse des éléments plus grossiers s'individualisent provenant de la bordure Ouest calcaire.

Le lit actuel à l'extrémité orientale de la vallée s'est creusé dans les marnes sénoniennes.

IV-3.3 Coupe III: fig n° 34

Le profil transversal de la vallée est ici dissymétrique . Avant les dépôts, le creusement maximum de l'oued a affecté les calcaires suivant le pendage de ces derniers.

La granulométrie des dépôts varie d'Ouest en Est. Les dépôts grossiers dûs à l'érosion des calcaires à l'Ouest passent à un matériel plus fin vers l'Est. Ce niveau se raccorde à l'Est à un niveau grossier plus ancien.

Le lit actuel de l'oued El -Hachem se situe en bordure orientale de la vallée.

IV-3.4 Coupe IV: fig n° 35

Le substratum marneux a permis à l'oued de creuser une vallée dont le profil est symétrique par rapport au centre. Le bord occidental de la vallée est formé d'un petit cône de déjection à gros éléments roulés dans une gangue marno-argileuse, formé par un petit oued drainant l'arête des calcaires Yprésiens. Ce cône se raccorde au terme supérieur grossier des alluvions de l'oued El - Hachem. La bordure orientale de la vallée présente un méplat sur lequel subsistent un niveau I grossier et un niveau II plus argileux.

Le lit actuel de l'oued, sur cette bordure, érode ce niveau I en relation avec le terme récent de la série détritique des alluvions du niveau zéro.

IV-3.5 Coupe V: fig n° 35

Cette coupe se situe à l'aval de la vallée, au niveau de Bordj Ghobrini. La vallée présente ici sa plus grande largeur. Le substratum est formé de marnes d'âges différents : marnes du sénonien sur lesquelles se superpose par contact anormal le flysch.

En discordance, on trouve les marnes bleues plaisanciennes. La coupe passe par la vallée de l'oued affluent Bou Ammoûd dont le large cône de déjection d'éléments détritiques peu ou pas argileux passe latéralement à des dépôts de plus en plus fins vers l'oued El -Hachem . Il se produit jusqu'au niveau de (SE 95) (forage), un grano-classement tant dans le sens horizontal que dans le sens vertical. Vu l'altitude de ce cône de déjection, il y a lieu de penser qu'il se trouve là un niveau de dépôts grossiers plus ancien correspondant à un niveau I de l'oued El - Hachem.

Fig n° 34 : Coupes transversales dans la nappe alluviale de oued El Hachem (I-II-III)

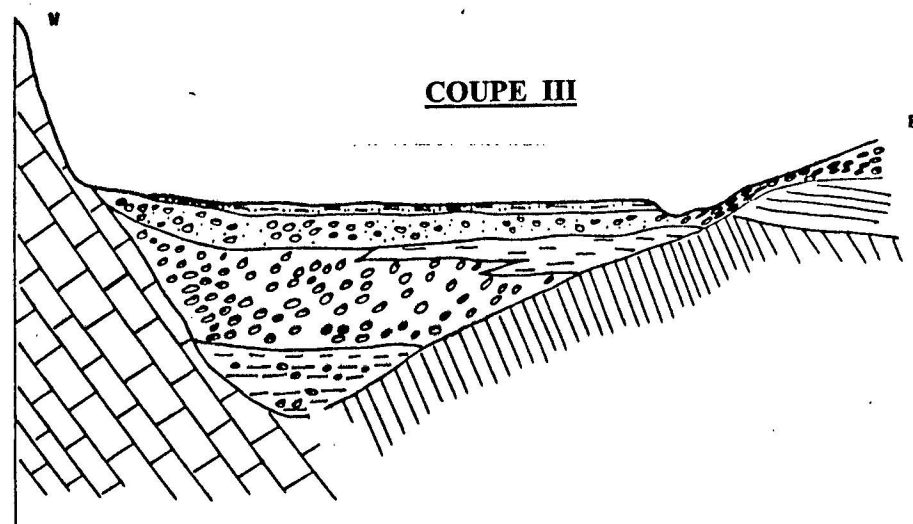
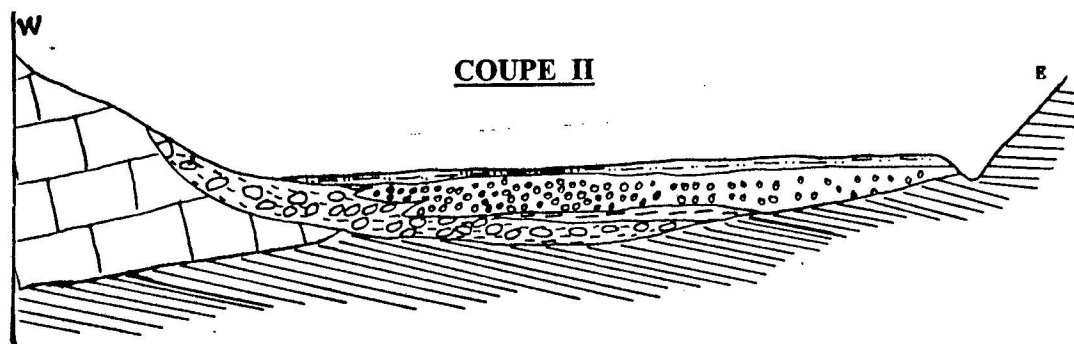
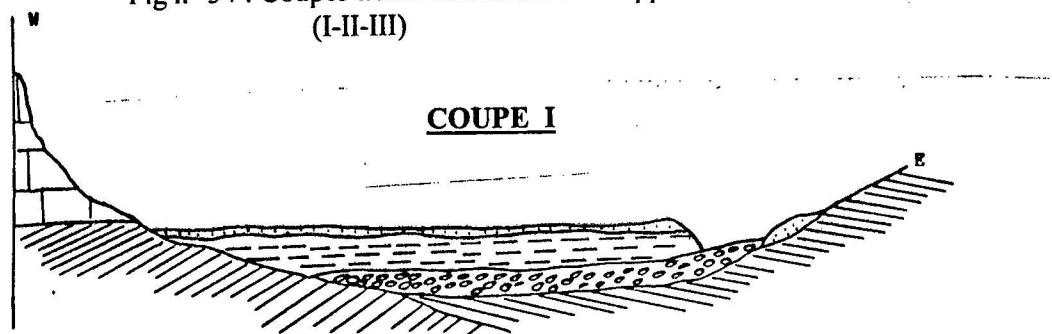
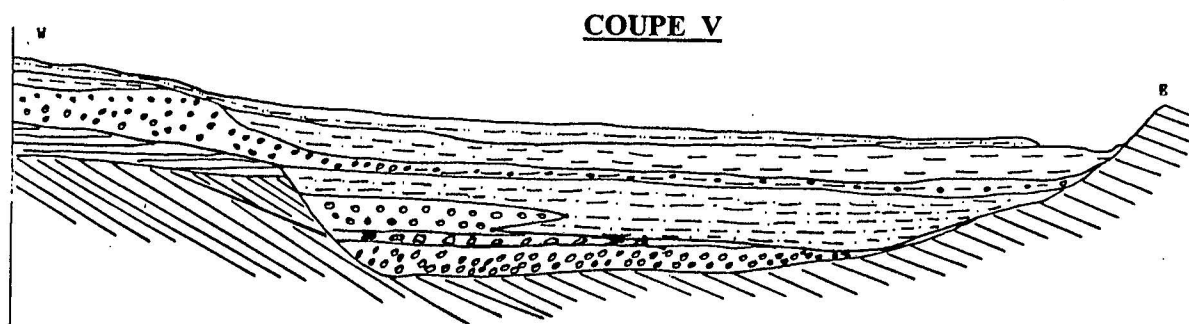
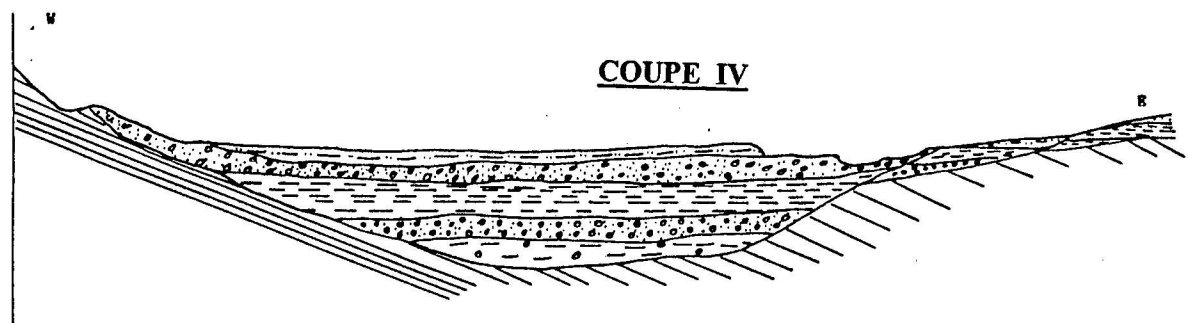


Fig n° 35 : Coupes transversales dans la nappe alluviale de oued El Hachem (IV-V)



Echelles



Légende

- | | |
|--|----------------------|
| | Limons |
| | Graviers et sables |
| | Galets |
| | Argile |
| | Brèches |
| | Argiles
sableuses |
| | Marnes du Sénonien |
| | Calcaires |

IV-4 - LIMITES LATÉRALES DU RESERVOIR ALLUVIAL

Les descriptions lithologiques et structurales des alluvions de l'oued El-Hachem permettent de proposer des relations hydrauliques possibles entre les alluvions et les roches encaissantes.

La bordure orientale de la vallée se comporte à la manière d'une limite étanche, aucun aquifère important n'étant en contact avec les alluvions récentes.

La bordure occidentale, par contre met en relation des terrains potentiellement aquifères avec les alluvions. Il s'agit des calcaires Yprésiens.

Les nombreux oueds drainant la face Est du Djebel Bou Ammoûd ont créé à leurs débouchés des cônes d'éboulis à éléments grossiers calcaires et perméables. Les argiles et les marnes, entraînées plus à l'aval, ont contribué à l'apport d'éléments fins et moins perméables dans la vallée. Ce phénomène assez général tout le long de la limite occidentale a eu pour effet de repousser le lit de l'oued El-Hachem vers la bordure orientale ou centrale.

Les cônes d'éboulis au pied du Djebel sont certainement aquifères et directement alimentés par les eaux de pluie. Ils contribuent à leur tour à l'alimentation des alluvions de l'oued El - Hachem .

IV-5 - ESSAIS DE DATATION DES TERRAINS QUATÉRNAIRES

Les déformations tectoniques subies par ces terrains depuis le Villafranchien jusqu' après le dépôt des terrains du niveau IV ont eu pour effet le gauchissement des surfaces d'aplanissement correspondant aux dépôts des niveaux V et IV.

Le relief ainsi rajeuni et la période froide de creusement faisant suite aux dépôts du niveau IV ont favorisé, une érosion intense emmenant des alluvions vers le sud dans la vallée de l'oued El Hachem.

Le dépôt de ces sédiments a repoussé le lit de l'oued El -Hachem contre les calcaires du Djebel Tabarrând, la dissymétrie du substratum de la vallée en témoigne. Actuellement un phénomène d'alluvionnement provenant du Djebel Tabarrând, prédomine, provoquant un déplacement inverse du lit de l'oued qui érode à son tour les niveaux antérieurs et leur substratum marneux.

Sur la base de l'altimétrie, L. GLANGEAUD (1932) [25] [26] décrit en zone côtière trois terrasses marines situées à + 18 m, + 50 m, + 100 m.

Il attribue à la terrasse de + 100 m, l'âge Sicilien qui correspondrait au niveau fluviatil (V) et l'ensemble à une partie du niveau IV.

La terrasse marine de + 50m décrite par L. GLANGEAUD semble correspondre au niveau continental qu'on a nommé niveau III correspondant à d'importants épandages d'alluvions anciens. M. ZENNER dans sa classification, donne aux dépôts marins situés à cette altitude un âge tyrrhénien.

Les niveaux I et II peuvent se raccorder aux niveaux marins de L. GLANGEAUD correspondant à la terrasse de + 18 m et au dessus, selon M. ZENNER, il s'agirait de niveaux d'âge Monastérien.

M. RAYNAL, dans son étude du Quaternaire du bassin de la Moulaya (Maroc), a trouvé aussi cinq niveaux qu'il a nommés du plus récent au plus ancien : Rharbien, Soltanien, Tensiftien, Amirien, Salétien et Moulouyen. L'analogie de chacun de ces niveaux avec ceux de Oued El-Hachem permettent de retenir les mêmes noms :

Altitudes	Oued el hachem	Moulaya	Terrasses marines
3,5 m	Niveau 0	Rharbien	Plage actuelle
10 à 15 m	Niveau I	Soltanien	Monastérien
18 à 30m	Niveau II	Tensiftien	
30 à 70m	Niveau III	Amirien	Tyrrhénien
120 à 130 m	Niveau IV	Salétien	
130 à 140 m	Niveau V	Moulouyen	Sicilien

Tableau n° 11 : Datation des différents niveaux

CHAPITRE CINQ

ETUDE HYDRODYNAMIQUE

CHAPITRE CINQ ETUDE HYDRODYNAMIQUE

V-1- INTRODUCTION

L' aquifère de la vallée de Oued El -Hachem est d'âge plio-quaternaire. La nappe est tantôt libre, tantôt semi - captive, sous un recouvrement d'argiles ou de marnes , d'épaisseur variable , ne dépassant jamais 20 m.

Le niveau statique moyen de la nappe en régime libre est situé à une profondeur de 5 m en aval et de 20 m en amont. Oued El -Hachem contribue à l'alimentation de la nappe.

V-2- INVENTAIRE DES POINTS D'EAU: Fig n°36

Les documents existants jusqu'au mois de Janvier 1985 ne mentionnaient pas l'existence de nouveaux points d'eau entre 1978 et 1985 et ne permettaient pas de faire un état des puits en fonctionnement. Nous avons procédé à un inventaire entre Décembre 1984, Janvier et Février 1985.

Il n'existe aucun document de suivi périodique de mesures de niveau d'eau depuis 1970.

V-3- UTILISATION DES OUVRAGES DE CAPTAGE

On distingue plusieurs types d'ouvrages de captage : puits, sources, forages. Leur utilisation concerne :

- l'alimentation en eau potable des communes de Cherrhell et de Sidi-Amar,
- l'alimentation des propriétés individuelles,
- l'irrigation des terres des domaines autogérés ou de propriétés privées.

V-4- CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES DE CAPTAGE

V-4.1. Les puits domestiques

La majorité des ouvrages de captage sont constitués de puits domestiques permettant l'alimentation en eau potable de quelques groupes de personnes. Ces puits sont généralement construits à la main ,de diamètre variable (0,50 m à 3 m), dont certains sont équipés en moto - pompes, le prélèvement se fait au moyen d'un seau muni d'une corde.

V-4.2. Les forages

Huit forages équipés en stations de pompage sont en fonctionnement actuellement, dont un sert à l'alimentation en eau de la biscuiterie de Cherchell. Les autres sont utilisés pour l'alimentation en eau de la ville de Cherchell et de Sidi-Amar. L'alimentation se fait à partir de châteaux d'eau.

V-5- INTERPRETATION DES CARTES PIEZOMETRIQUES

Aucun des points d'eau n'était topographié. De ce fait nous avons été amenés à niveler environ 26 points les plus représentatifs et qui nous permettaient de dresser les cartes piézométriques.

Nous avons réalisé cinq levés piézométriques en 1985 (Avril, Octobre et Novembre), en 1986 (Janvier et Avril) .

L'étude piézométrique que nous avons réalisée sur la base de l'inventaire des ouvrages captants de la nappe, nous a permis de dresser trois cartes piézométriques (Avril 1985- fig n°37, Novembre 1985-fig n°38 et Avril 1986 -fig n°39) sur un cycle hydrologique annuel.

De ces cartes, ressortent les faits suivants :

- les eaux sont mises en charges au Sud de la région,
- la circulation générale des eaux se fait du Sud vers le Nord
- existence d'une zone d'alimentation à partir du Sud -Ouest (Djebel Boukourdane),
- forte zone de pompage en aval de la plaine,
- aux mois de Novembre 1985, période de basses eaux, la géométrie des isopièzes reste identique à celle déjà acquise en Avril 1985, mais on note une diminution de la charge piézométrique au niveau de l'ensemble des points d'eau. Ainsi, les isopièzes se trouvent décalées vers le Sud.

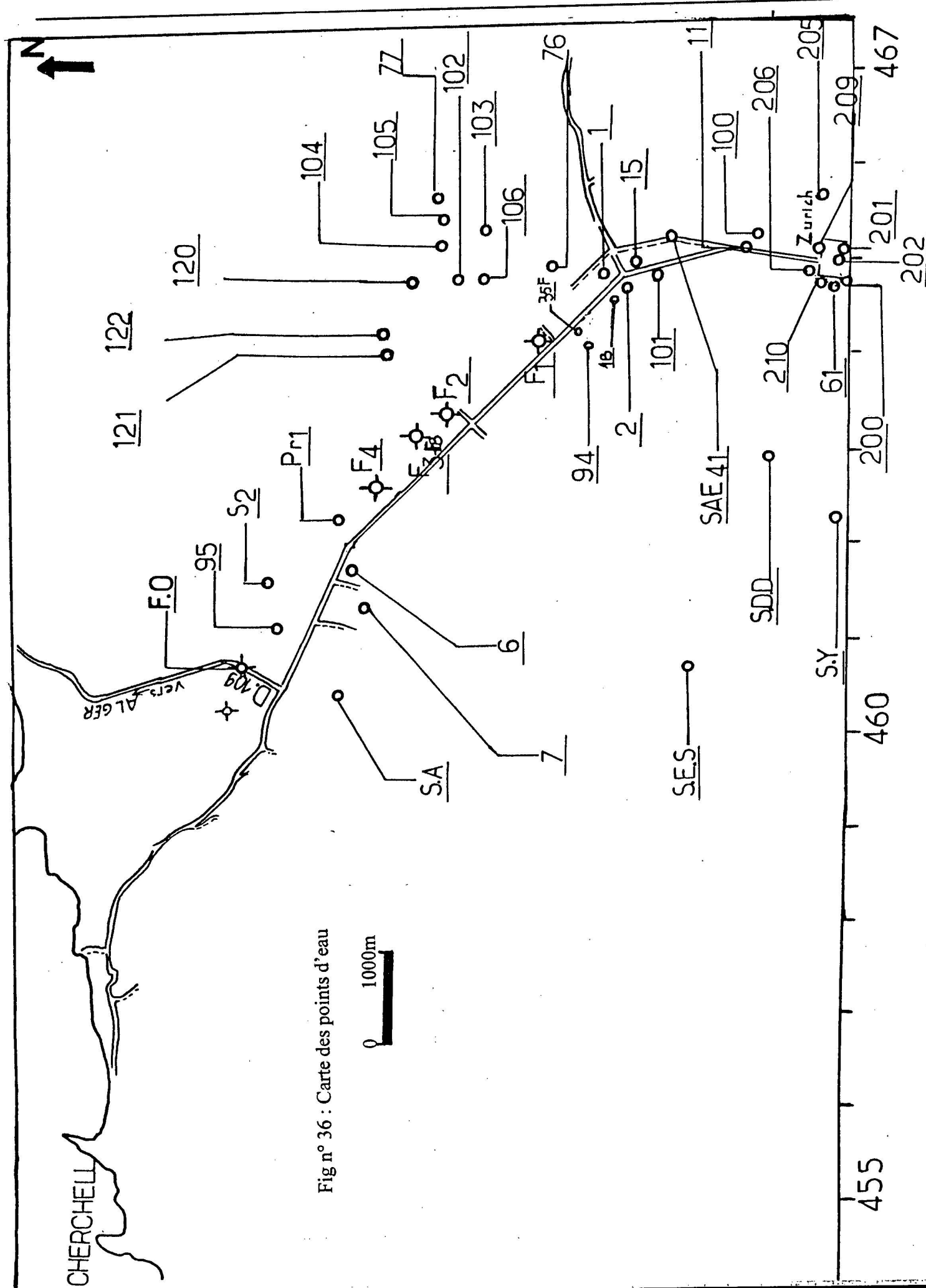


Fig n° 36 : Carte des points d'eau

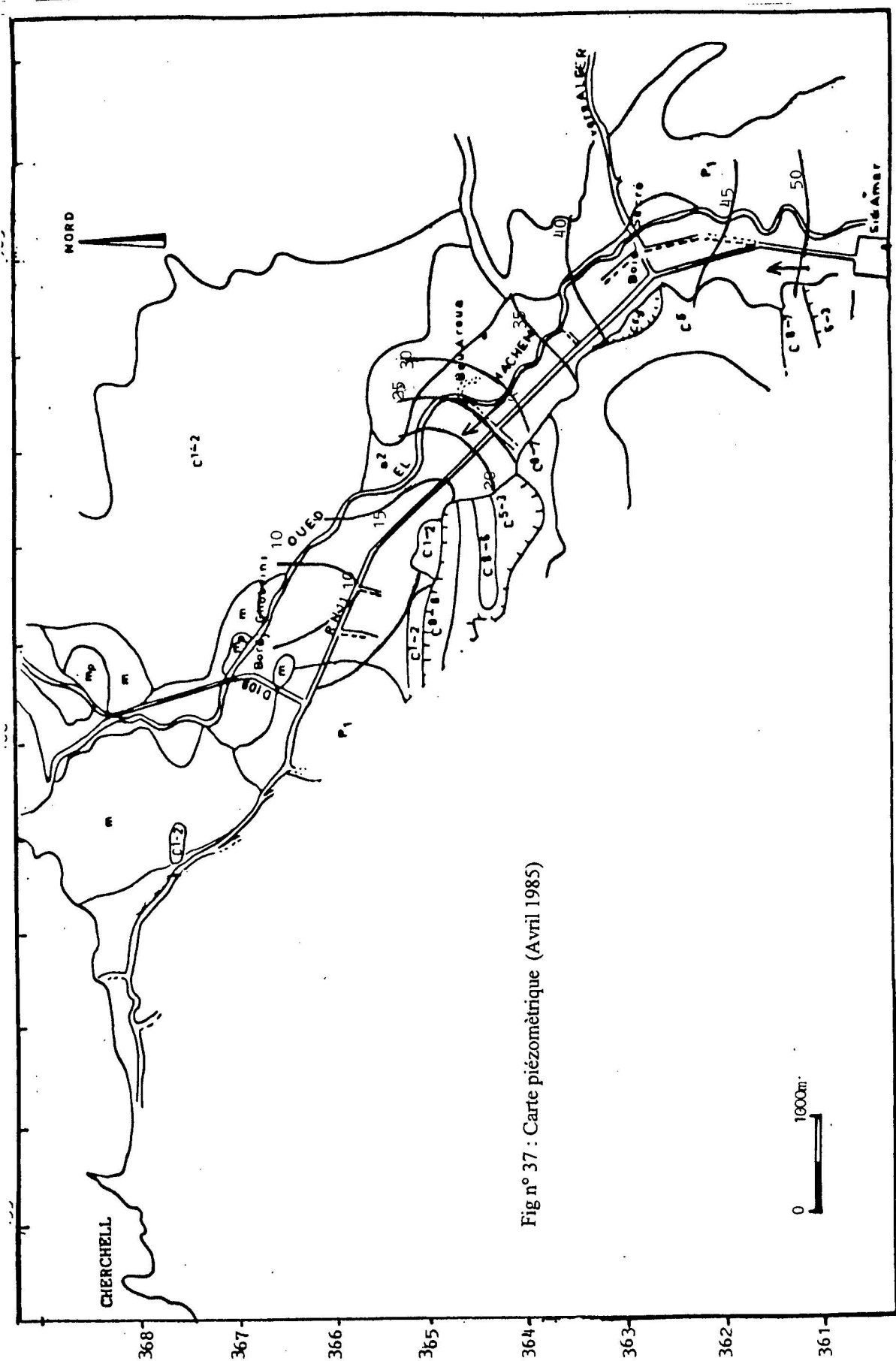


Fig n° 37 : Carte piézométrique (Avril 1985)

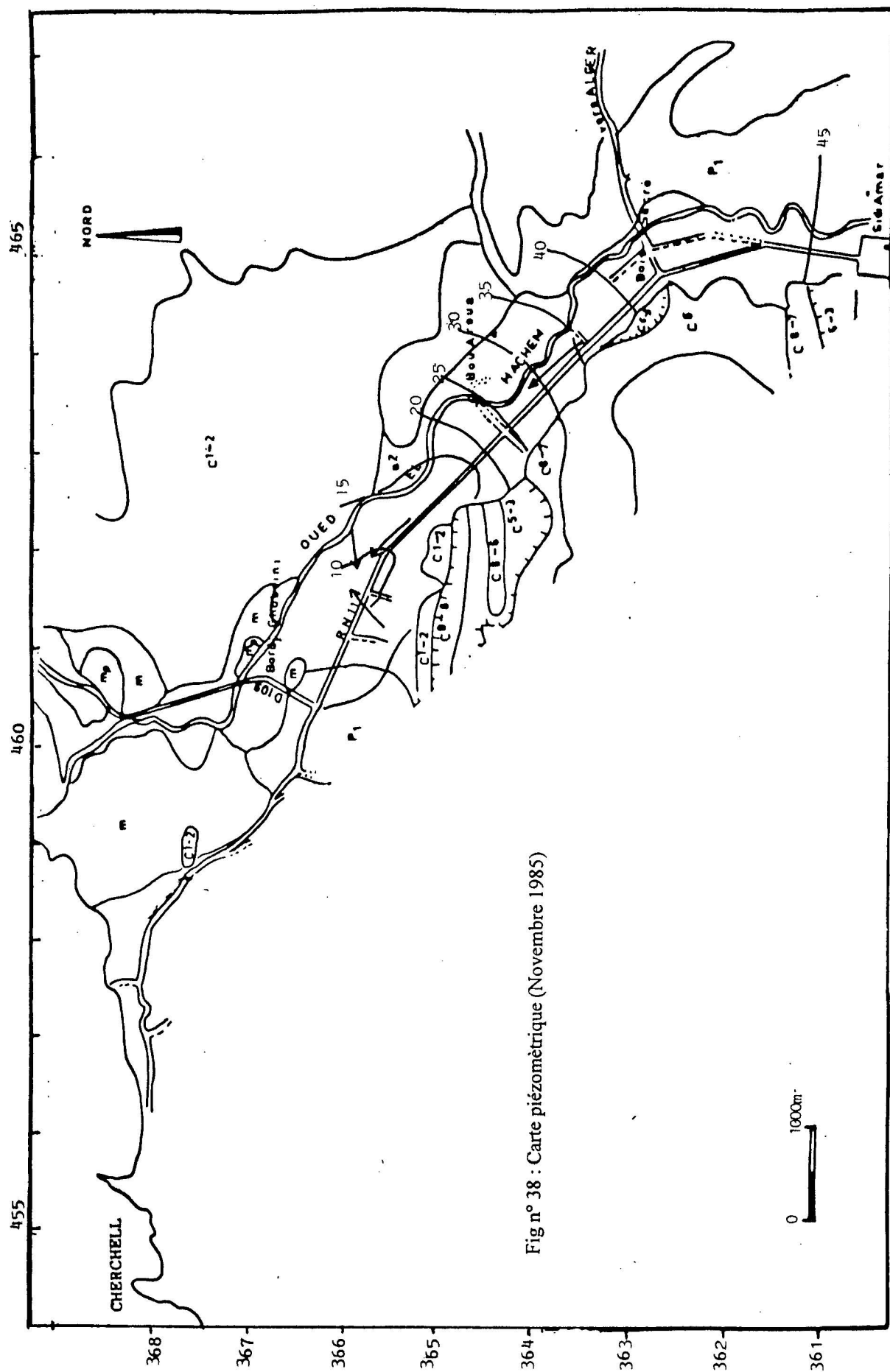


Fig n° 38 : Carte piézométrique (Novembre 1985)



V-6- INTERPRETATIONS DES ESSAIS DE POMPAGE EN VUE DU CALCUL DE LA TRANSMISSIVITE ET DU COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT

V-6.1. But des essais de pompage :

Le pompage d'essai est l'un des moyens pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques d'un aquifère (transmissivité et coefficient d'emmagasinement).

Les expérimentations consistent à mesurer l'accroissement des rabattements du niveau piézométrique en fonction du temps de pompage et leur remontée après l'arrêt de l'opération. Les interprétations sont effectuées par résolution graphique des expressions d'hydrodynamique souterraine en régime transitoire.

V-6.2. Détermination de la transmissivité (T) et du coefficient d'emmagasinement (S)

a) Définition :

Transmissivité (T) : c'est le produit du coefficient de perméabilité moyen (K) par l'épaisseur totale de l'aquifère (b).

$$T = K \times b.$$

La transmissivité est donc égale au débit traversant une section normale à l'écoulement, de largeur unitaire prise sur toute l'épaisseur de l'aquifère et sous un gradient hydraulique égal à l'unité le paramètre caractérise l'aptitude de la nappe à transmettre l'eau. Il a pour dimension : $L^2 T^{-1}$

Le coefficient d'emmagasinement (S) peut être défini comme le volume d'eau pouvant être libéré ou emmagasiné par un prisme vertical du matériau aquifère de section égale à l'unité, à la suite d'une modification unitaire du niveau piézométrique. C'est un coefficient sans dimension. Le coefficient d'emmagasinement des nappes captives (Storage coefficient) dépend de la compressibilité, des roches et de l'eau, sa valeur est faible, de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-6} .

Le coefficient d'emmagasinement des nappes libres correspond pratiquement au volume d'eau gravitaire, due à la porosité efficace de la roche (l'effet de compressibilité du matériau aquifère et de l'eau étant négligeables dans les nappes libres) de 10 à 20 %.

L'existence d'éléments fins dans la matrice sableuse, peut cependant modifier cet ordre de grandeur, car les pores fins mettent en action des forces de rétention supérieures à

l'action gravitaire.

b) Méthodes d'interprétation :

- Méthode d'approximation logarithmique de Jacob :

La méthode de Jacob (1946) est une approximation logarithmique de Theis. La fonction exponentielle intégrale peut en effet être développée sous forme d'un développement en série alternée :

$$W(u) = -0,5772 - \log u + \sum_{n=1}^{\infty} \left[(-1)^{n+1} \frac{u^n}{n \cdot n!} \right]$$

avec $u = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}$

Si t est grand, u devient négligeable. Alors :

$$W(u) = -0,5772 - \log u$$

Avec -0,5772 : constante d'Euler

Le rabattement peut alors s'écrire sous la forme asymptotique :

Après passage au logarithme décimal, cette équation s'écrit :

$$S = 2,3 \cdot \frac{Q}{4\pi \cdot t} \cdot \log \frac{2,25 \cdot T \cdot t}{r^2 S}$$

Avec :

s = rabattement en mètres,

T = transmissivité en m^2/s ,

Q = débit en m^3/s ,

t = temps de pompage en seconde,

r = distance du piézomètre à l'axe du point de pompage en mètres,

S = coefficient d'emmagasinement

Cette équation représentant le rabattement à une distance du puits de pompage n'est valable que pour des temps élevés ce qui entraîne par exemple une erreur de 5 % si $1/u \geq 10$ (utilisé dans notre cas).

V-6.3. Mode opératoire :

La méthode de Jacob consiste à reporter sur un graphique semi-logarithmique, le rabattement s en fonction du temps t en un point donné. Lorsque l'approximation logarithmique est

applicable, les points s'alignent sur une droite.

La pente C de la droite obtenue, donné par l'accroissement du rabattement pour un cycle logarithmique permet en connaissant le débit de pompage, de calculer la transmissivité :

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

Nous pouvons calculer aussi la transmissivité à partir de la courbe de remontée. Il faut porter sur papier semi-logarithmique en abscisse les logarithmes t / t' et en ordonnées pour un débit constant, les rabattements résiduels.

Avec t : le temps écoulé depuis le début du pompage
 t' : le temps écoulé depuis l'arrêt du pompage

V-6.4. Applications et résultats

Nous avons choisi comme exemple numérique les résultats des descentes dans les forages:

- courbe de descente forage F4R fig n° 40
- courbe de descente forage F4 fig n° 41
- courbe de descente forage F3-FB fig n° 42
- courbe de descente forage F2 fig n° 43
- courbe de descente forage F1 fig n° 44

Forage	Transmissivité m^2 / s	Epaisseur m	Perméabilité m/s	Débit l/s	t_0 seconde
F4R	$5.12 \cdot 10^{-3}$	14	$3.65 \cdot 10^{-4}$	25	152
F4	$8 \cdot 10^{-4}$	10	$10.8 \cdot 10^{-4}$	25	152
F3-FB	$6.5 \cdot 10^{-4}$	10	$0.65 \cdot 10^{-4}$	10	152
F2	$7.58 \cdot 10^{-4}$	9	$0.84 \cdot 10^{-4}$	12	152
F1	$4.35 \cdot 10^{-3}$	10	$4.35 \cdot 10^{-4}$	23.8	152

Tableau n° 12 : Résultats des essais de pompage

La solution numérique de l'expression de Jacob ne concerne que le premier segment de droite car par la suite, nous obtenons un palier. Ce palier montre que nous sommes dans une nappe semi-captive et que l'aquifère est limité latéralement par une limite à flux imposé (limite d'alimentation). Cette dernière revient dans toutes les courbes et tous les forages. L'extension

latérale limitée de la nappe explique le fait que la ligne piézométrique atteint la limite à charge imposée très rapidement. Le corollaire de ceci étant que très rapidement le régime transitoire de l'écoulement est atteint et que l'exploitation se fait sur les réserves propres d'emmagasinement.

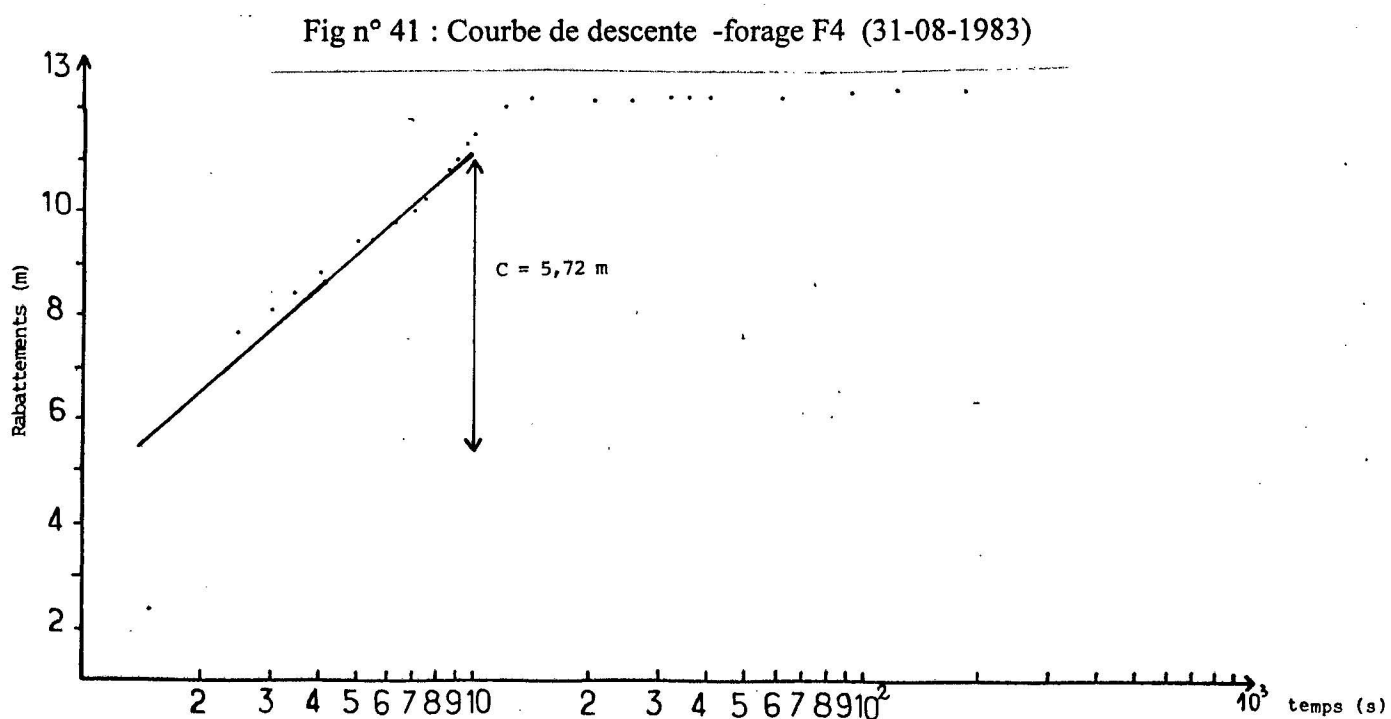
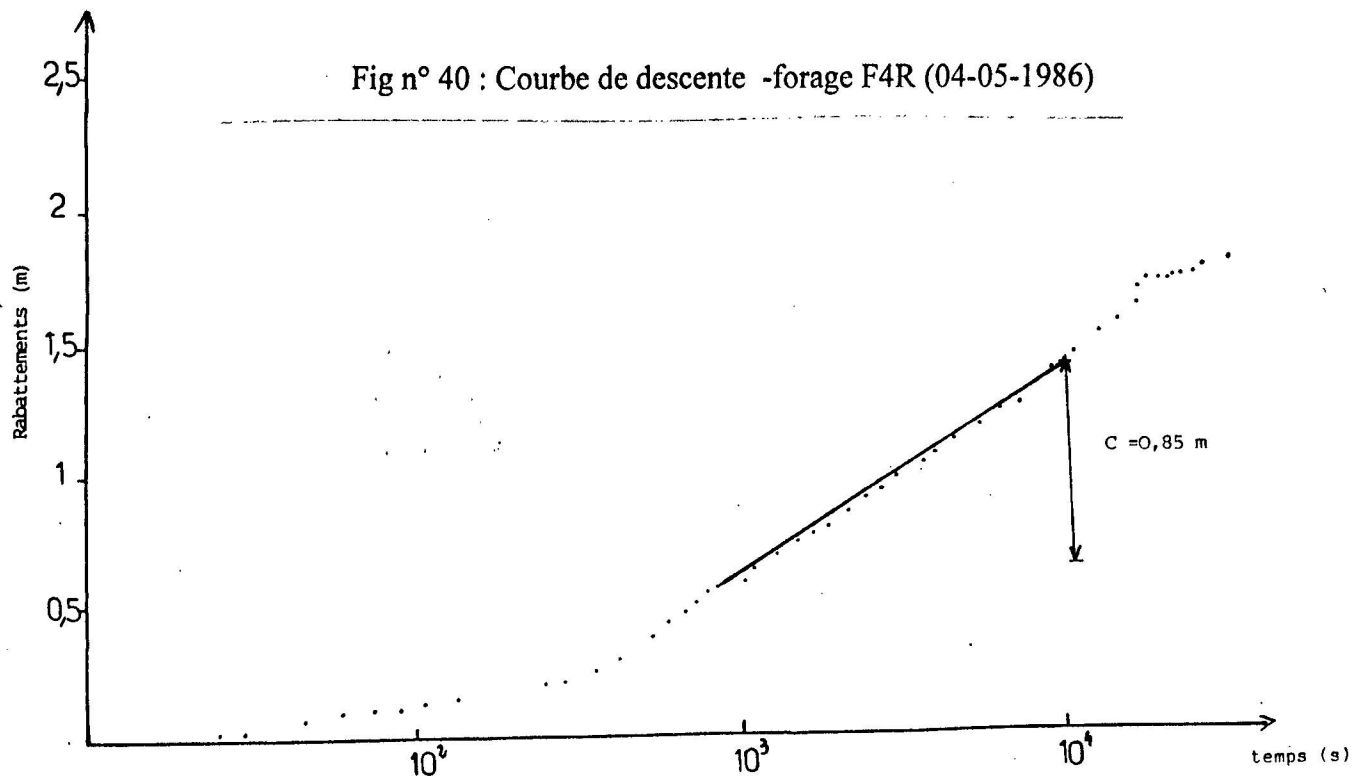


Fig n° 42 : Courbe de descente -forage F3-FB (11-08-1983)

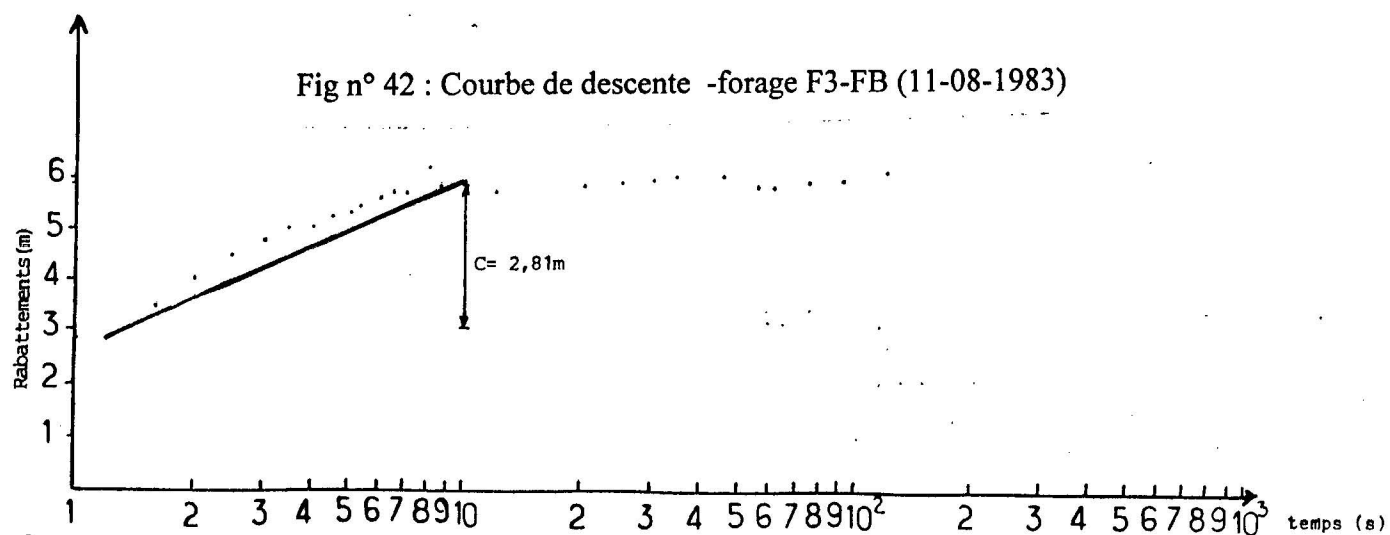


Fig n° 43 : Courbe de descente -forage F2 (31-07-1983)

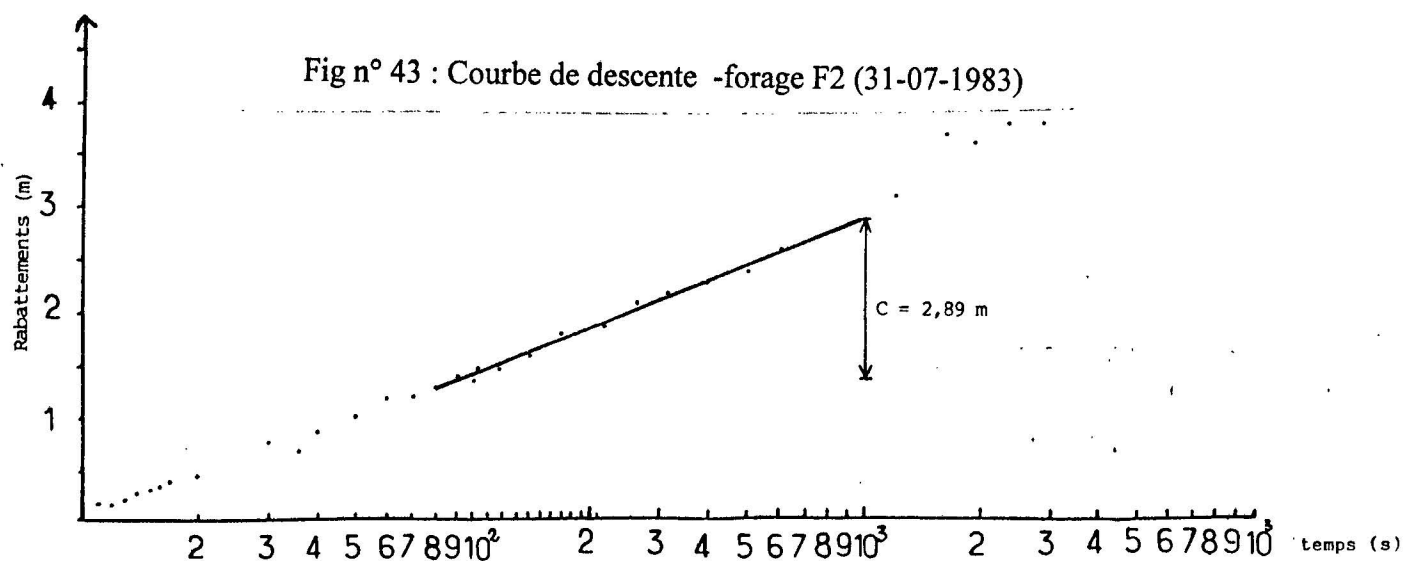
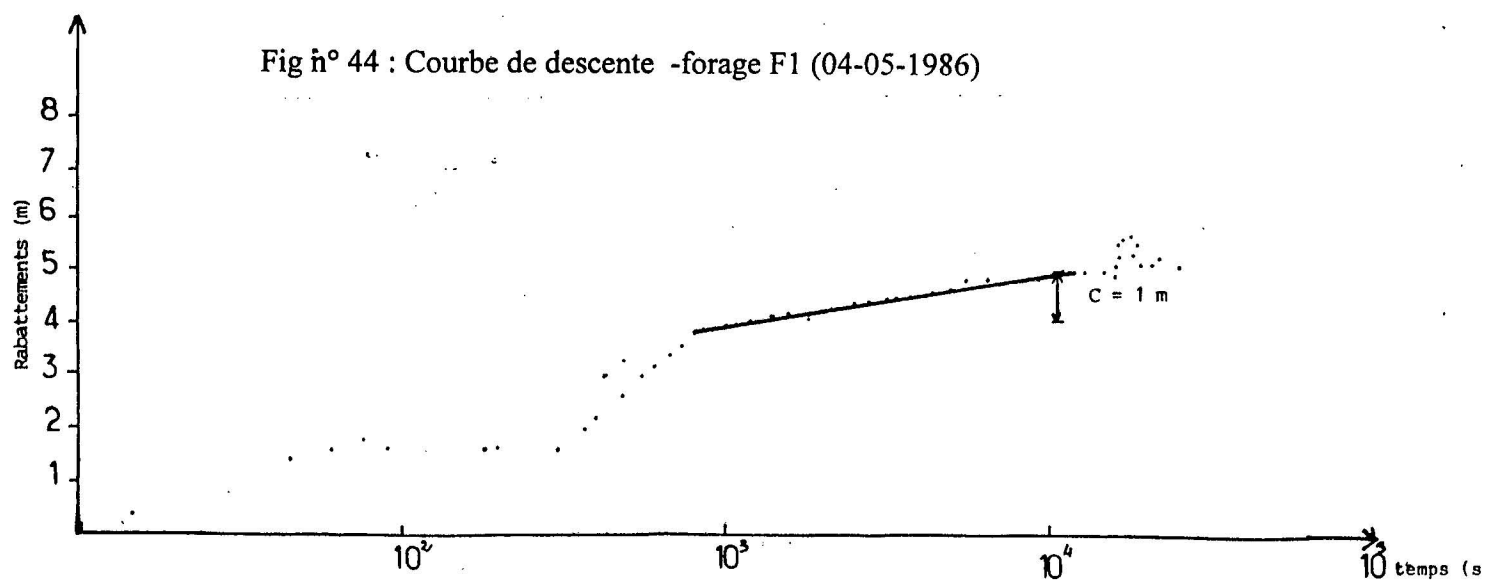


Fig n° 44 : Courbe de descente -forage F1 (04-05-1986)



V-7- IMPACT DE LA MISE EN SERVICE DU BARRAGE DE BOUKOURDANE SUR LA NAPPE ALLUVIALE DE OUED EL HACHEM

V-7-1 Evolution de la piézométrie :

Avant la mise en eau du barrage en 1992, la nappe alluviale a toujours bénéficié d'une recharge naturelle par le biais des eaux de ruissellement issues des précipitations bien que ces dernières années on assiste à une période de sécheresse.

En effet, la baisse sensible de la pluviométrie ces deux dernières décennies associée au remplissage du barrage, ont contribué à l'augmentation des volumes soutirés de la nappe, entraînant une baisse spectaculaire des niveaux piézométriques.

Ainsi pour préserver la nappe et à partir de l'été 1997, les services de l'hydraulique ont opté pour l'arrêt immédiat de la majorité des forages, l'alimentation en eau potable de la population devant être assurée par le barrage.

L'étude de faisabilité du barrage (rapport Bonard Gardel n°= 2086 -45 mars 1983) devait prévoir après la mise en eau du barrage, des lâchers, afin d'assurer un débit minimum (débit écologique) permettant de maintenir les niveaux piézométriques.

Le premier lâcher a été effectué le 27 Avril 1998; ce lâcher devait permettre l'irrigation de quelques terres agricoles avoisinantes et la réalimentation artificielle de la nappe. A cette date, la variation de la profondeur des niveaux piézométriques oscillait entre 7,20 m et 18,86 m bien qu'on soit en période de hautes eaux.

ANNEE	1966	1969	1972	1996	1998
PROFONDEUR DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE	0,44m / 9,78m	0,80m / 9,85m	1,08m / 9,92m	6m / 19m	7,20m / 18,86m

Tableau n°13 : Variation de la profondeur du niveau piézométrique entre 1966 et 1998

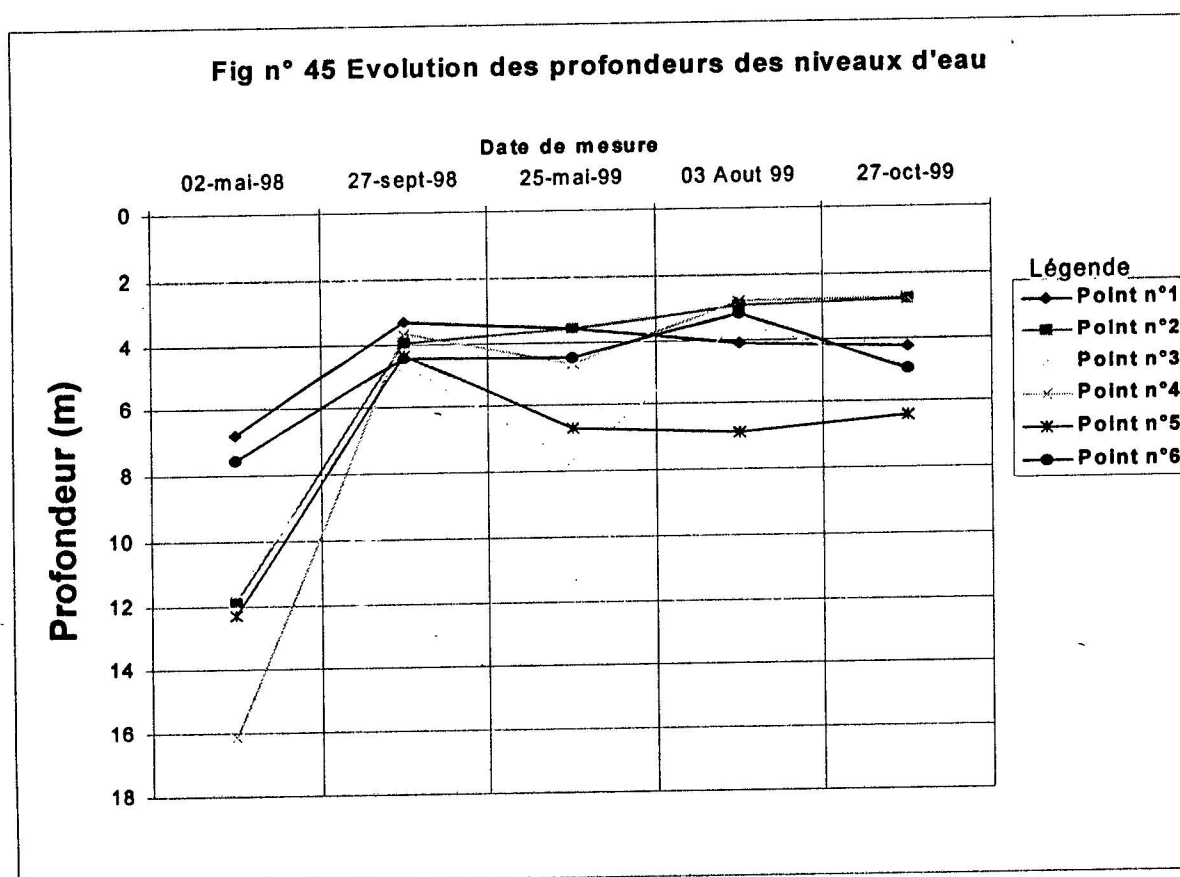
Comme le montre ce tableau, la baisse des niveaux aussi alarmante, trouve sa simple explication dans le fait que les conditions naturelles d'alimentation de la nappe ont été complètement modifiées. L'oued qui alimentait la nappe est devenu sec tout au long de l'année,

toutes les eaux qui devaient ruisseller à partir de Fedjana et Boukadir en amont de Oued El Hachem se trouvaient stockées au niveau du barrage avec toutes les conséquences négatives qu' on peut imaginer.

Ainsi immédiatement après ces premiers lâchers, on pouvait remarquer à travers quelques mesures effectuées au niveau des points d'eau (c.f fig n° 45 et n° 46) que la profondeur des niveaux piézométriques commençait à s'atténuer comme le montre le tableau n°14 .

Date	2 mai 1998	27 sept 1998	25 mai 99	3 août 1999	27 octobre 1999
Point d'eau					
1	6,82	3,30	3,60	4,10	4,25
2	11,87	3,95	3,60	2,90	2,78
3	11,60	4,70	7,70	3,50	4,95
4	16,13	3,70	4,70	2,80	2,73
5	12,30	4,35	6,70	6,88	6,40
6	7,54	4,45	4,50	3,15	5,00

Tableau n°14 : Evolution de la profondeur (en mètre) des niveaux piézométriques après le 27 avril 1998



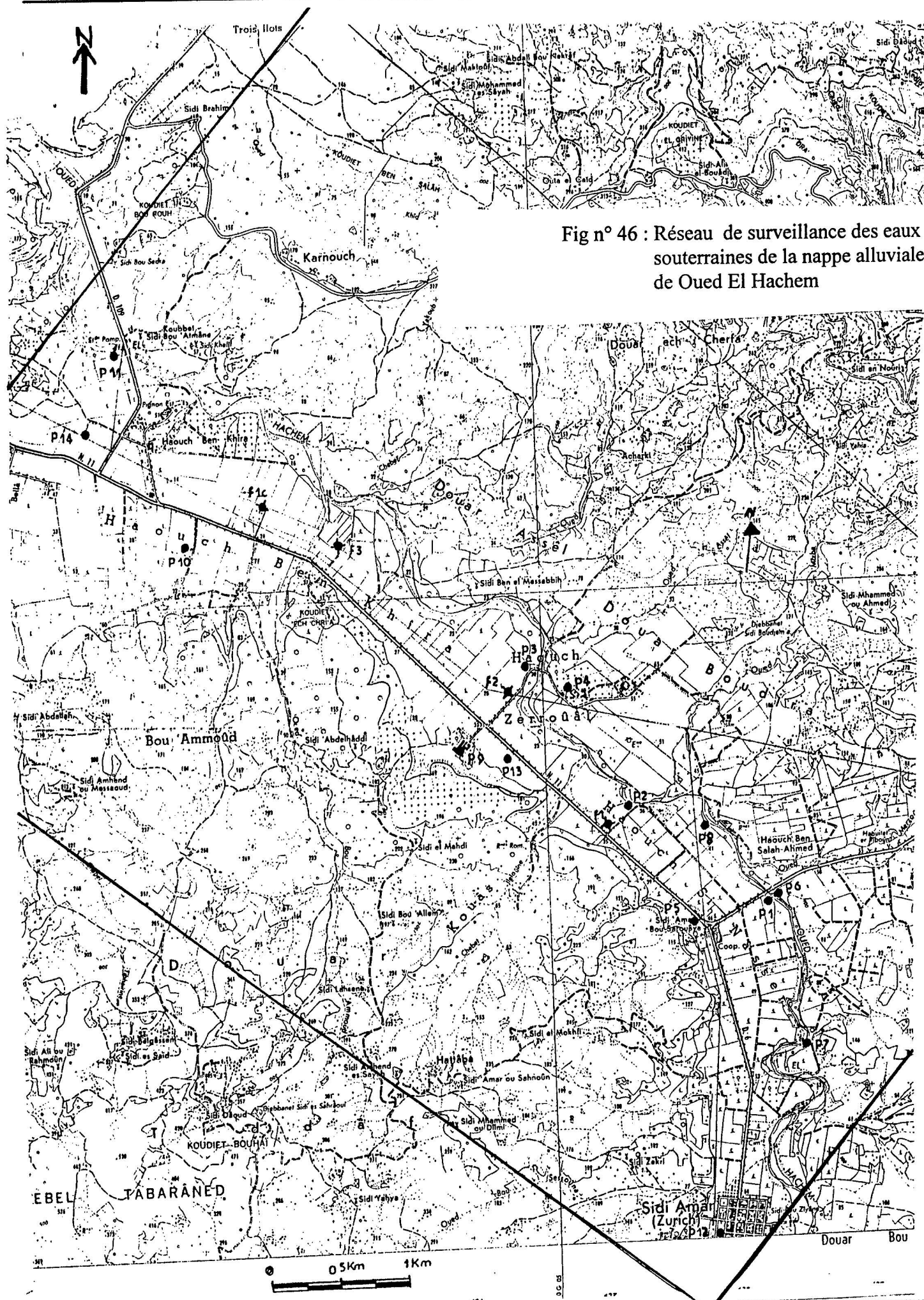


Fig n° 46 : Réseau de surveillance des eaux souterraines de la nappe alluviale de Oued El Hachem

V-7-2 Volume lâché et volume infiltré d'après les jaugeages différentiels réalisés le 27**Avril 1998****V-7-2-1 Volume lâché du barrage :**

La côte du barrage à l'heure d'ouverture de la vanne (8h00) était à 100,25 m, ce qui correspond à un volume de 27.798.000 m³.

La côte du barrage à l'heure de sa fermeture (15h10min) était à 100,05 m, ce qui correspond à un volume de 27.317.000 m³.

D'où le volume lâché est égal à 481.000 m³.

V-7-2-2 Volume infiltré dans la nappe :

Lieu du jaugeage	Heure	Q(m ³ /s)	Volume infiltré (m ³)
Pont RN11	11h10min	11,5	16.300
Pont RN11	13h50min	25,5	
Bordj Ghobrini	14h40min	22,5	36.000

Le volume total infiltré est égale à 52.300 m³, soit une infiltration de 10,87% du volume lâché; un taux d'infiltration d'après les levés piézométriques est très appréciable puisqu'il aura permis une remontée de la surface piézométrique dans les endroits les plus défavorables de la nappe (puits à sec).

V-7-3 Conclusion :

Il apparait indispensable de maintenir un débit écologique permettant l'alimentation de la nappe (Q moyen = 0,548 m³/s) entre Mars et Juillet.

Il serait judicieux de procéder à la réalisation de seuils ou ralentisseurs, aménagés à l'intérieur de l'oued et dans les endroits les plus perméables permettant une réalimentation de la nappe et évitant ainsi l'assèchement des puits.

CHAPITRE SIX

ESSAI D'ELABORATION D'UN MODELE MATHEMATIQUE TRANSITOIRE DE LA NAPPE ALLUVIALE DE OUED EL HACHEM

CHAPITRE SIX

ESSAI D'ELABORATION D'UN MODELE MATHEMATIQUE TRANSITOIRE DE LA NAPPE ALLUVIALE DE OUED EL HACHEM



VI-I - INTRODUCTION

L'hydrogéologie de la plaine alluviale de Oued El Hachem fut rendue accessible après la première étude de J. MANCET, 1972. Cette étude s'orientait vers la détermination des zones favorables au renforcement des captages, destinés à l'alimentation en eau potable de la région et à l'irrigation des terres agricoles.

A travers l'étude hydrogéologique de cette plaine, nous nous sommes intéressés à la modélisation mathématique des écoulements souterrains de la nappe alluviale. Il faut rappeler, ici les nombreuses difficultés de mise en oeuvre relatives à la piézométrie ancienne dues en majeure partie aux informations et données de débit surestimées ou parfois totalement inexistantes.

VI-2- BASES PHYSIQUES EN MODELISATION

Nous avons opté pour la démarche de G. de MARSILY (1981) [14] [11] [12] [13] [18] [37] [45], qui part des deux équations :

- l'équation de DARCY,
- la loi de conservation des masses qui combinées conduisent à

$$\frac{\delta}{\delta_x} \left[\frac{T \delta_h}{dx} \right] + \frac{\delta}{\delta_y} \left[\frac{T \delta_h}{dy} \delta \right] = \pm W$$

où : W : terme d'entrée ou de sortie d'eau du domaine étudié (LT-1)

$$T = K(x,y) * d(x,y,t)$$

K (x,y) : coefficient de perméabilité

d (x,y,t) : épaisseur de l'aquifère

L'établissement de l'équation du bilan hydrologique nécessite de séparer l'aquifère libre de l'aquifère semi -captif :

- Aquifère libre

Le terme d'entrée ou de sortie W s'exprimera par :

$$W = R(x,y,t) - P(x,y,t) - S_y(x,y) \cdot \delta \cdot h / \delta \cdot t$$

où R : recharge nette ou flux percolant par l'intermédiaire d'un réseau d'irrigation (LT⁻¹)

P : pompage ou injection (LT⁻¹) par surface nodale

Sy: capacité de libre écoulement

h : charge hydraulique dans l'aquifère (L)

t : temps (T)

- Aquifère semi-captif

Il est nécessaire de prendre en considération l'épaisseur " d' " et le coefficient de perméabilité " K' " du semi-captif à travers lequel s'effectue l'écoulement avec $d' < d$ et $K' < K$.

Deux bilans hydrologiques seront alors établis, le premier pour l'aquifère principal, le second pour l'aquifère supérieur ou l'aquitard .

* bilan de l'aquifère principal

$$W = -P \cdot S \cdot \frac{\delta h}{\delta t} + K'/d' (h' - h)$$

h' représente la charge hydraulique du semi -perméable ou aquitard

* bilan de l'aquitard

$$R - S' (\delta h / \delta t) = K'/d'(h' - h)$$

où S' : capacité de libre écoulement de l'aquitard

R : la recharge nette

h' : charge hydraulique dans l'aquitard

On considère que l'aquitard possède une nappe libre dont l'épaisseur mouillée " d' " peut varier au cours du temps.

VI-3- CADRE DE LA MODELISATION

Le modèle transitoire englobe une superficie d'environ 80 km² qui s'étend du village de Sidi Amar au Sud, jusqu'à l'embouchure de l'oued El Hachem au Nord, limité à l'Est et à l'Ouest respectivement par les massifs des flyschs et les calcaires du djebel Tabarrând (fig.n°47)

VI-4- CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

VI-4.1. Rappel sommaire de la géologie

Le réservoir de la plaine alluviale de Oued El Hachem est constitué par des alluvions renfermant très souvent des graviers, limons et sables d'assez bonne perméabilité. Cet aquifère (cf coupes hydrogéologiques, fig n° 33) occupe le centre de la vallée et s'étend principalement vers la rive gauche de Oued El Hachem. Il repose sur un substratum constitué dans sa partie sud par des calcaires (à l'Ouest) et des marnes (à l'Est) et dans sa partie nord par des marnes.

VI-4.2. L'hydrogéologie

Le cadre hydrogéologique est lié à la distribution géométrique et à la nature des terrains. Ainsi les formations de graviers s'avèrent être les formations les plus perméables. La zone naturelle d'alimentation se situe au Sud de la région à la confluence de Oued Fedjana et Tegdza, donnant naissance à Oued El Hachem qui alimente la nappe alluviale (fig n° 3). Afin de palier au déficit en eau dans la région et selon le schéma général hydraulique de la Mitidja, un projet de barrage a été étudié par les services du Ministère de l'Hydraulique en 1983 au Sud du village de Sidi Amar.

Les eaux de cette retenue devraient assurer les besoins en eau potable de la ville de Cherchell, une partie de ceux de Hadjout, l'irrigation de la vallée de Oued El Hachem et l'irrigation des terres agricoles de la Mitidja et du Sahel (au Nord-Est de Hadjout).

En année moyenne la répartition des volumes annuels est la suivante :

- Apports totaux, pertes déduites :	49.5 Mm ³ dont
- A.E.P Hadjout	17.1 Mm ³
- A.E.P Cherchell	7.3 Mm ³
- Irrigation El Hachem	12.9 Mm ³
- Irrigation Mitidja	12.2 Mm ³

Cependant des variations saisonnières importantes sont constatées ainsi pour :

- l'A.E.P. (Hadjout + Cherchell), le volume soutiré dans le mois le plus chargé (Juillet) est de 2.18Mm³ avec débit moyen 0.814 m³/s et un débit de pointe de 1.0 m³/s
- l'eau d'irrigation d'El Hachem, le volume soutiré dans le mois le plus chargé (Mai, année sèche) est de 3.44Mm³ avec un débit moyen de 1.284 m³/s et un débit de pointe de 2.5 m³/s
- l'eau d'irrigation de la Mitidja, le volume soutiré dans le mois le plus chargé (Mai, année sèche) est de 3.72Mm³ avec un débit moyen de 1.389 m³/s et un débit de pointe : 2.8 m³/s

VI-5- ELABORATION ET CHOIX DU MODELE

VI-5.1. Choix du modèle

L'écoulement bidimensionnel dans l'aquifère montre plusieurs régimes : semi -captif au Nord et libre dans la partie Sud.

Le modèle mathématique multi -couche transitoire SGMP(annexe) basé sur la méthode des différences finies a été choisi. Ce modèle comporte trois phases distinctes :

- introduction et lecture des données avec un contrôle de la disposition des noeuds et le calcul des surfaces nodales (SGMP1),
- la résolution numérique des équations à l'aide d'une technique de Gauss-seidel (SGMP2),
- l'impression des résultats et du bilan (SGMP3a),
- l'impression des chroniques de la piézométrie calculée (SGMP3b).

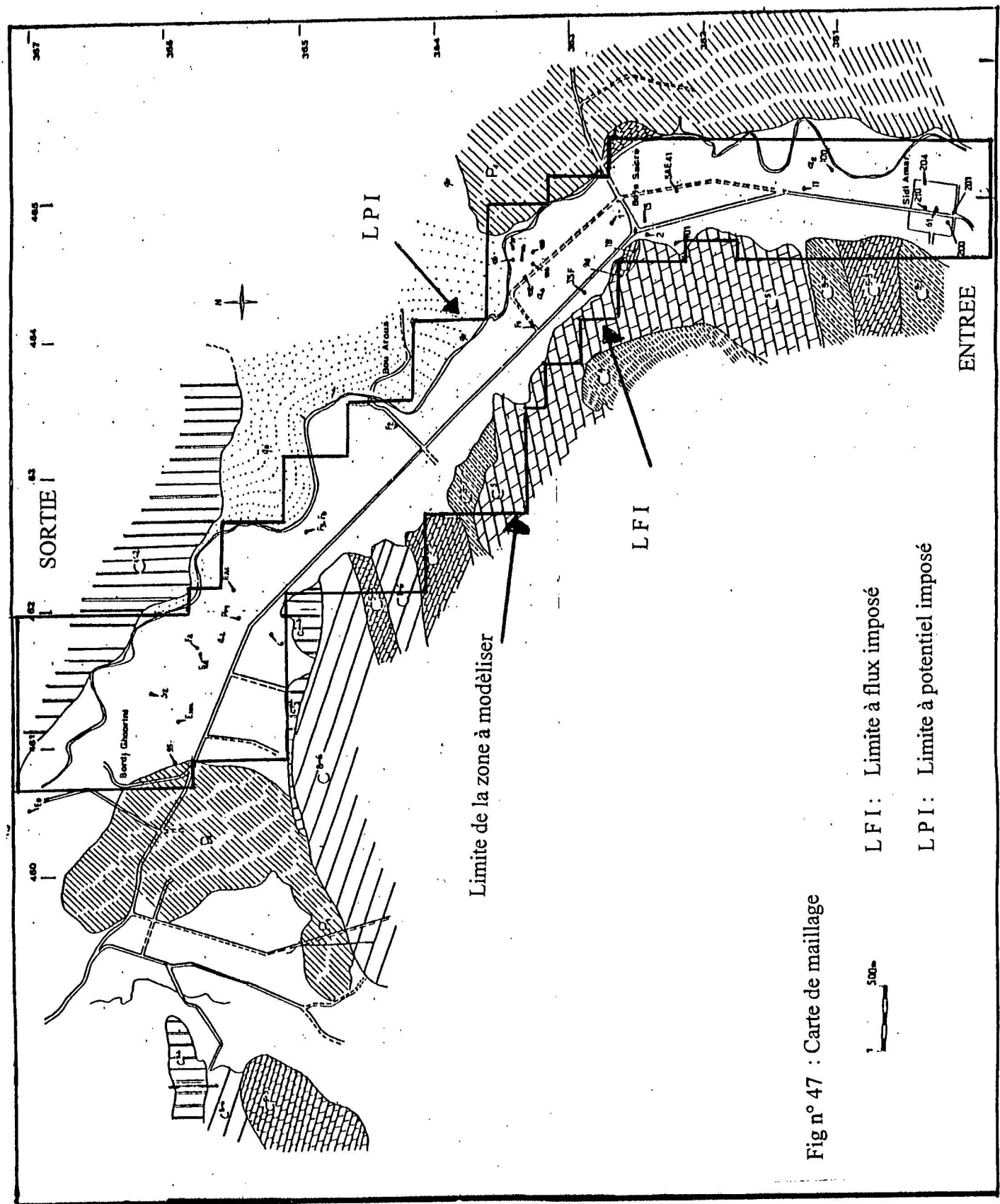
Ce modèle a été choisi pour simuler les écoulements de la nappe alluviale en raison des possibilités suivantes :

- écoulement en régime transitoire et à mailles variables,
- prise en compte d'un aquitard et de la présence de l'oued,
- bilan hydrologique détaillé pour chaque maille.

VI-5.2. Schéma du modèle

VI-5.2.1. Domaine de définition

Les limites du modèle épousent les contraintes hydrogéologiques à savoir l'extension des alluvions, limitées par le lit de l'oued à l'Est, et au Sud par l'emplacement du barrage de BOUKOURDANE (avec une côte de +120 m). Ainsi le domaine à modéliser a été découpé en mailles carrées (après plusieurs essais), nous avons retenu au total 144 mailles et de superficie de 0,25 km². Un système de référence permet d'attribuer au noeud de chaque maille une abscisse (X)et une ordonnée (Y) (fig n°47).



VI-5.2.2. Géométrie de l'aquifère

Le toit et le mur de l'aquifère ont été déterminés au niveau de chaque maille en se basant sur la géologie d'ensemble et des données des sondages mécaniques réalisés, ainsi que des résultats de la campagne géophysique en sondages électriques réalisée par la CGG en 1966.

VI-5.2.3. Distribution des transmissivités (fig n° 48)

Les données de départ étant connues (celles de 1970) sur la base de la carte en courbes, issue des données d'essais de pompage, qui malheureusement indisponibles nous ont obligé à faire des extrapolations sur certaines mailles.

VI-5.2.4. Distribution des emmagasinevements

En l'absence des résultats de terrain nous avons retenu des coefficients d'emmagasinement respectifs de 0.01 et de 0.02 pour le semi - captif et l'aquifère libre.

Ces valeurs ont été améliorées au cours du calage.

VI-5.2.5. Potentiel

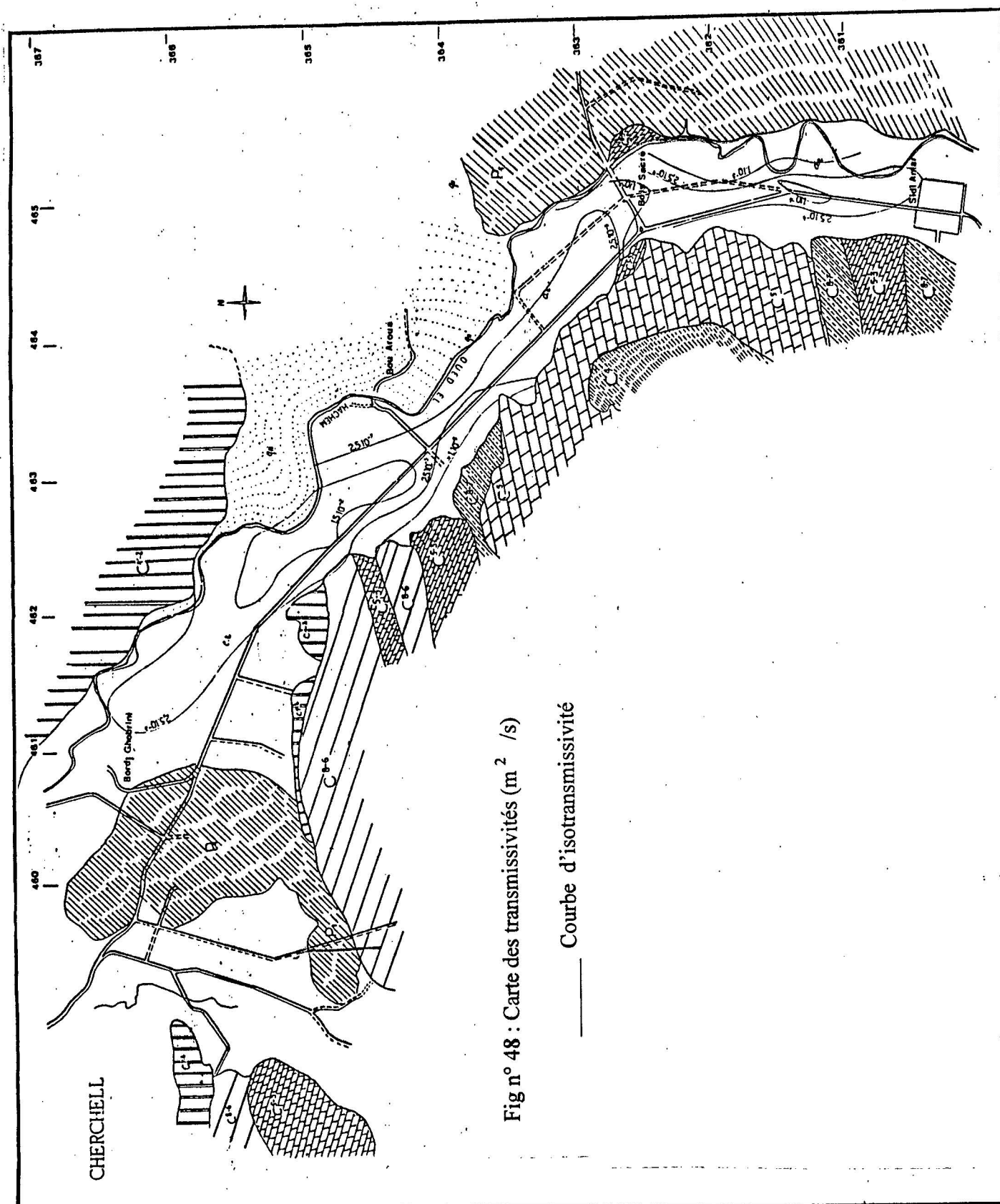
La carte piézométrique de départ étant celle de 1970.

VI-5.2.6. L'alimentation

L'alimentation se fait principalement par infiltrations (ou pluie efficace). La pluie efficace a été calculée par la méthode de Thornthwaite, avec un pas mensuel sur une série de mesures de précipitations et de températures allant de 1950/1951 à 1984/1985.

VI-5.2.7. Débits prélevés

Aucune enquête de terrain n'avait été réalisée auparavant. L'état actuel d'exploitation des forages et l'absence de débit mètre nous ont posé un gros problème quant à l'estimation des débits prélevés.



-16.-16.-16.-15.-15.-15.-14.-14.-14.-12.-12.-12.-12.-12.-12.-10.-10.-10.-10.-10.
-09.-09.-09.-09.-09.-09.-08.-08.-08.-08.-08.-08.-08.-08.-08.-08.-08.-08.-08.-08.
-08.-08.-08.-08.-08.-08.-06.-06.-06.-06.-06.-06.-06.-06.-06.-06.-05.-05.-05.-05.
-05.-05.-04.-04.-04.-04.-04.-03.-03.-03.-03.-03.-02.-02.-02.-02.-02.-02.-02.-02.
-01.-01.-01.+01.+01.+01.+02.+02.+04.+04.+04.+04.+06.+06.+06.+06.+10.+10.+10.
+12.+12.+12.+14.+14.+14.+16.+16.+16.+18.+18.+18.+20.+20.+20.+20.+22.+22.+22.+22.
+24.+24.+26.+26.+26.+26.+26.+28.+28.+28.+28.+30.+30.+30.+32.+32.+32.+34.+34.
+34.+35.+35.+35.-16.-16.-16.-16.-16.-16.-09.-09.-17.-17.-17.-02.-02.-10.-10.-10.
-10.-05.-05.-05.-04.-04.-04.+05.+05.+05.+04.+04.-01.-01.+05.+05.+07.+07.+22.+30.
+42.+42.+42.+42.+48.+48.+48.+48.+48.+48.+50.+50.+50.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.
+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.
+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.
+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.+00.

1	145	1.6	2	1.6	4	1.6	241	1.6
2	146	1.6	3	1.6	5	1.6	1	1.6
3	147	1.6	148	1.6	6	1.6	2	1.6
4	1	1.6	5	1.6	7	1.6	240	1.6
5	2	1.6	6	1.6	8	1.6	4	1.6
6	3	1.6	149	1.6	9	1.6	5	1.6
7	4	1.6	8	1.6	11	1.6	239	1.6
8	5	1.6	9	1.6	12	1.6	7	1.6
9	6	1.6	10	1.6	1316.18		8	1.6
10	149	1.6	150	1.6	1419.97		9	1.6
11	7	3.23	12	3.23	237	3.23	238	3.23
12	812.94		1316.18		23612.94		1112.94	
13	916.18		1423.43		1719.46		1216.18	
14	1019.97		15	6.75	18	6.75	1323.43	
15	150	6.75	16	6.75	19	6.75	14	6.75
16	151	6.75	152	6.75	20	6.75	15	6.75
17	1319.46		1823.43		2219.46		236	9.71
18	14	6.75	19	6.75	23	6.75	1723.43	

19	15 6.75	20 6.75	24 6.75	18 6.75
20	16 6.75	21 6.75	25 6.75	19 6.75
21	152 6.75	153 6.75	26 6.75	20 6.75
22	1719.46	2323.43	2719.46	235 9.71
23	18 6.75	24 6.75	2823.43	2223.43
24	19 6.75	25 6.75	29 6.75	23 6.75
25	20 6.75	26 6.75	30 6.75	24 6.75
26	21 6.75	154 6.75	31 6.75	25 6.75
27	2219.46	2819.46	3316.18	234 9.71
28	2323.43	2923.43	3419.46	2719.46
29	24 6.75	30 6.75	3523.43	2823.43
30	25 6.75	31 6.75	36 6.75	29 6.75
31	26 6.75	32 6.75	37 6.75	30 6.75
32	154 6.75	155 6.75	38 6.75	31 6.75
33	2716.18	3416.18	40 6.47	233 6.47
34	2819.46	3519.46	4116.18	3316.18
35	2923.43	3623.43	4219.46	3419.46
36	30 6.75	37 6.75	4323.43	3523.43
37	31 6.75	38 6.75	44 6.75	36 6.75
38	32 6.75	39756.0	45 6.75	37 6.75
39	15512.96	156124.8	46124.8	38756.0
40	33 6.47	41 6.47	49 6.47	232 6.47
41	3416.18	4216.18	50 6.47	40 6.47
42	3519.46	4319.46	5116.18	4116.18
43	3623.43	4423.43	5219.46	4219.46
44	37 6.75	45 6.75	5323.43	4323.43
45	38 6.75	46756.0	54 6.75	44 6.75
46	39124.8	47124.8	55124.8	45756.0
47	156124.8	48124.8	56124.8	46124.8
48	157124.8	158124.8	57124.8	47124.8
49	40 6.47	50 6.47	230 6.47	231 6.47
50	41 6.47	51 6.47	229 6.47	49 6.47
51	4216.18	5216.18	228 6.47	50 6.47
52	4319.46	5319.46	227 9.71	5116.18
53	4423.43	5423.43	226 9.71	5219.46
54	45 6.75	55756.0	225 1.35	5323.43
55	46124.8	56124.8	58 9.45	54756.0
56	47124.8	57124.8	59124.8	55124.8
57	48124.8	159124.8	60124.8	56124.8
58	55756.0	59756.0	224 1.35	225 1.35
59	56124.8	60124.8	61756.0	58756.0
60	57124.8	160124.8	62124.8	59124.8
61	59756.0	62756.0	223 13.5	224 13.5
62	60124.8	63124.8	64756.0	61756.0
63	160124.8	161124.8	65124.8	62124.8
64	62756.0	65756.0	70216.0	223108.0
65	63999.9	66999.9	71999.9	64756.0
66	161999.9	67756.0	72999.9	65999.9
67	162216.0	68216.0	73216.0	66756.0
68	163216.0	69216.0	74216.0	67216.0
69	164216.0	165216.0	166 10.8	68216.0
70	64216.0	71756.0	221108.0	222108.0
71	65999.9	72999.9	75756.0	70756.0
72	66999.9	73756.0	76999.9	71999.9
73	67216.0	74216.0	77756.0	72756.0
74	68216.0	166216.0	78216.0	73216.0
75	71756.0	76756.0	220108.0	221108.0
76	72999.9	77999.9	79756.0	75756.0

77	73756.0	78756.0	80756.0	76999.9
78	74216.0	167216.0	81216.0	77756.0
79	76756.0	80216.0	219108.0	220108.0
80	77756.0	81216.0	218108.0	79216.0
81	78216.0	168216.0	82216.0	80216.0
82	81216.0	83216.0	85216.0	218108.0
83	168216.0	84216.0	86216.0	82216.0
84	169216.0	170216.0	87216.0	83216.0
85	82216.0	86216.0	216108.0	217108.0
86	83216.0	87216.0	215108.0	85216.0
87	84216.0	88 1.60	89216.0	86216.0
88	170216.0	171216.0	90216.0	87216.0
89	87216.0	90216.0	214108.0	215108.0
90	88216.0	172216.0	91216.0	89216.0
91	90216.0	92216.0	213108.0	214108.0
92	172216.0	93216.0	95216.0	91216.0
93	173216.0	94216.0	96216.0	92216.0
94	174216.0	175216.0	97216.0	93216.0
95	92216.0	96216.0	212108.0	213108.0
96	93216.0	97216.0	211108.0	95216.0
97	94216.0	98216.0	99216.0	96216.0
98	175216.0	176216.0	100216.0	97216.0
99	97216.0	100216.0	210108.0	211108.0
100	98216.0	101216.0	10215.12	99216.0
101	176216.0	177216.0	10315.12	100216.0
102	10015.12	103 86.4	104 86.4	210 4.32
103	10115.12	178 4.32	105 86.4	102 86.4
104	102 86.4	105 86.4	107 13.5	209 4.32
105	103 86.4	106 86.4	108 13.5	104 86.4
106	178 86.4	179 9.64	10915.12	105 86.4
107	104 13.5	108 10.8	110 10.8	208 10.8
108	105 13.5	109118.8	111 10.8	107 10.8
109	10615.12	180216.0	112216.0	108118.8
110	107 10.8	111 10.8	114 10.8	207 10.8
111	108 10.8	112118.8	115 10.8	110 10.8
112	109216.0	181216.0	116216.0	111118.8
113	207 10.8	114 10.8	117 10.8	206 11.3
114	110 10.8	115 10.8	118 10.8	113 10.8
115	111 10.8	116 10.8	119 10.8	114 10.8
116	112216.0	182216.0	120216.0	115 10.8
117	113 10.8	118 10.8	204 10.8	205 10.8
118	114 10.8	119 10.8	121 10.8	117 10.8
119	115 10.8	120118.8	122 10.8	118 10.8
120	116216.0	183216.0	184216.0	119118.8
121	118 10.8	122 10.8	123 10.8	204 10.8
122	119 10.8	184 10.8	124 10.8	121 10.8
123	121 10.8	124 10.8	126 10.8	203 10.8
124	122 10.8	125 10.8	127 10.8	123 10.8
125	184 10.8	185 10.8	128 10.8	124 10.8
126	123 10.8	127 10.8	129 10.8	202 10.8
127	124 10.8	128 10.8	130 10.8	126 10.8
128	125 10.8	186 10.8	187 10.8	127 10.8
129	126 10.8	130 10.8	131 10.8	201 10.8
130	127 10.8	187 10.8	132216.0	129 10.8

VI-6- CALAGE DU MODELE

A partir d'un état piézométrique connu, il s'agira de simuler un autre état pour un pas de temps déterminé. Ce dernier état sera comparé au même état mais mesuré sur le terrain.

L'état piézométrique calculé dépend :

- des débits extraits,
- des niveaux piézométriques mesurés,
- des valeurs du coefficient d'emmagasinement,
- des flux imposés au niveau des oueds et des bordures,
- des valeurs de recharge par les précipitations,
- des valeurs de la perméabilité au niveau de chaque côté de chacune des mailles.

VI-6.1. Le coefficient de perméabilité :

A partir de la carte de transmissivité , la carte de perméabilité (m/s) est obtenue à partir de la carte de maillage (annexe). La perméabilité est déterminée pour chaque côté en prenant la perméabilité moyenne.

Les coefficients de perméabilité au niveau des limites étanches sont supposés nuls. La phase de calage pour un pas de temps donné doit aboutir à une identité pour les états piézométriques calculé et mesuré tant que les états ne seront pas conformes (écart > 1.5 m), l'opération doit être répétée autant de fois et cela en essayant d'intervenir :

- au niveau des perméabilités qui peuvent être mal estimées ou calculées,
- au niveau du coefficient d'emmagasinement,
- au niveau des débits (extraits, injections).

VI-6.2. Résultats

La qualité du calage peut être appréciée en examinant successivement les points suivants :

- la reproduction de la piézométrie,
- la répartition de la perméabilité,
- la répartition du coefficient d'emmagasinement ,
- l'examen des limites après le calage,
- l'examen du bilan issu du calage.

VI-6.3. Reproduction de la piézométrie

Le tableau compile les résultats des convergences au niveau des mailles choisies par blocs similaires, les figures n° 49 et n°50, représentent la piézométrie calculée au stade final du calage par rapport à la piézométrie de référence

Numéro du noeud	Piézométrie mesurée (m)	Piézométrie calculée(m)	Ecart (m)
1	6,00	6,52	0,52
10	8,50	9,18	0,68
20	10,50	11,40	0,90
30	13,00	13,49	0,49
40	15,00	13,54	1,46
50	16,50	15,55	0,95
60	20,00	20,40	0,43
70	22,00	19,22	2,78
80	23,50	21,21	2,29
90	28,00	26,78	1,22
100	35,00	33,50	1,5
110	37,50	37,50	0,0
120	43,00	42,39	0,61
130	52,20	50,23	1,97
144	54,30	56,12	1,82

Tableau n° 15 : Comparaison de la piézométrie mesurée et calculée sur 14 ans.

On constate une assez bonne similitude entre les courbes réelles et les courbes calculées par le modèle. Les écarts les plus importants sont constatés au niveau des mailles (1, 4, 6) sont dûs essentiellement aux données de départ (piézométrie 1970/topographie).

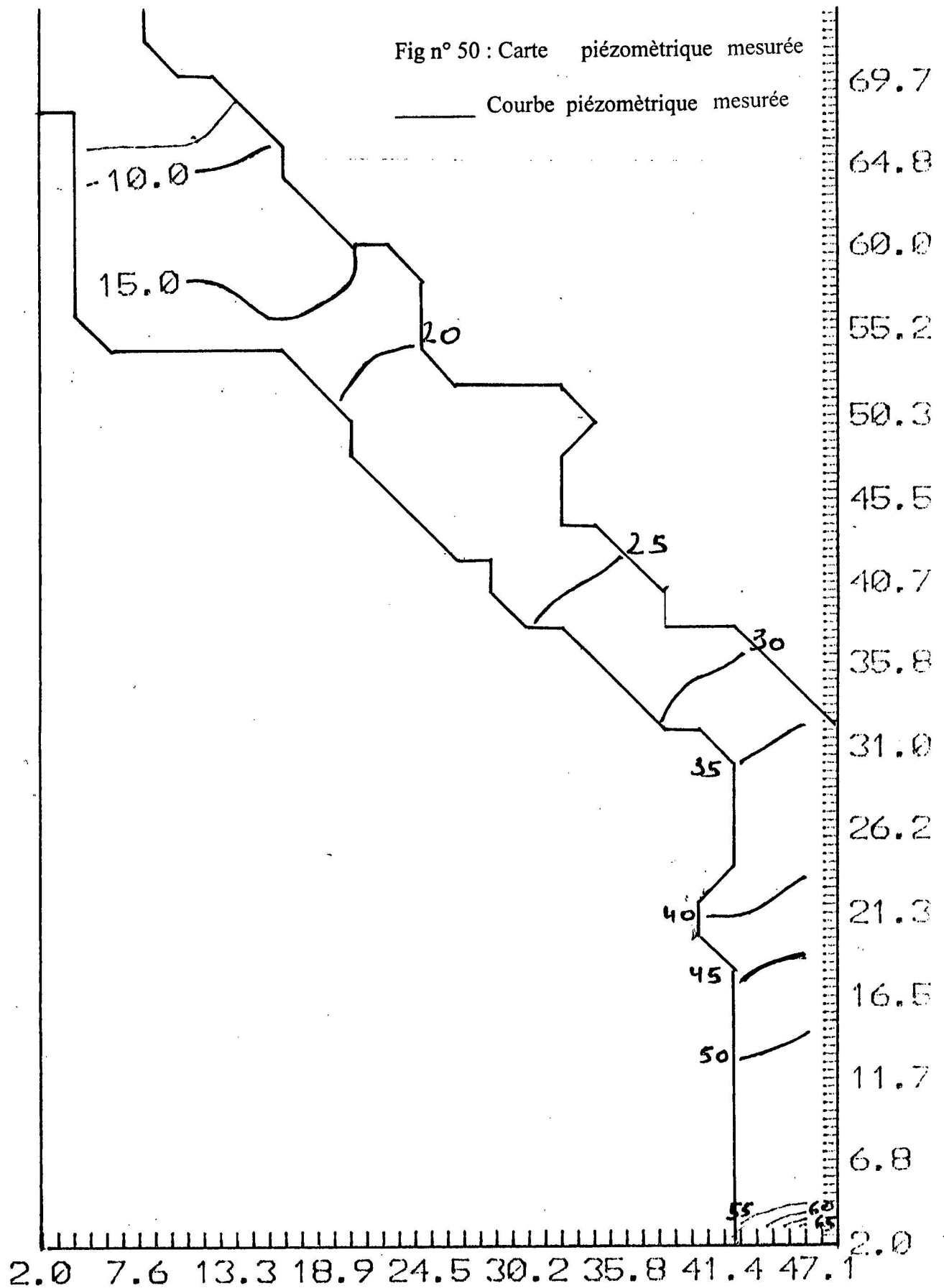
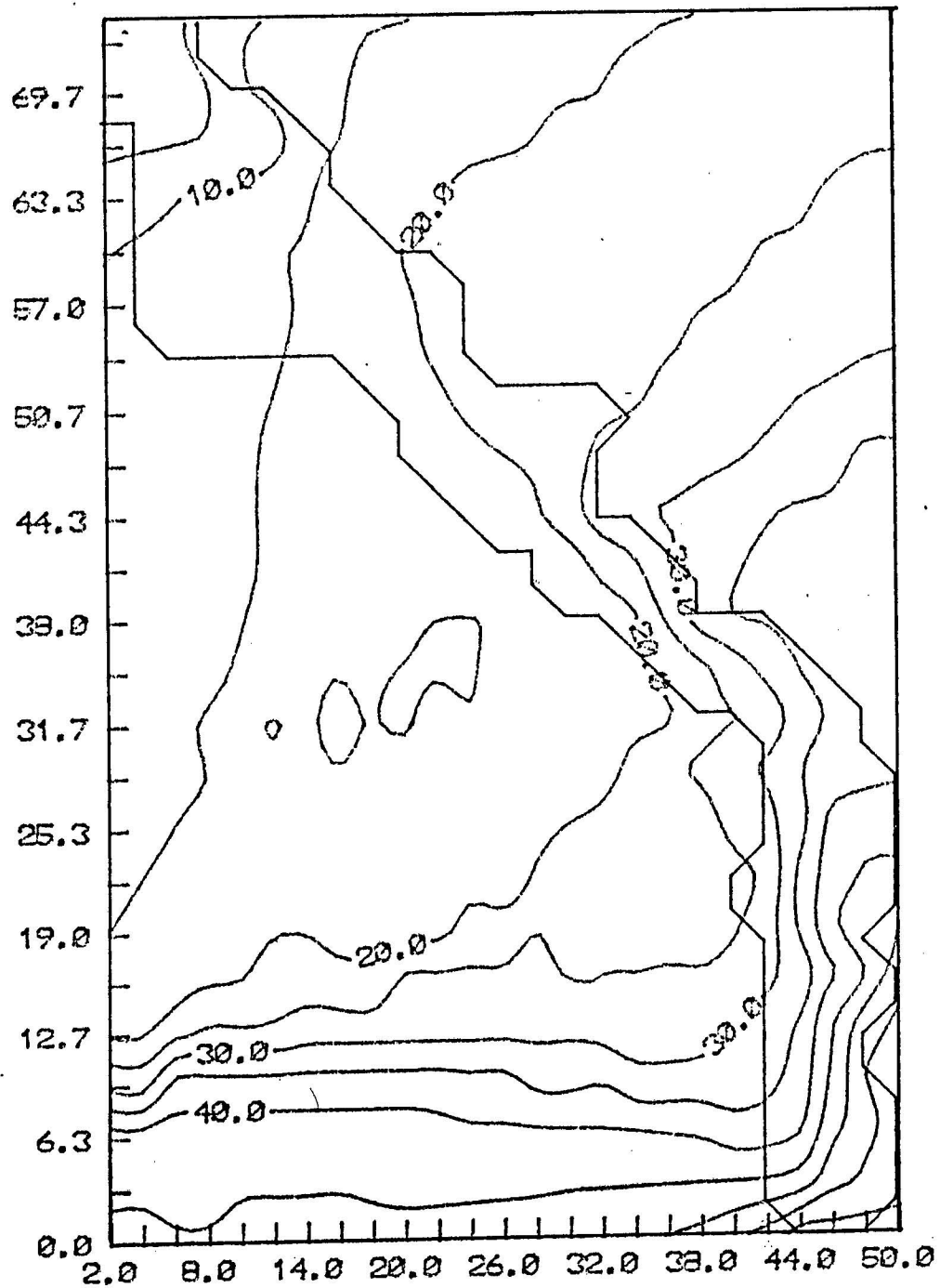


Fig n° 49 : Carte piézométrique calculée

_____ Courbe piézométrique calculée



VI-6.4. Etude du bilan issu du calage

Après chaque pas de temps, le modèle restitue un bilan hydrologique et évalue ces différentes composantes, la recharge de la nappe, stockage ou de stockage de l'aquifère, l'écoulement de subsurface, la quantité d'eau de drainage et de pompage.

Résultats :

- Recharge = 0,0486
- Modification de stockage (couche supérieure) = -0,3485
- Ecoulement par infiltration = 0,3486
- Stockage aquifère = 0,0079
- Ecoulement total = 0,4735
- Pompage = -0,1328
- Drainage = 0,005

V-7- Conclusion :

Le modèle transitoire nécessite pour son calage des hypothèses de travail et données de départ les plus justes possibles. Dans notre calage, les hypothèses suivantes ont été émises :

- Oued El Hachem alimente la nappe à travers toute sa longueur,
- possible alimentation latérale par les calcaires en rive gauche,
- entrée du système (Sidi Amar)
- Sortie du système (embouchure mer méditerranée)

Les différentes simulations réalisées, laissent apparaître que pour une recharge presque constante, une diminution du stockage à travers l'ensemble de la nappe de (-0,3485) est prévisible, d'où la nécessité de ne pas dépasser les niveaux actuels d'exploitation, faute d'épuisement des réserves.

CHAPITRE SEPT

ETUDE HYDROCHIMIQUE

CHAPITRE SEPT ETUDE HYDROCHIMIQUE

VII-1- INTRODUCTION

Cette étude est fondée sur l'analyse complète de 71 échantillons, prélevés aux mois de Juillet, Octobre 1985 et Janvier, Avril 1986 au niveau des points d'eau (puits paysans, forages et sources), ainsi que de l'oued qui draine la nappe.

Les analyses effectuées ont porté sur les éléments suivants :

- Anions : HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{--}
- Cations : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+
- pH électrométrique , conductivité électrique à 25 °C et le résidu sec en mg/l.

VII-2- METHODE D'ANALYSE :

Les méthodes d'analyses chimiques utilisées sont les suivantes

VII-2-1 Les dosages Titrimétriques (voir annexe)

VII-2-2 Les dosages Colorimétriques (voir annexe)

VII-2-3 Les dosages par spectrométrie d'absorption atomique ou d'émission de flamme (voir annexe).

VII-3- CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE ALLUVIALE DE OUED EL HACHEM :

VII-3.1. *Prélèvements et analyses :*

Les prélèvements analysés représentent les mois de Juillet 1985, Octobre 1985, et Janvier et Avril 1986.

Les analyses ont été effectuées au laboratoire de chimie de l'Unité de Recherche de Géologie de l'Université d'Alger, ainsi qu'au laboratoire de chimie des eaux de l'Institut national des ressources hydrauliques (Alger). Ces analyses ont permis de réaliser :

- Les cartes des teneurs en : sulfates, sodium, potassium, magnésium, calcium, chlorures, bicarbonates.
- Les cartes de conductivité électrique
- les diagrammes de Schoeller - Berkloff

- les diagrammes triangulaires
- une représentation en histogrammes
- le calcul du "sodium adsorption ratio" (S.A.R.)
- une analyse en composantes principales

VII-3.2. Résultats et interprétations :

Depuis 1969, aucune analyse chimique, n'avait été faite sur les points d'eau existants. De ce fait, dans une première étape et dans le but de connaître la chimie des eaux du secteur, nous avons entrepris une série de prélèvements avec 15 à 20 échantillons par campagne.

VII-3.2.1. Cartographie

a) Les sulfates : fig n° 51, n° 52 et n° 53

Entre les mois d'Octobre 1985 et d'Avril 1986, on constate que les eaux ne contiennent pas plus de 400 mg/l en général, sauf au point(101), où l'on note respectivement aux mois d'Octobre 1985 et d'avril 1986, 970 et 1024 mg/l. Le maximum de sulfates se concentre au niveau de Bois- Sacré. Il apparaît nettement que les eaux s'appauvrissent en sulfates parallèlement au sens d'écoulement de l'oued.

b) Le sodium et le potassium : fig n° 54, n° 55 et n° 56

Ces figures montrent que les eaux sont relativement chargées en Na^+ et K^+ avec une augmentation du taux Na^+, K^+ de 60 (en amont) à 120 mg/l (en aval) dans le sens d'écoulement des eaux.

c) Le calcium : fig n° 51, n° 52 et n° 53

On remarque une concentration moyenne du calcium au niveau de Bois - Sacré de l'ordre de 150 mg/l. La seule valeur excessive (217 et 244 mg/l) au point 101 entre octobre 1985 et avril 1986 paraît anormale au vue de toutes les valeurs enregistrées.

La distribution du calcium reste en général identique à celle des ions Mg^{++} , ces deux éléments résultant de la dissolution de la formation(C^4) des calcaires et des

calcaires dolomitiques.

d) Le magnésium : fig n° 54, n° 55 et n° 56

Les figures n° 54, n° 55 et n° 56 montrent que l'augmentation du taux de magnésium se fait à partir de la zone de Bois - Sacré .

A ce niveau, la formation calcaire - calcaire dolomitique, en période sèche (absence de précipitations), ou humide peut contribuer à l'enrichissement de cet élément.

Ainsi, l'alimentation des eaux de la nappe à partir de cette formation reste à prouver.

e) Les chlorures : fig n° 51, n° 52 et n° 53

La teneur en chlorures est liée à la fois à une pollution et une origine naturelle qui doit être étudiée dans le contexte hydrochimique général.

Les analyses chimiques montrent l'existence d'une zone à faible concentration de chlorures (inférieure à 100 mg/l) en amont et une augmentation de la concentration parallèlement au sens d'écoulement de l'oued (de 80 à 160 mg/l pour Octobre 1985). Cependant au mois de Janvier 1986 (fig n°52), on note une constance dans la concentration (115 mg/l environ) dans l'axe de la vallée se poursuivant jusqu'au niveau de Bordj Ghobrini ce qui peut signifier une alimentation directe de la nappe par les eaux superficielles de l'oued.

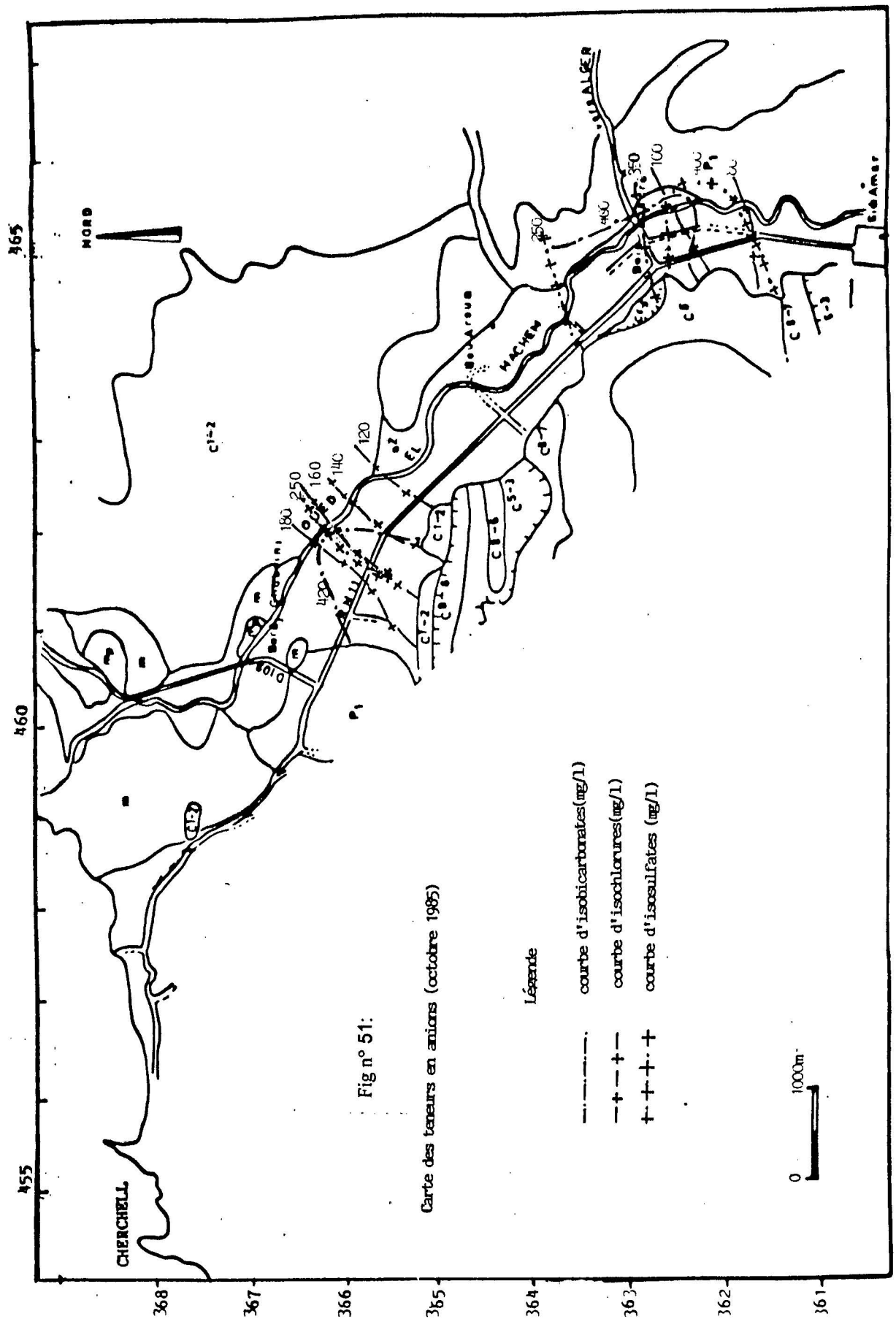
f) Les bicarbonates : fig n° 51, n° 52 et n° 53

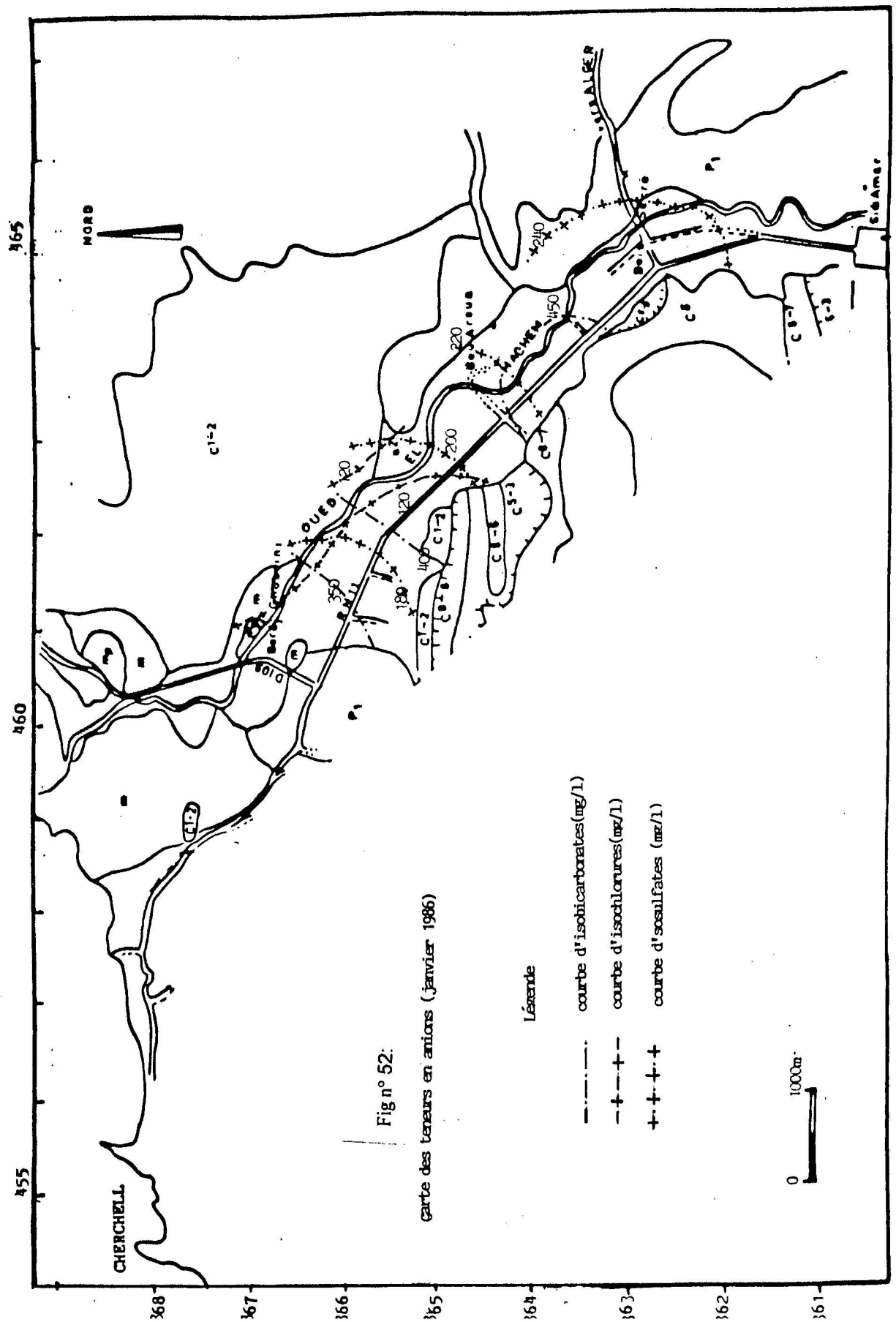
La distribution du taux de bicarbonates, n'est homogène qu'au mois d'Avril 1986.

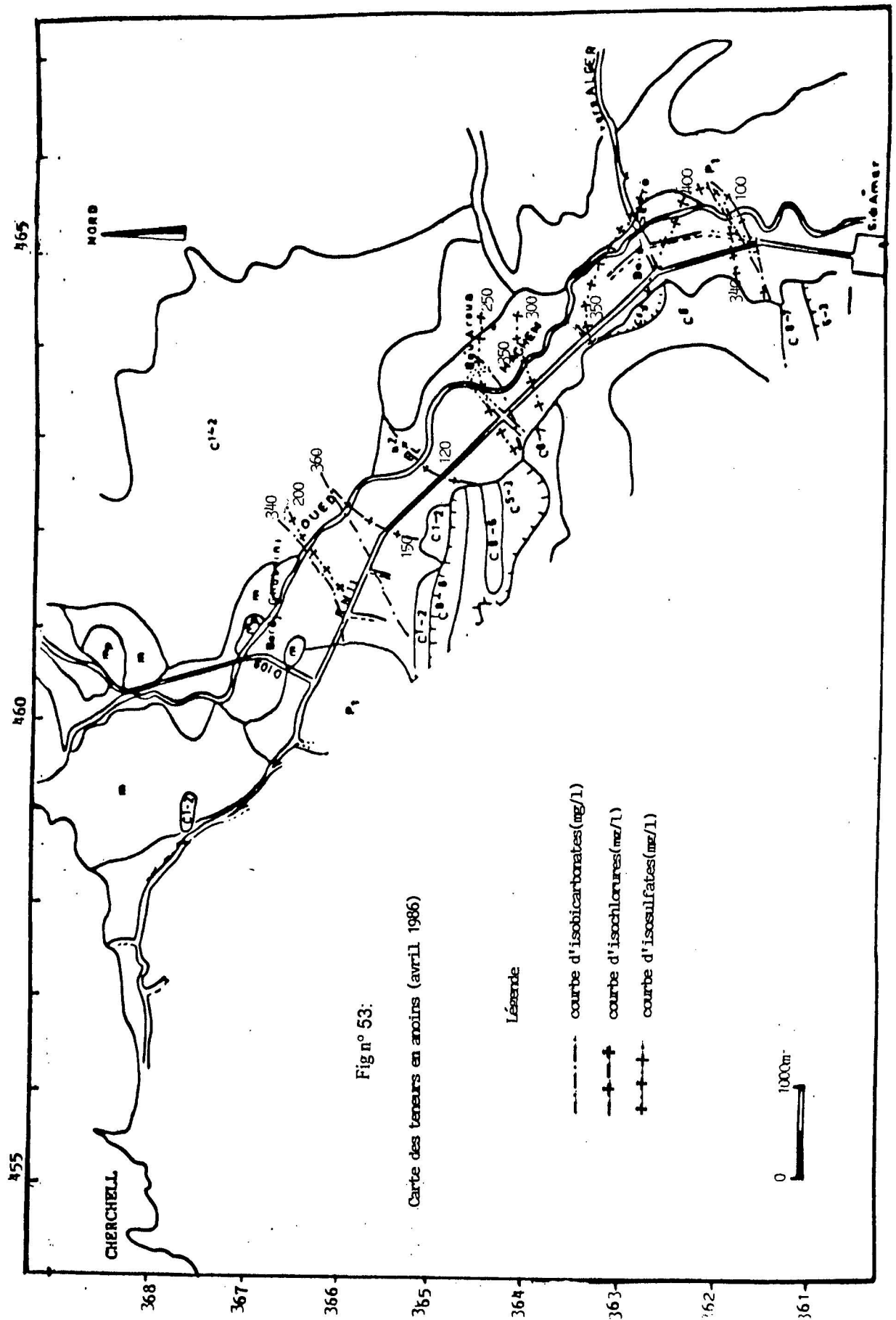
g) La conductivité électrique : fig n° 57a, n° 57b et n° 57c

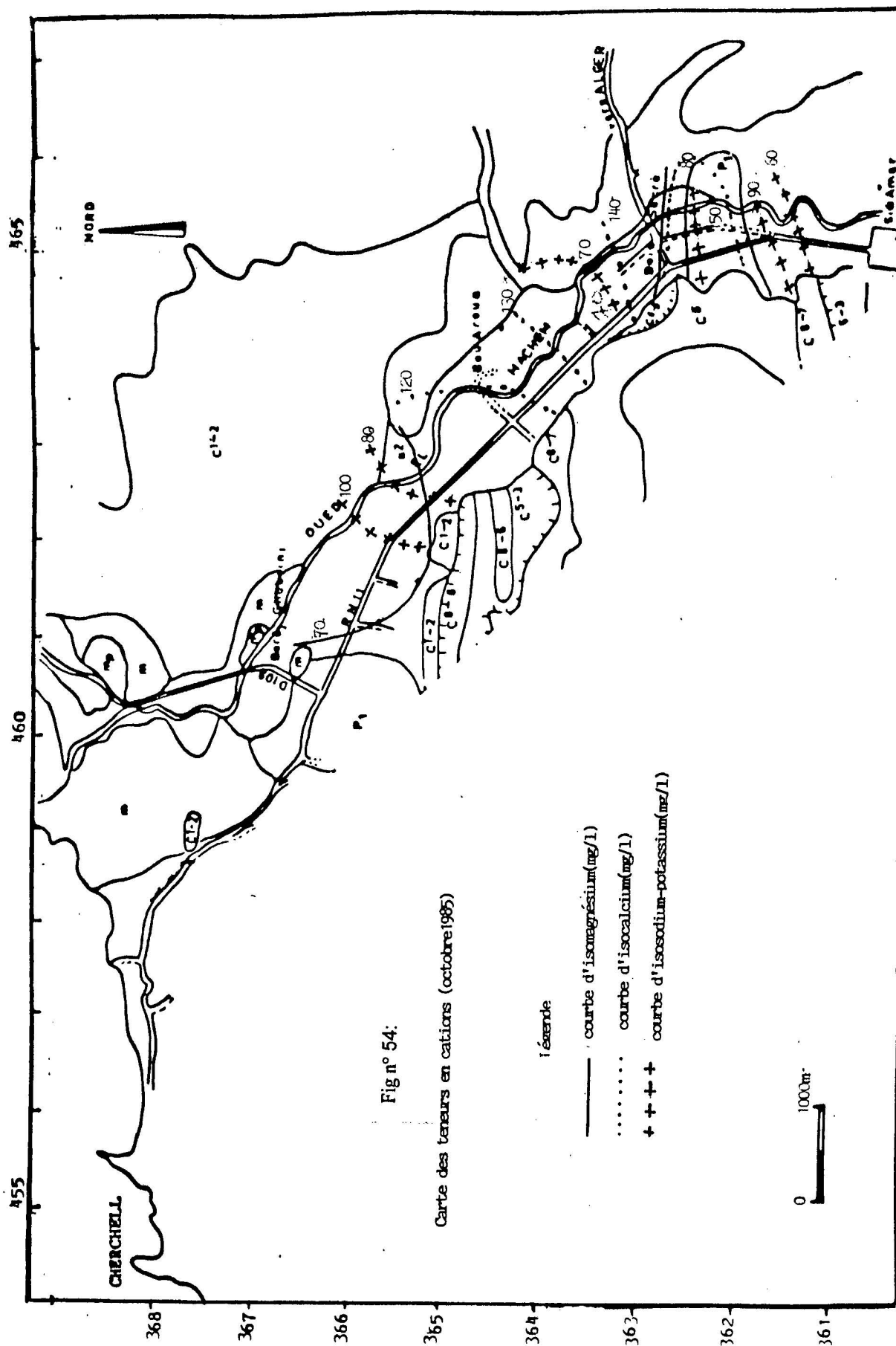
Les conductivités maximales pour les trois périodes de prélèvements caractérisent la zone de Bois- Sacré ou la partie amont du système.

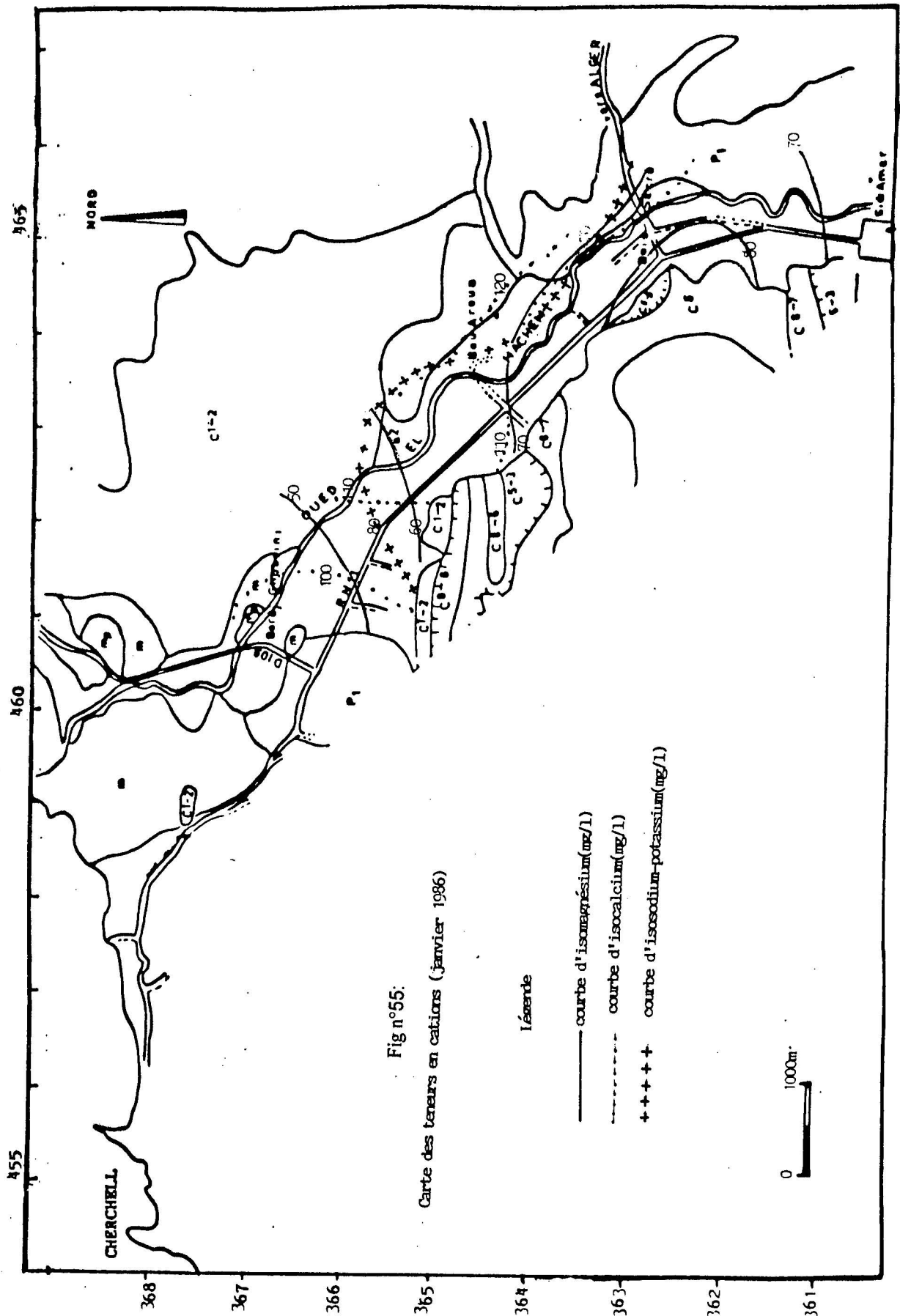
L'effet de dilution des éléments chimiques par les eaux de l'oued est très significatif, la courbe ($1200 \mu S cm^{-1}$) se trouve déportée vers le Nord.

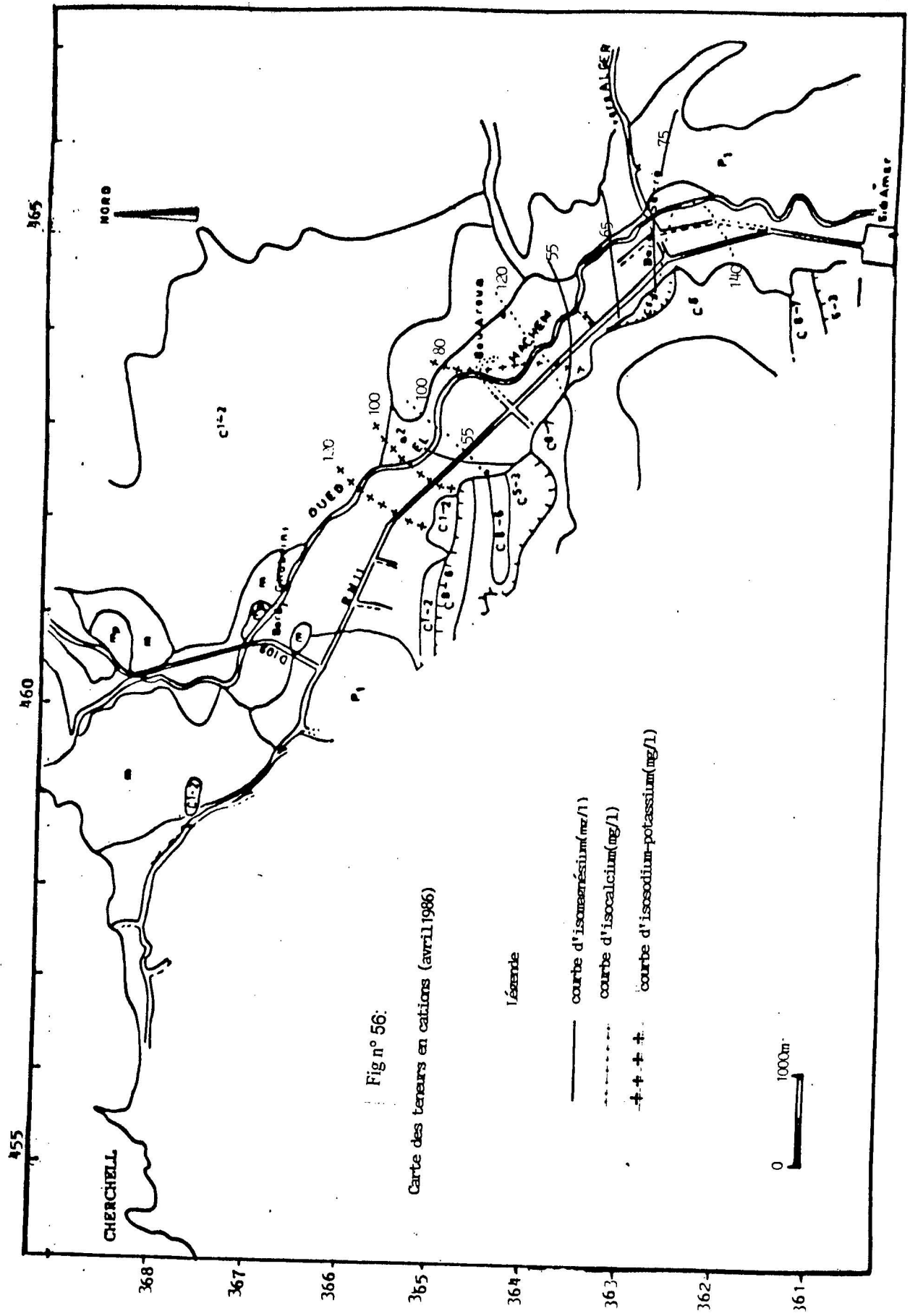


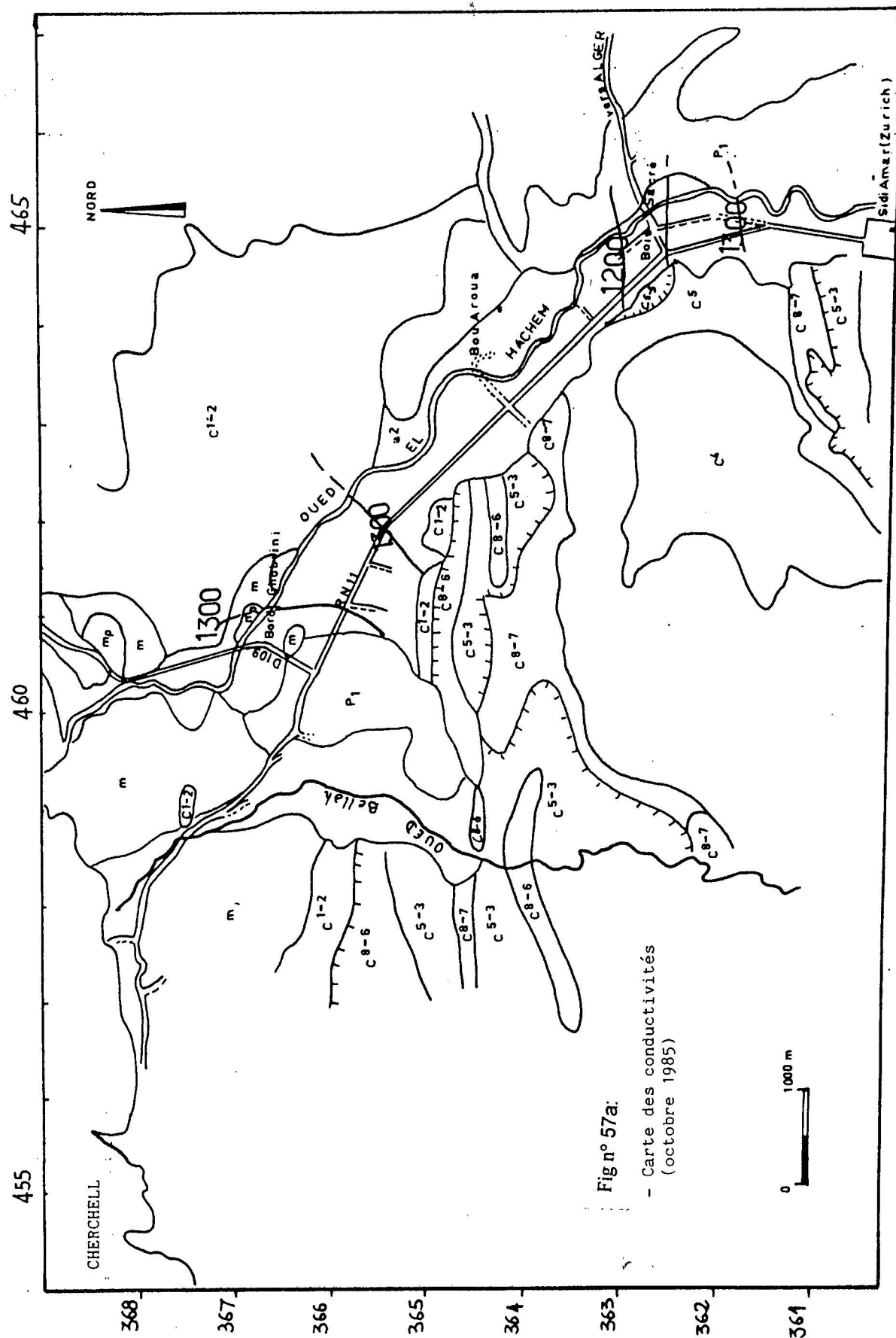


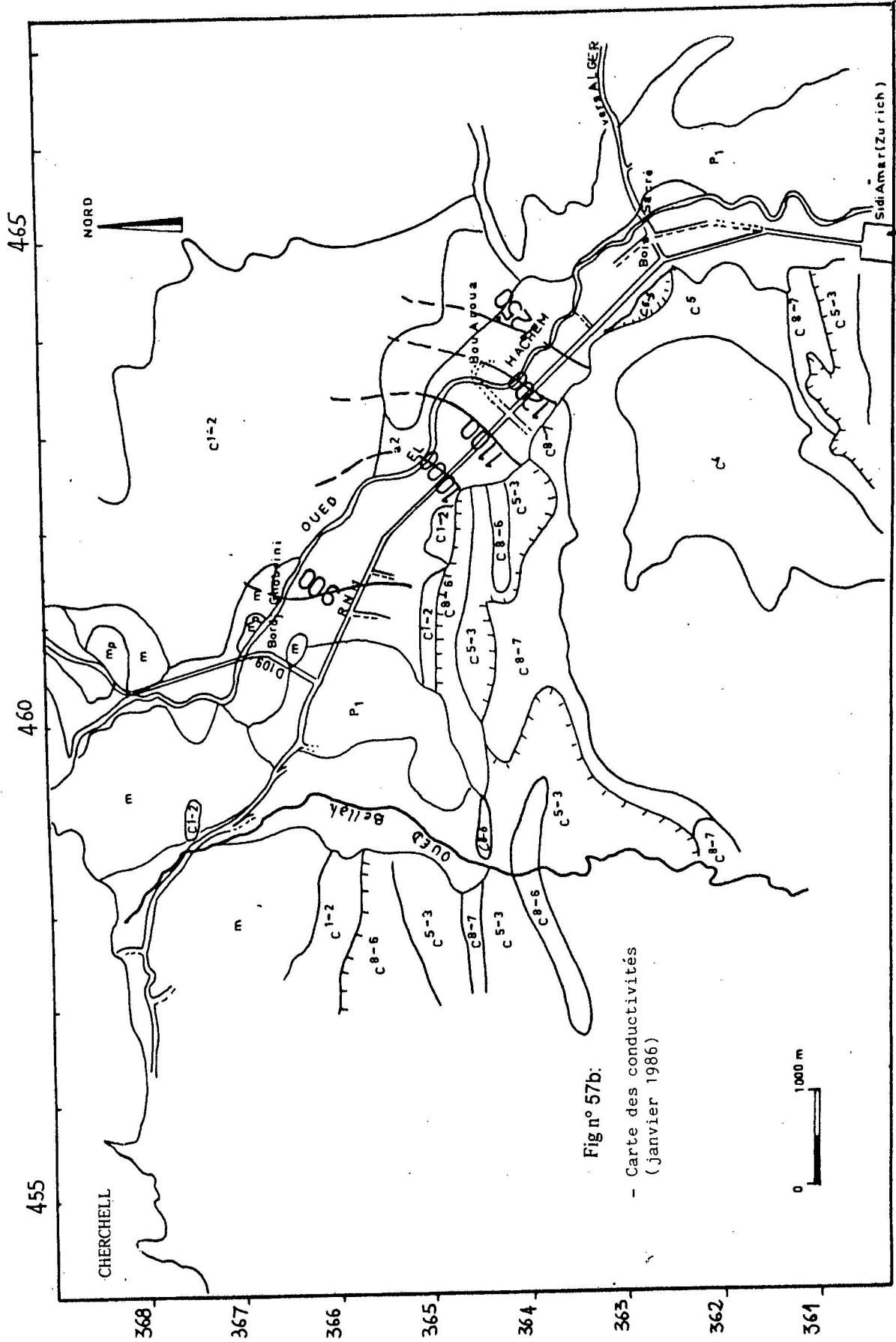


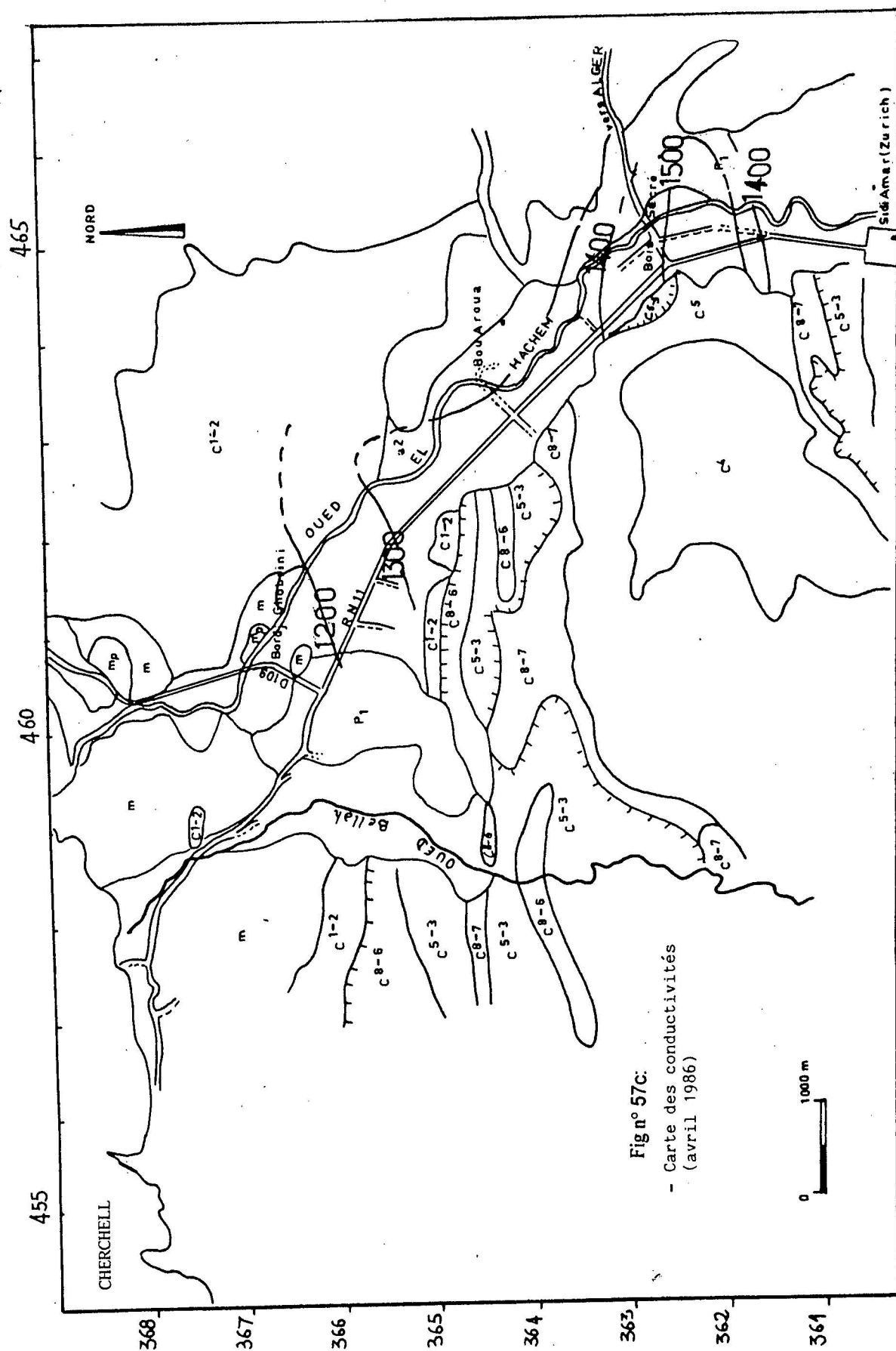












VII-3.2.2. Conclusions :

L'ensemble des cartes laisse apparaître trois zones bien différenciées.

- * Une zone amont constituée uniquement par l'inféro-flux de Oued El-Hachem en liaison directe avec lui et alimentée par les eaux de pluie.
- * Une zone intermédiaire qui se caractérise par une alimentation dû essentiellement aux eaux de pluie et de ruissellement sur les reliefs environnants (C⁴) et à une pollution urbaine.
- * Une zone aval, résultant du mélange de toutes les eaux précédentes soumises à une pollution de type agricole intense.

VII-3.2.3. Diagramme Schoeller-Berkaloff

Les représentations graphiques des analyses d'eau pour les périodes (Juillet - Octobre 1985) et Janvier 1986, montrent des faciès chimiques bien marqués.

Nous avons tracé les diagrammes par point d'eau regroupant ainsi les trois séries de prélèvements dans le but de mettre en relief une variation éventuelle des faciès chimiques.

a)Caractéristiques générales :

Les diagrammes Schoeller - Berkaloff (fig n° 58 et n° 59) ont permis de montrer que les eaux de la nappe de Oued El Hachem présentaient six faciès possibles aux formules caractéristiques suivantes :

$rCa > rMg > rNa+K$ eaux bicarbonatées calciques
 $rHCO_3 > rSO_4 > rCl$
ex : F3- Fb (Fig n°58)

$rMg > rCa > rNa+K$ eaux bicarbonatées magnésiennes
 $rHCO_3 > rSO_4 > rCl$
ex : F4 (fig n° 58)

$rMg > rCa > rNa+K$ eaux sulfatées magnésiennes
 $rSO_4 > rHCO_3 > rCl$
ex : puits 2 (fig n°58)

$rCa > rMg > rNa + K$ eaux sulfatées calciques
 $rSO_4 > rHCO_3 > rCl$
ex : puits 105 (fig n° 59)

$rNa + K > rCa > rMg$ eaux bicarbonatées sodiques
 $rHCO_3 > rCl > rSO_4$
ex : source SA (fig n° 59)

$rMg > rNa + K > rCa$ eaux chlorurées magnésiennes
 $rCl > rHCO_3 > rSO_4$
ex : puits 95 (fig n° 59)

Nous pouvons retenir les observations suivantes :

- La teneur des bicarbonates a tendance à diminuer pour la majorité des points d'eau.
- La teneur en chlorure montre une augmentation sauf pour le point 106.
- La teneur en calcium présente une certaine constante.
- Les sulfates varient pour tous les points exceptés la source SA.

Commentaire :

A travers ces observations, il apparaît nettement que la variation des sulfates, quand elle a lieu, engendre une variation des autres éléments en grande partie. Cependant, elle ne se fait pas dans le sens unique ou homogène. Ce qui est remarquable également, c'est qu'elle suit la variation du magnésium.

Ainsi, nos eaux, paraissent nettement riches en magnésium et calcium et que les sulfates constituent le principal pôle ionique(anionique).

De ce fait, la composition chimique ou le faciès chimique sera toujours proche de la famille des eaux sulfatée - magnésiennes et les ions calcium et magnésium sont en équilibre.

Fig n° 58 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff, forages, F3-FB, F4, F2

SYMBOLE	DATE	C	pH
F3-FB-----	1.86	1000	6.8
F4-----	10.85	1100	
F2-----	1.86	1400	

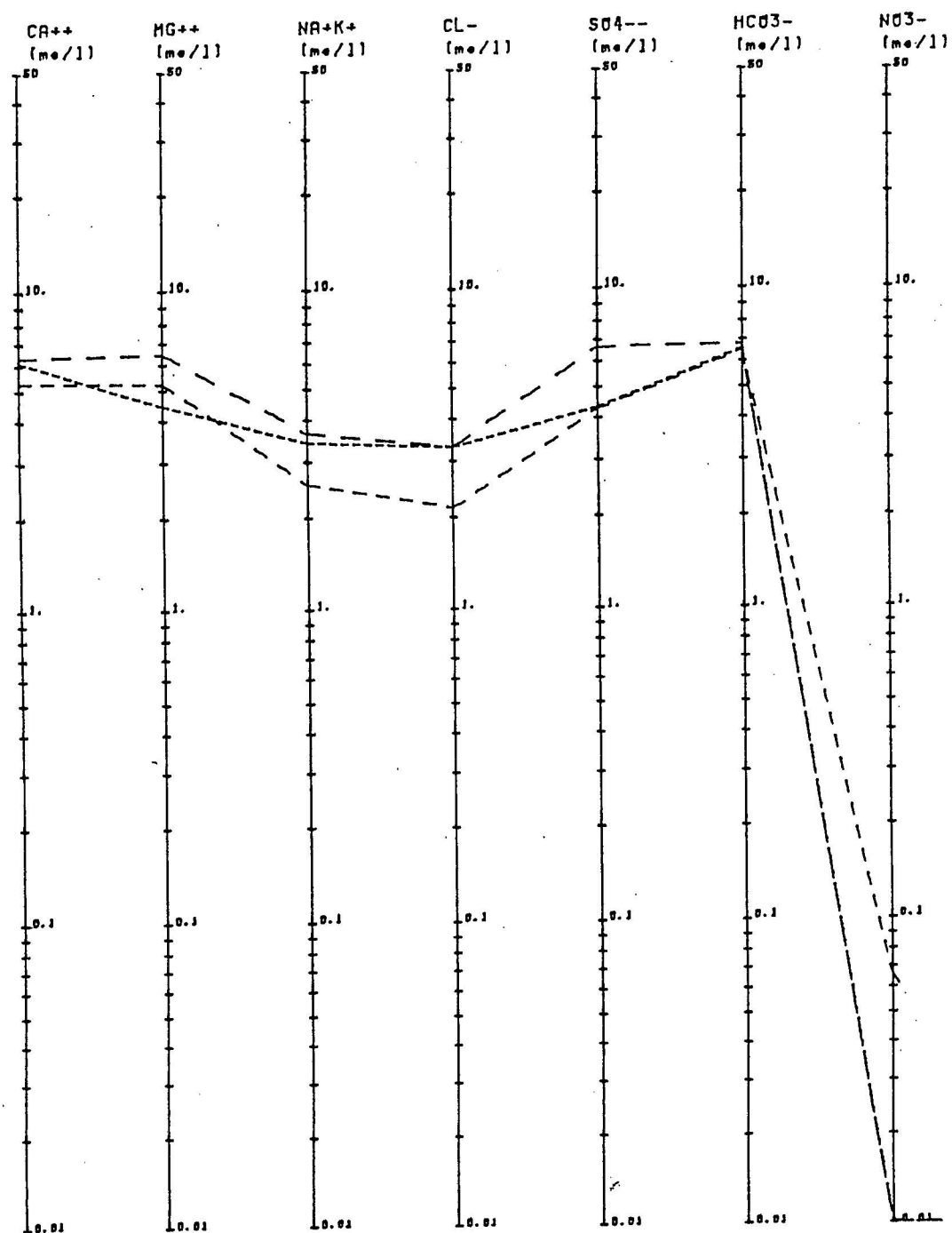
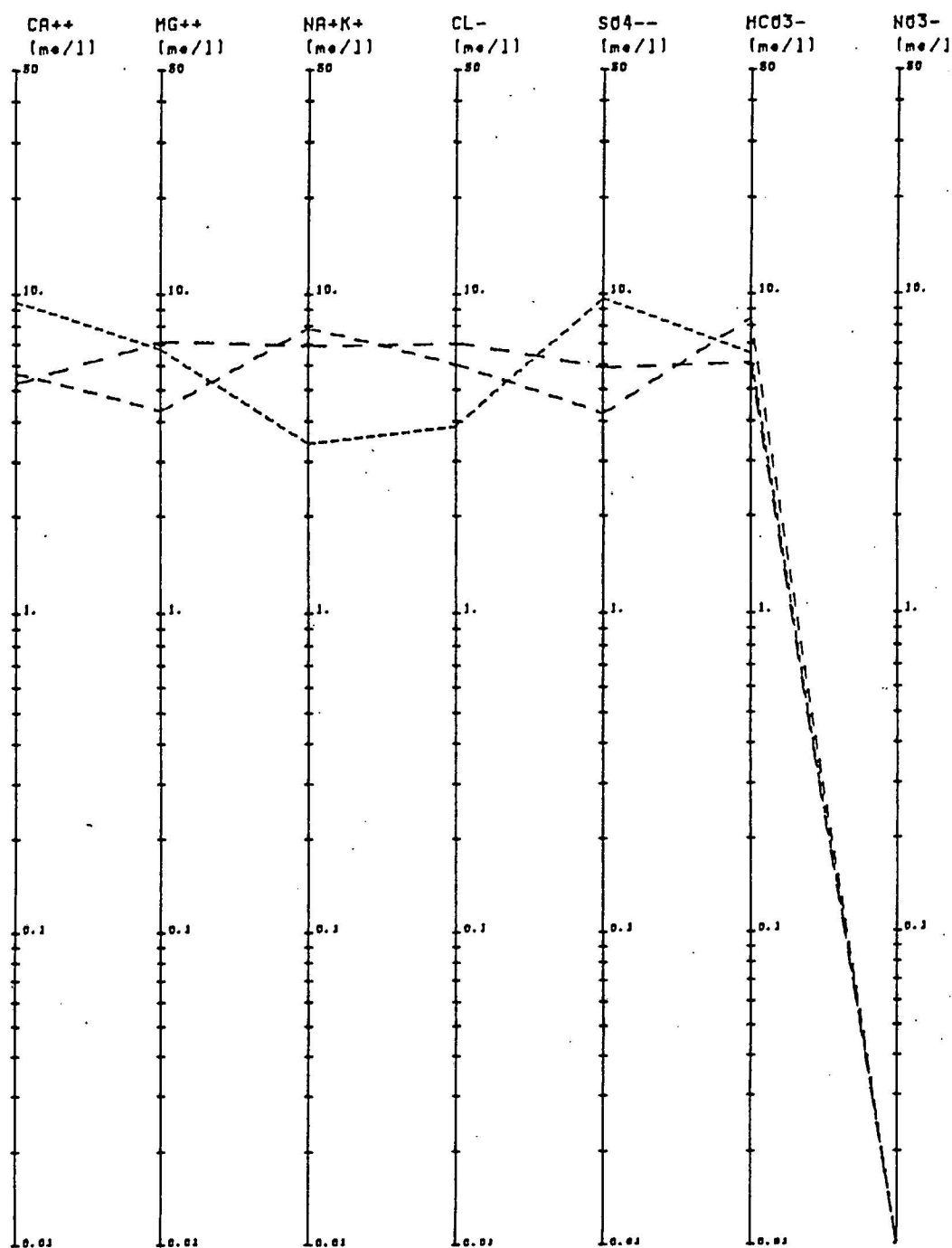


Fig n° 59 : Diagrammes de Schoeller -Berkaloff, points ,105,SA,95

	SYMBOLE	DATE	C	pH
105	-----	10.85	1500	6.8
SA	-----	7.85	1700	7.8
95	-----	10.85	1500	7.2



b) Evolution des faciès chimiques dans le temps : tableau n° 16

Les analyses chimiques effectuées sur 34 points d'eau depuis Juillet 1985 à Janvier 1986 montrent que seuls 6 points traduisent une modification des paramètres physico-chimiques (reporté dans le tableau n° 16).

1 \ 2	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
F4	↑	↓	↑	↑	↓	-----	-----
11	↓	-----	-----	-----	↓	-----	-----
2	-----	-----	↑	↑	↓	↓	-----
35F	-----	↑	-----	↑	↑	↓	-----
101	-----	↑	↓	↑	↑	-----	-----
106	↓	↓	-----	↓	↓	↓	-----
SA	-----	-----	↓	↑	-----	↓	-----

Légende :

1 - élément mesuré

2 - point de prélèvement

↑ : augmentation

↓ : diminution

-----: pas de variation

Tableau n° 16 : Variations des paramètres physico-chimiques (Juillet 1985 et Janvier 1986)

Nous pouvons noter que pour les points : F4 , puits 11 et 35F, pour un élément donné le sens de variation est toujours le même sauf pour l'élément calcium au niveau de 35F.

Les diagrammes de Schoeller -Berkaloff pour ces 6 points montrent une augmentation de la concentration pour les éléments Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄⁻⁻ qui montre que les courbes caractéristiques ont tendance à rester parallèles. Le faciès dominant reste celui des eaux bicarbonatées calcique et bicarbonatées magnésiennes.

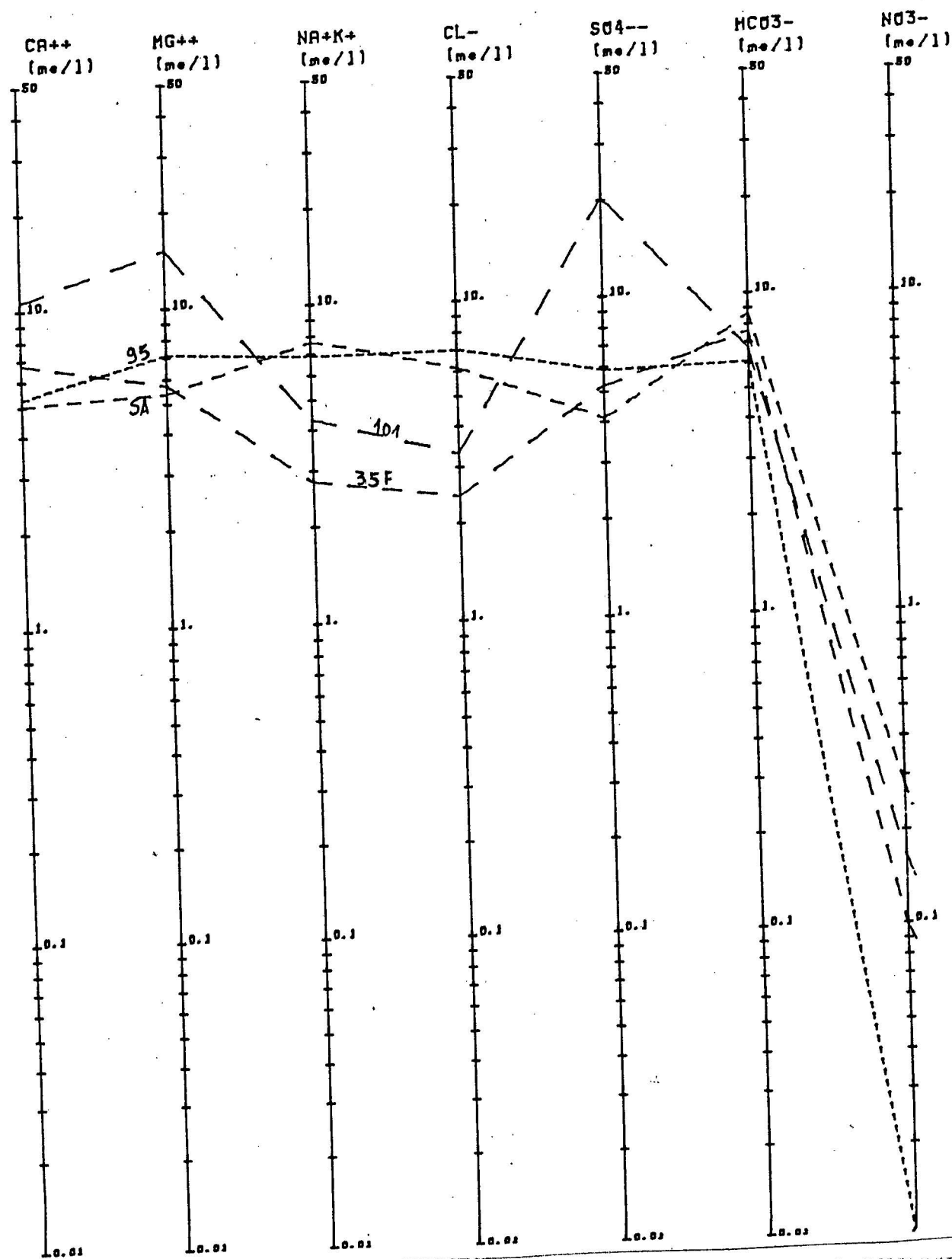
c) Variation spatiale :

Nous avons essayé de représenter sur un diagramme de Schoeller-Berkaloff (fig n° 60), l'évolution spatiale de la composition chimique en choisissant du Nord vers le Sud, 4 points d'eau qui nous ont amené à tracer le profil N-S.

Il en ressort que d'aval en amont, les eaux passent d'un faciès chloruré-magnésien (point 95) à un faciès sulfaté magnésien(101). On note, la présence d'un faciès bicarbonaté calcique en zone intermédiaire (Bois Sacré).

Fig n° 60 : Diagrammes de Schoeller-Berkaloff,
profil Nord-Sud; points, 95, SA, 35F, 101

SYMBÔLE	DATE	C	pH
95 -----	10.85	1500	7.2
SA -----	10.85	1400	6.8
35F -----	10.85	1100	7.1
101 -----	10.85	1750	6.9



VII-3.2.4. Diagrammes triangulaires :

L'interprétation de ces diagrammes repose sur les analyses chimiques de : (fig n° 61 et n°62)

- Juillet 1985
- Octobre 1985
- Janvier 1986
- Avril 1986

D'une manière générale, le faciès chimique est dominé par une prédominance entre les anions SO_4^{--} et HCO_3^- . Le type d'eau bicarbonaté calcique semble prépondérant pour l'ensemble des périodes.

Pour les cations, on observe une légère dispersion du nuage de points en Janvier 1986 au niveau du pôle calcique alors que pour les anions, le nuage de points semble couvrir outre le pôle bicarbonaté, le pôle sulfaté.

Fig n° 61 : Diagramme triangulaire de PIPER $Mg^{++}, Ca^{++}, Na+K$
(Juillet 1985-Janvier 1986-Avril 1986)

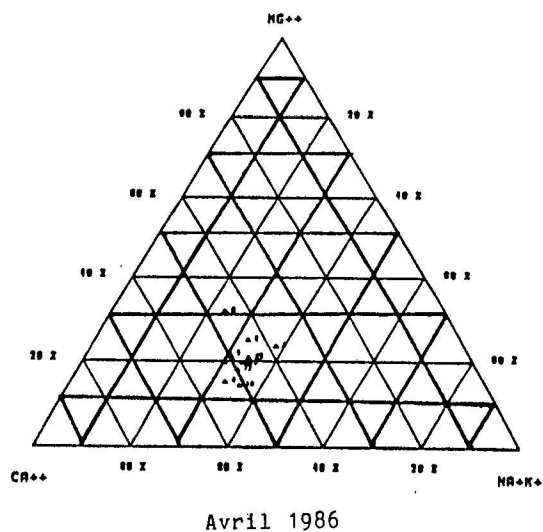
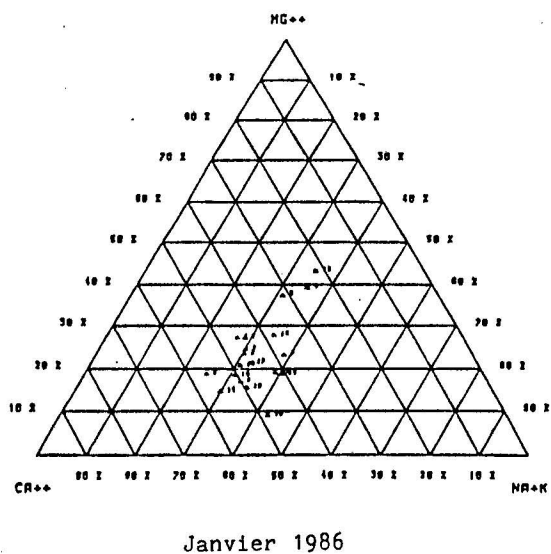
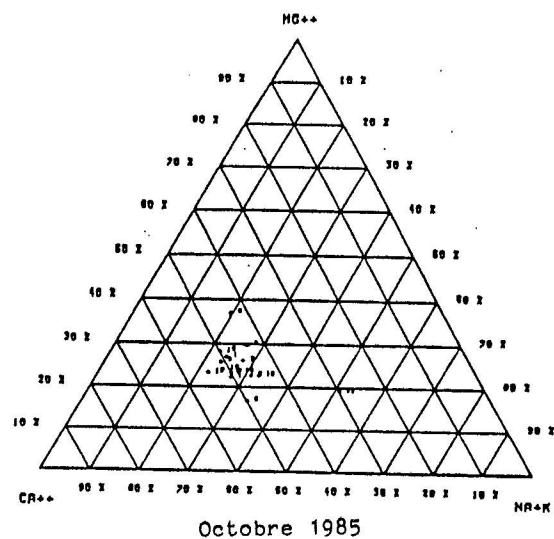
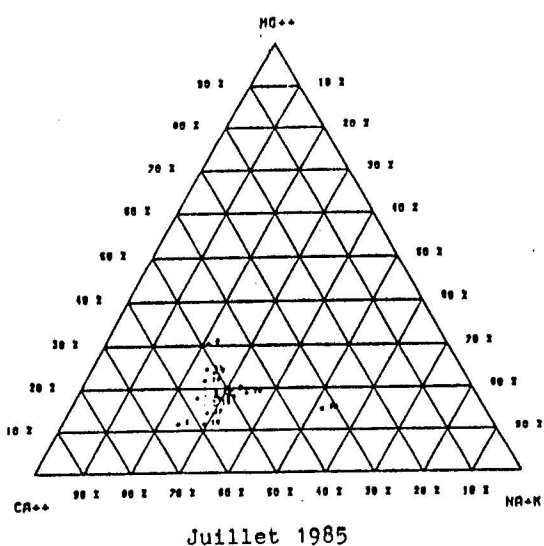
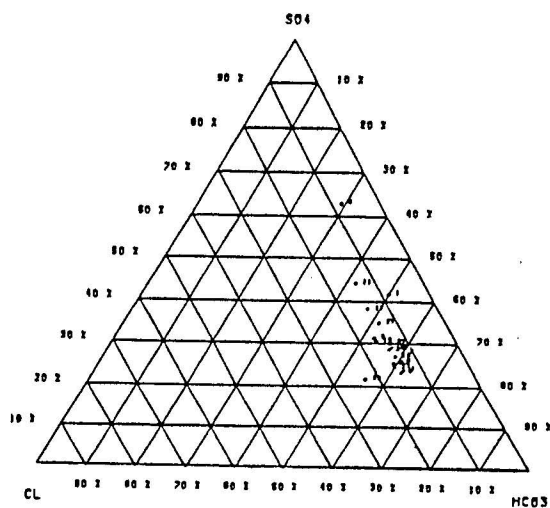
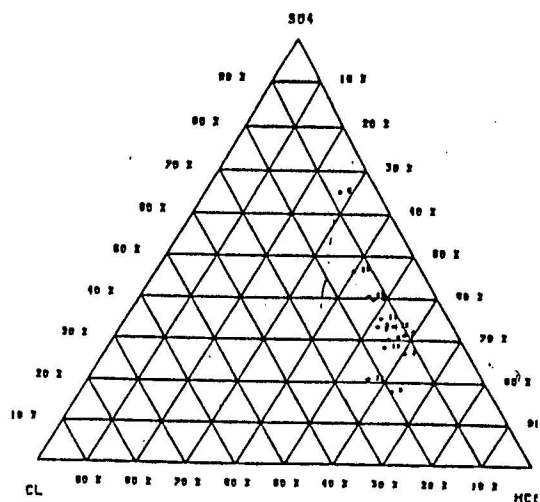


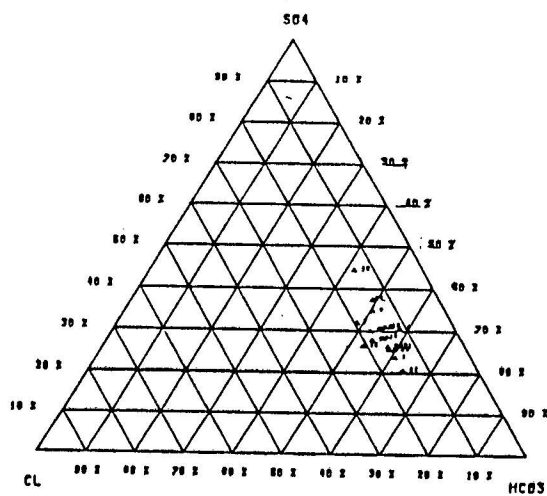
Fig n° 62: Diagramme triangulaire de PIPER SO_4 --, Cl -, HCO_3 -
(Juillet 1985-Janvier 1986-Avril 1986)



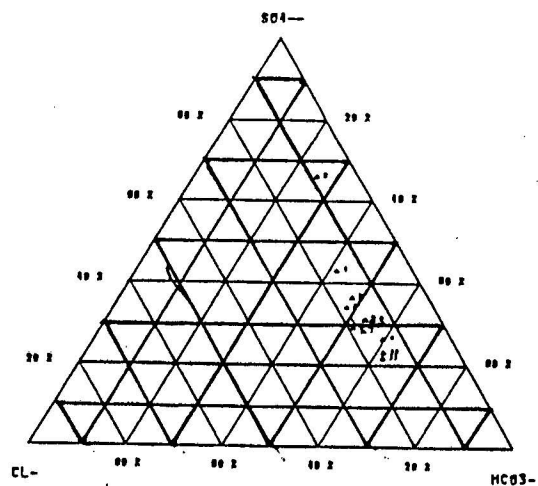
Juillet 1985



Octobre 1985



Janvier 1986



Avril 1986

VII-3.2.5. Analyse en composantes principales :

Pour mieux visualiser les variations et saisir le chimisme des eaux, nous avons procédé à une analyse statistique par la méthode des composantes principales [41] [10] [44] .

Cette analyse permet de déterminer les fonctions linéaires entre les variables qui discriminent au mieux l'ensemble des compositions chimiques et donc de mettre en évidence les groupements de variables qui sont prépondérantes dans la différenciation de la population analysée.

La représentation graphique nous permet de tirer plusieurs renseignements :

- * Les points situés près de l'origine ne sont pas corrélés significativement avec les facteurs,
- * la proximité des points représentatifs de deux variables signifie que ces variables sont bien corrélées,
- * la corrélation entre les variables est d'autant plus forte que leur distance à l'origine est grande (proche du cercle de rayon 1),
- * les coordonnées des points représentant une observation indiquent les composantes de ces observations en fonction de deux facteurs considérés, lorsque deux points individuels sont proches l'un de l'autre, ces individus ont le même comportement vis à vis des variables étudiées,
- * le cercle de rayon 1, l'unité choisie étant $\delta. X = \sqrt{VARX} = \sqrt{A. \max}$ représente le lieu des caractères entièrement corrélés avec le plan factoriel. Tous les points variables sont situés à l'intérieur de ce cercle dit de communauté (communality).

a) Matrice des coefficients de corrélation :

La matrice a été calculée à partir des analyses de Juillet 1985 (tableau n° 17).

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
Ca ⁺⁺	1,000							
Mg ⁺⁺	0,8999 *	1,000						
Na ⁺	0,316	0,450	1,000					
K ⁺	0,196	0,014	0,415	1,000				
Cl ⁻	0,379	0,429	0,936 *	0,421	1,000			
SO ₄ ⁻	0,903	0,968	0,378	0,088	0,326	1,000		
HCO ₃ ⁻	0,549	0,495	0,725	0,129	0,797	0,356	1,000	
NO ₃ ⁻	0,407	0,331	0,0016	0,349	0,047	0,263	0,360	1,000

Tableau n° 17 : Matrice des coefficients des corrélations (Juillet 1985)

Nous avons effectué cette étude afin d'observer l'existence éventuelle de relations entre les groupes (ou types d'eau). La matrice de corrélation (tableau n°17) doit être considérée avec prudence du fait du nombre assez faible d'individus lors de la campagne de Juillet 1985 (20 échantillons). Cette matrice montre de bonnes corrélations entre Ca^{++} et Mg^{++} ($r = 0,89$), Cl^- et Na^+ ($r=0,93$); SO_4^{--} et Ca^{++} ($r = 0,9$); SO_4^{--} et Mg^{++} ($r = 0,96$) et dans une moindre mesure HCO_3^- et Na^+ ($r = 0,72$).

- Contribution à l'inertie totale :

Sur les trois axes de contribution (1, 2 et 3), l'axe 1 représentant les ions Mg^{++} et Ca^{++} exprime 84,1 % de la variance, l'axe 2 représentant les ions Cl^- et HCO_3^- n'exprime que 13 % de la variance. Enfin l'axe 3 représentant les autres éléments n'exprime que 2 % de la variance.

Ainsi la représentation sur le plan 1, 2 sera la plus significative avec 97,1 % de la variance.

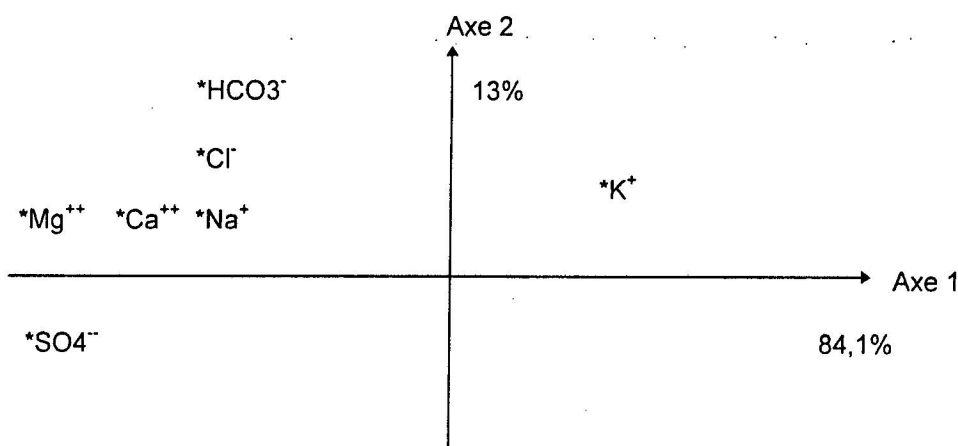


Fig. n° 63 : Analyse en composantes principales des éléments chimiques (période juillet 1985)

L'axe 1 montre un regroupement logique du SO_4^{--} avec Ca^{++} et Mg^{++} dans la zone négative. En revanche, l'axe 2 qui exprime 13 % de la variance, oppose nettement le groupe Na^+ , Cl^- et HCO_3^- au groupement précédent.

Nous interprétons l'axe 2 comme étant l'axe caractérisant l'opposition du faciès sodique opposé au faciès calcique. Cette opposition marque le phénomène d'échange chimique des deux éléments Na^+ et Ca^{++} de rayon ionique proche (4 et 6 Å).

b) Matrice des coefficients de corrélation (Janvier 1986)

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
Ca ⁺⁺	1,000							
Mg ⁺⁺	0,020	1,000						
Na ⁺	-0,241	0,188	1,000					
K ⁺	-0,238	-0,393	0,056	1,000				
Cl ⁻	-0,020	-0,249	-0,184	0,137	1,000			
SO ₄ ⁻	0,049	0,107	-0,124	0,456	-0,014	1,000		
HCO ₃ ⁻	-0,257	0,069	-0,03	0,207	-0,201	0,513	1,000	
NO ₃ ⁻								

Tableau n° 18 : Matrice des coefficients de corrélation (Janvier 1986)

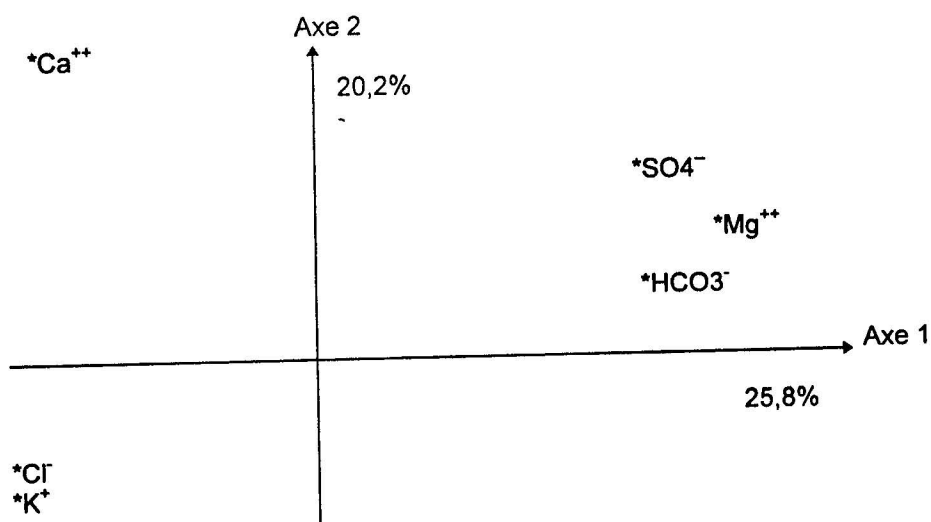
Cette matrice ne montre plus de corrélation (positive ou négative) entre les éléments qui subissent l'effet de la dilution par recharge de la nappe.

- Contribution à l'inertie totale :

Les trois axes (1, 2 et 3) contribuent à parts égales avec respectivement 25,8% ; 20,2% de la variance. La représentation dans le plan (1, 2) montre :

- l'opposition entre Na⁺ et Ca⁺⁺ qui entrent en compétition

- l'opposition entre Cl⁻ et HCO₃⁻, Cl⁻ et SO₄⁻

**Fig n° 64** : Analyse en composantes principales des éléments chimiques (Janvier 1986).

Du fait de la contribution semblable de chacun des axes (1 et 2), nous voyons que les éléments sont répartis en zones positive et négative.

VII-3.2.6. Irrigation des sols agricoles et notions de SAR

La concentration en sodium est importante dans la classification des eaux d'irrigation car cet élément réagit avec les sols réduisant leur structure, leur perméabilité, et la croissance des plantes au delà de leur saturation [32] [38] [39] .

La concentration en sodium est exprimée en % de sodium (pourcentage de sodium soluble) définit par la relation :

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

Les concentrations sont exprimées en méq/l.

Le laboratoire de salinité du Département d'Agriculture aux U.S.A., recommande l'utilisation du rapport d'absorption du sodium (SAR: Sodium Absorption Ratio) qui dépend directement de l'adsorption du sodium par le sol. Il peut se définir par la relation

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg}) / 2}}$$

(La concentration des éléments étant exprimés en méq/l)

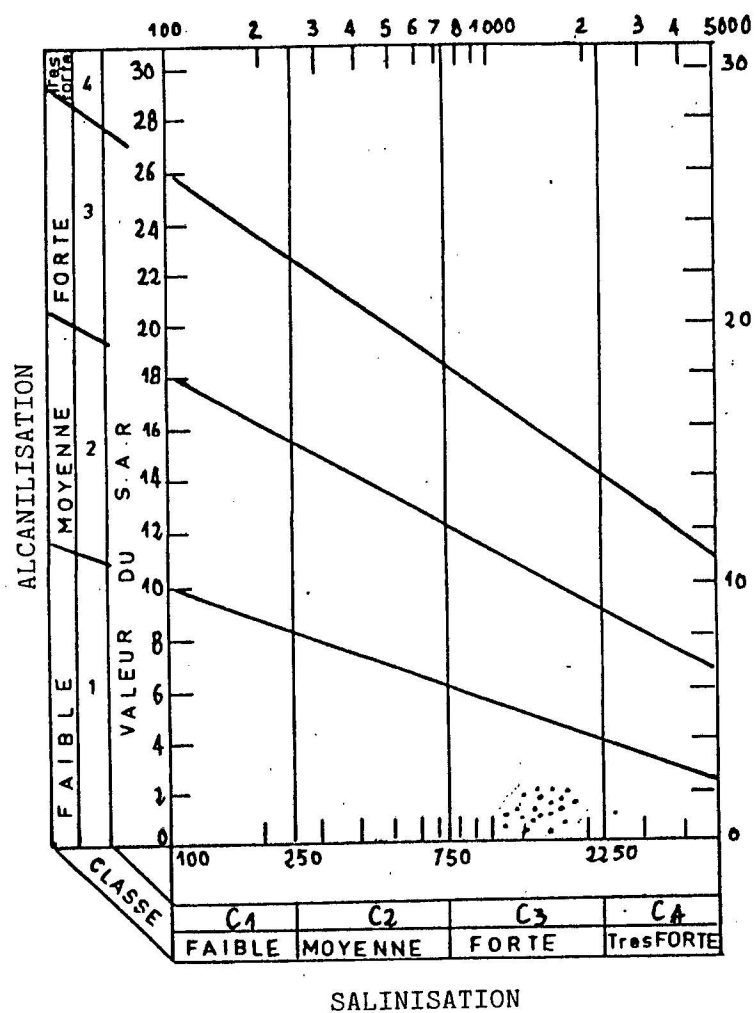
Les valeurs calculées du SAR , placent les eaux de la vallée de Oued El Hachem dans la classe C3 du diagramme de Richards (fig n° 65). Elles sont donc considérées comme fortement salinisantes. Ainsi, dans la mesure où l'irrigation dans la région est nécessaire, il est recommandé de :

- ne pas choisir les spéculations consommant beaucoup d'eau,
- de pratiquer la jachère pour diluer les sels du sol et permettre leur drainage,
- d'opter pour des cultures légèrement hyalines .

Certains apports au sol permettent cependant l'amélioration de leur réactions d'échanges de

bases, par maintien de leur textures à partir d'une adjonction de gypse (Ca SO_4) et par un choix approprié d'engrais. Dans le cas de la vallée de Oued El Hachem ceci ne peut être cependant une solution , vu les teneurs élevées en sulfates des eaux.

Fig n° 65: Classification des eaux d'irrigation - Diagramme de RICHARDS



VII-4 INTRUSION DES EAUX SALEES DANS LA PARTIE AVAL DE LA NAPPE

Le Caractère exoréïque de Oued El Hachem expose son estuaire à l'existence d'une interface eau douce- eau salée.

De ce fait, le problème de l'intrusion des eaux marines au niveau de l'aquifère est posé. Notons que le manque d'eau potable accusé le long du littoral, fait que parfois certains forages sont implantés dans des zones où l'interface est atteinte à un très faible débit de pompage, d'où l'arrivée d'eau très chargée en sels (2 g/l).

Dans notre secteur, nous avons tenté d'entreprendre une campagne de prospection géophysique électrique afin de positionner l'interface (contraste de la teneur en sels).

Après plusieurs essais, on n'a pas pu obtenir de résultats du fait de l'existence de lignes électriques de très haute tension traversant le secteur et qui perturbent les lectures sur l'appareil (polarisation spontanée non stabilisée).

Nous avons essayé d'approcher le problème par l'étude de la chimie des eaux prélevées à cet endroit. Au mois d'août 1987, Oued El Hachem étant à sec, nous avons creusé le long de l'oued à l'aide d'une pelle mécanique, douze trous de prélèvements.

Ces trous ont été creusés sur une distance totale égale à 1200 m environ à partir de la station de Bordj Ghobrini vers l'embouchure (fig n° 66).

Caractéristiques des trous :

- diamètre moyen: Φ 2,5m
- profondeur moyenne par rapport au niveau du sol : 1,65m
- épaisseur moyenne d'eau dans le trou : 25 cm

VII-4-1 Les diagrammes Schoeller-Berkaloff : fig. n° 67 et n° 68

D'après les analyses les diagrammes montrent que le type d'eau dominant est : chloruré-calcique.

VII-4-2 Les diagrammes triangulaires : fig. n° 69 et n° 70

Ces diagrammes donnent le même type d'eau avec l'existence d'eau de type sulfatée-calcique à magnésienne.

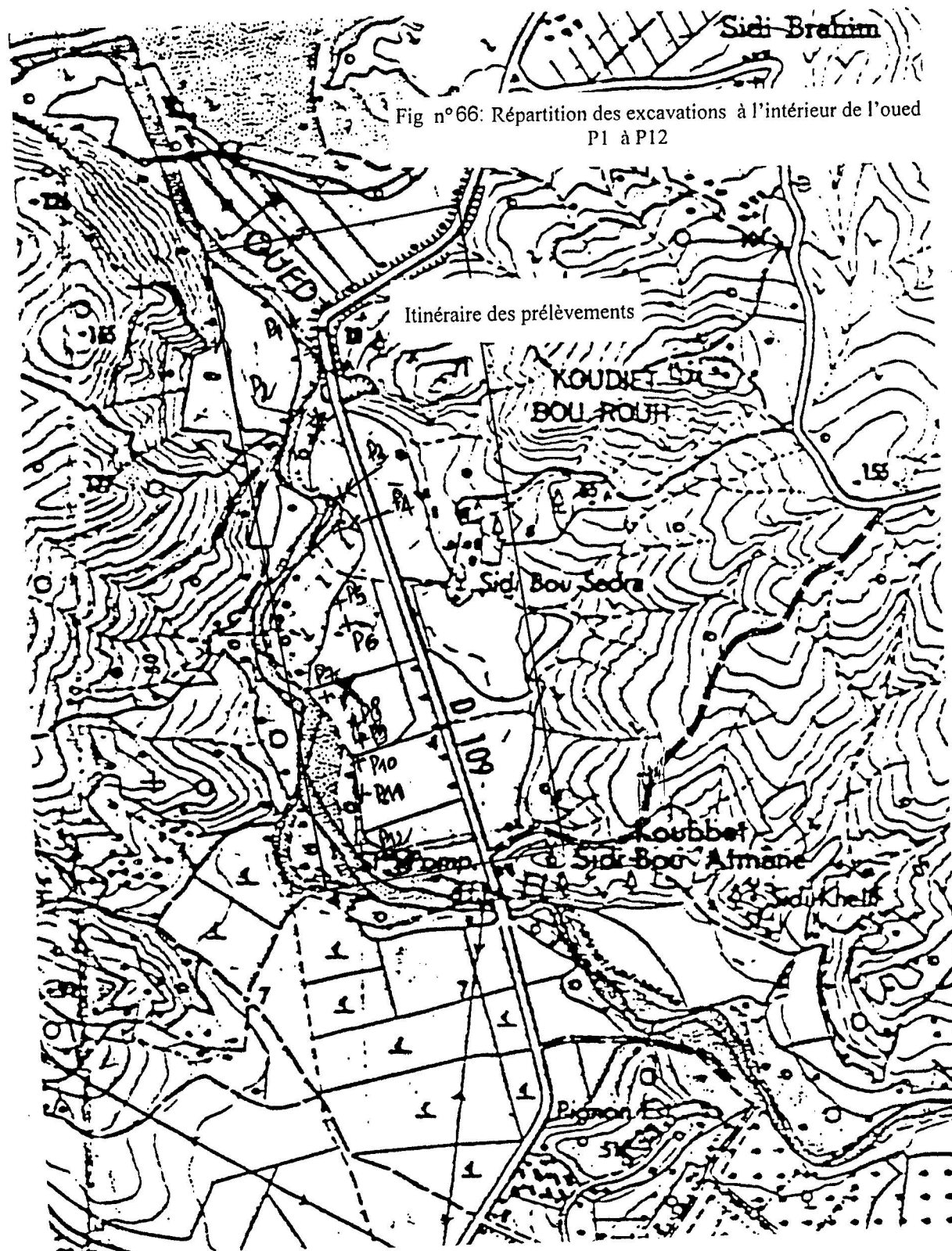


Fig n° 67: Biseau salé-diagramme de Shoeller-Berkaloff (P1 à P6)

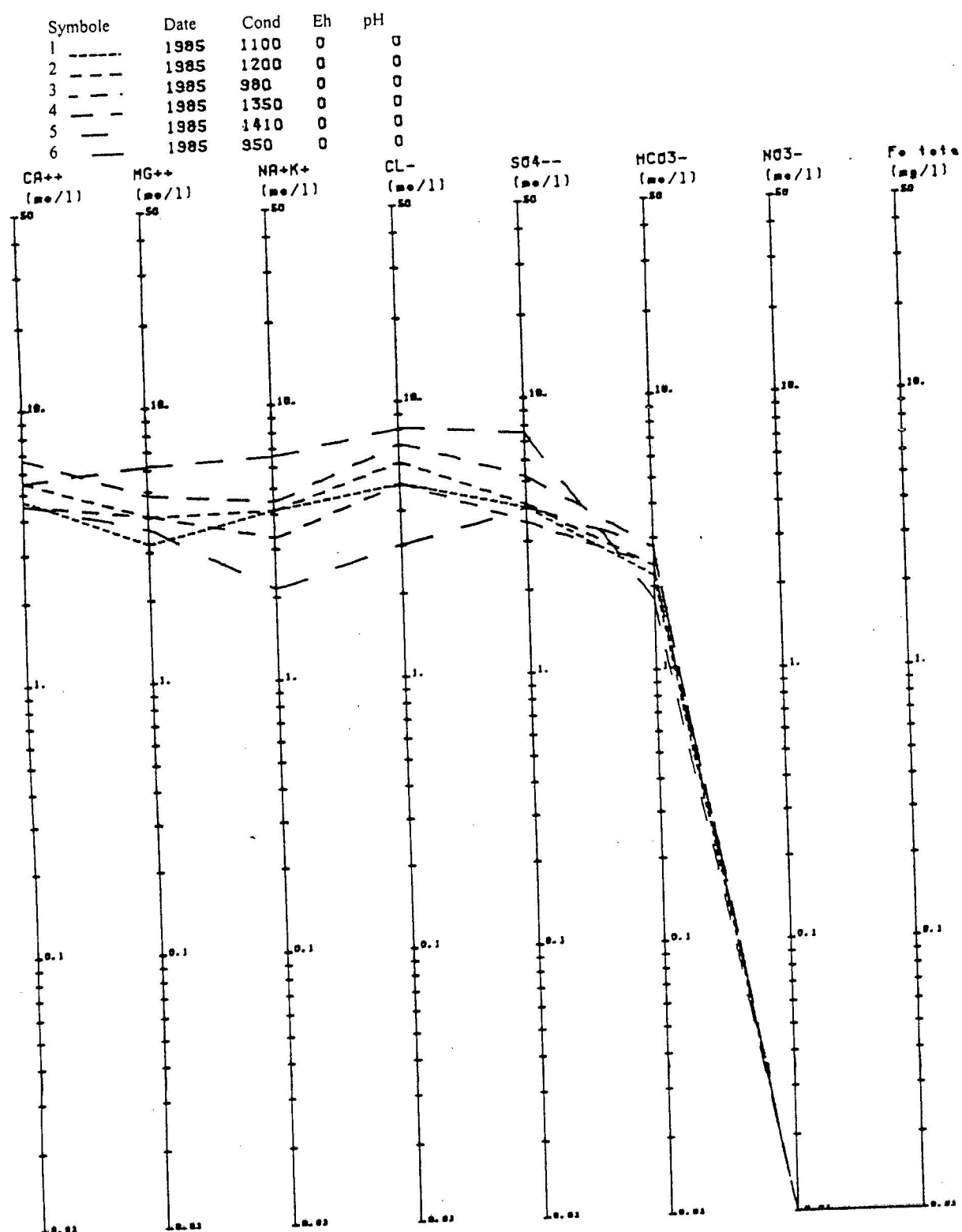


Fig n° 68: Biseau salé-diagramme de Shoeller-Berkaloff (P7 à P12)

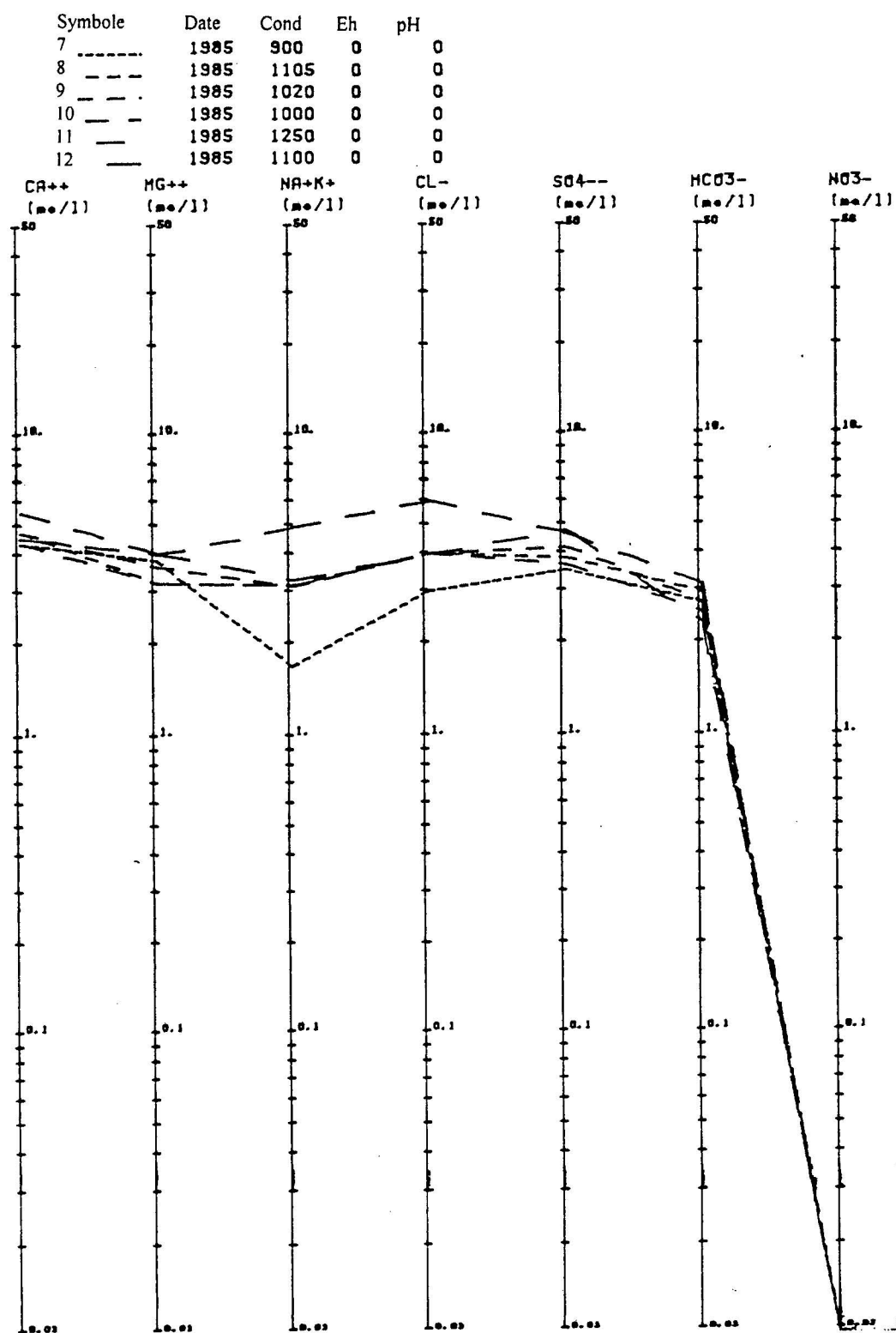


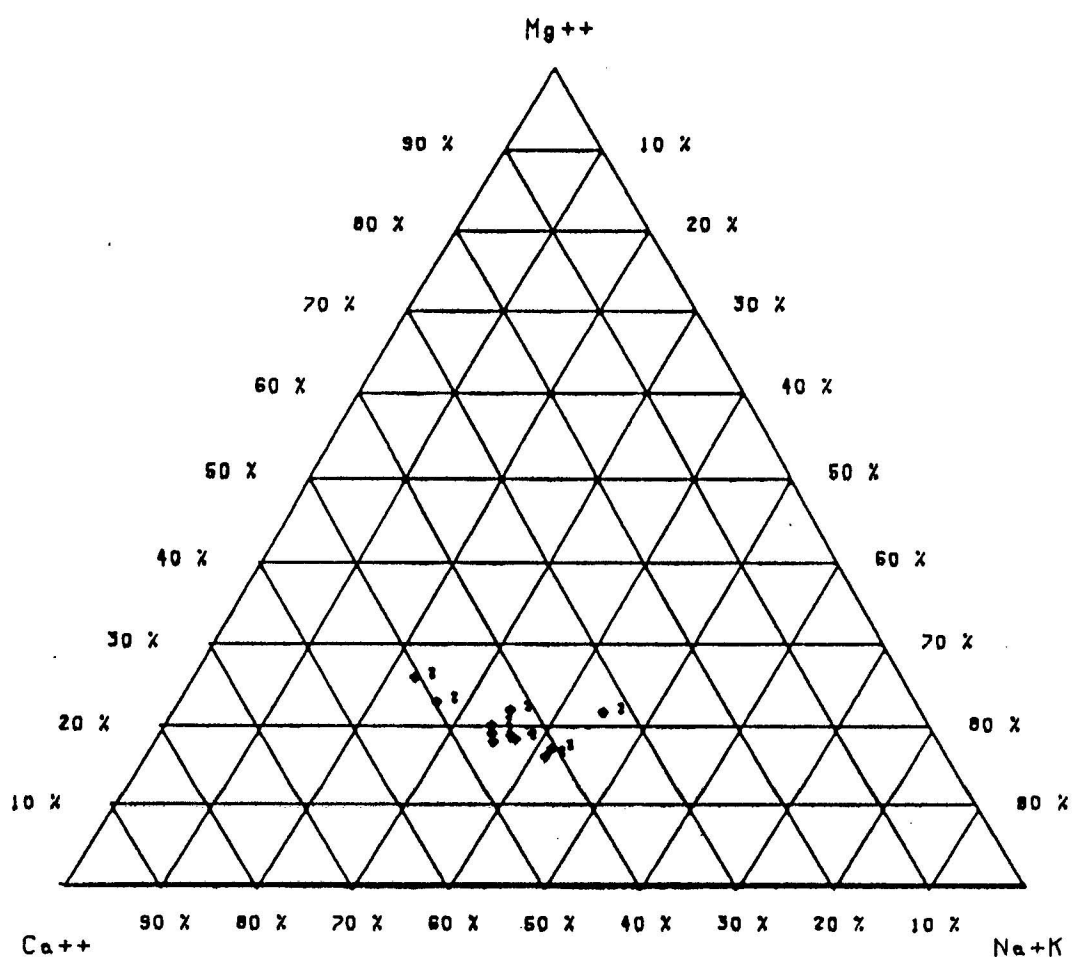
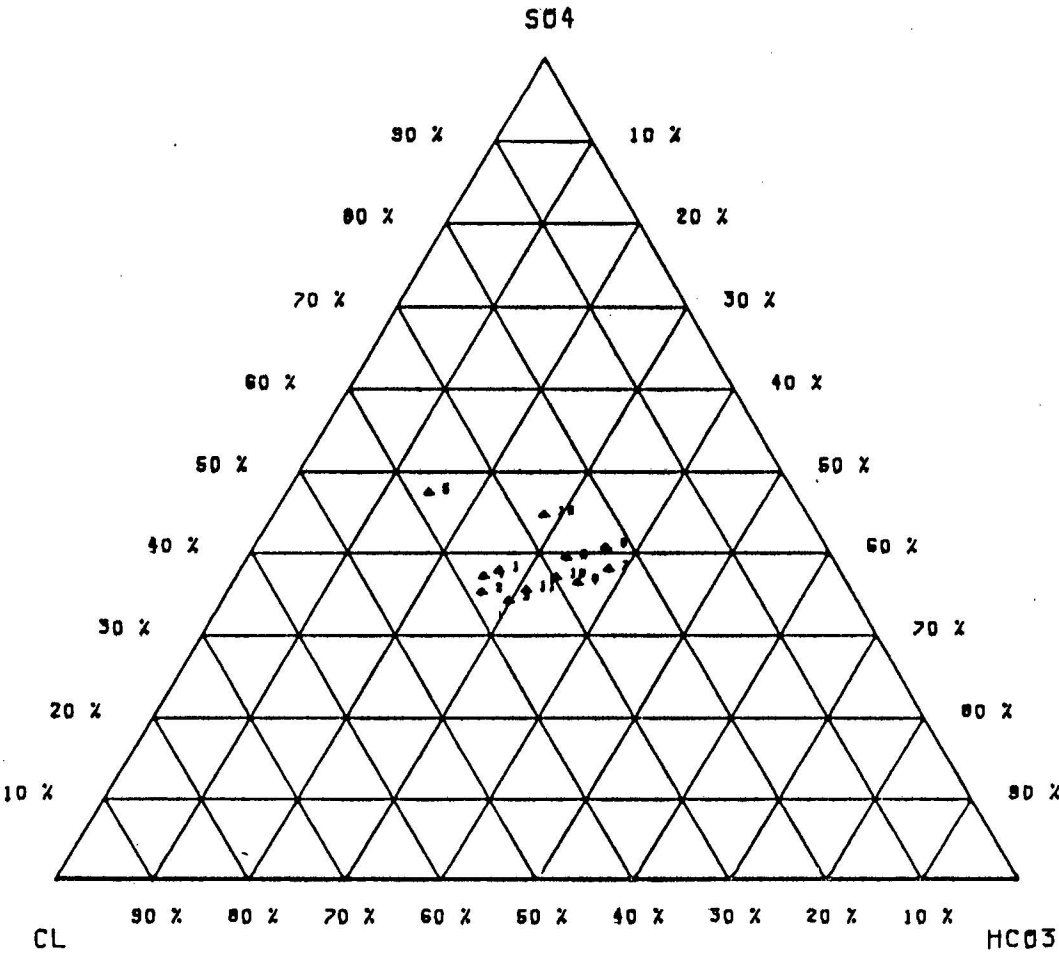
Fig n° 69: Biseau salé-diagramme triangulaire Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{Na}+\text{K}$ 

Fig n° 70: Biseau salé-diagramme triangulaire Cl⁻, SO₄⁻⁻, HCO₃⁻



VII-4-3 Analyse statistique :

	Moyenne	Variance	Ecart-type	Maximum	Minimum
HCO ⁻	158.6	496.1	22.2	195.2	109.8
Cl ⁻	174.5	2826.1	53.17	284.0	106.5
SO ₄ ⁻	210.87	2462	49.63	355.5	167.07
Ca ⁺⁺	101	187	13.67	136	88
Mg ⁺⁺	51.5	220	14.84	88.6	38.88
Na ⁺	82.53	792	28.15	148.4	37.10
K ⁺	2.21	0.73	0.85	3.71	1.24

Tableau n°19 : Analyse statistique des éléments chimiques (biseau salé)

Ce tableau montre que les eaux sont principalement :

- riches en : anions : sulfates
cations : calcium
- pauvres en : anions : potassium
cations : magnésium

La matrice de corrélation entre les éléments chimiques donne :

Cl - Na : coefficient de corrélation = 0.944
 SO₄ - Na : coefficient de corrélation = 0.823
 Cl - Ca : coefficient de corrélation = 0.818

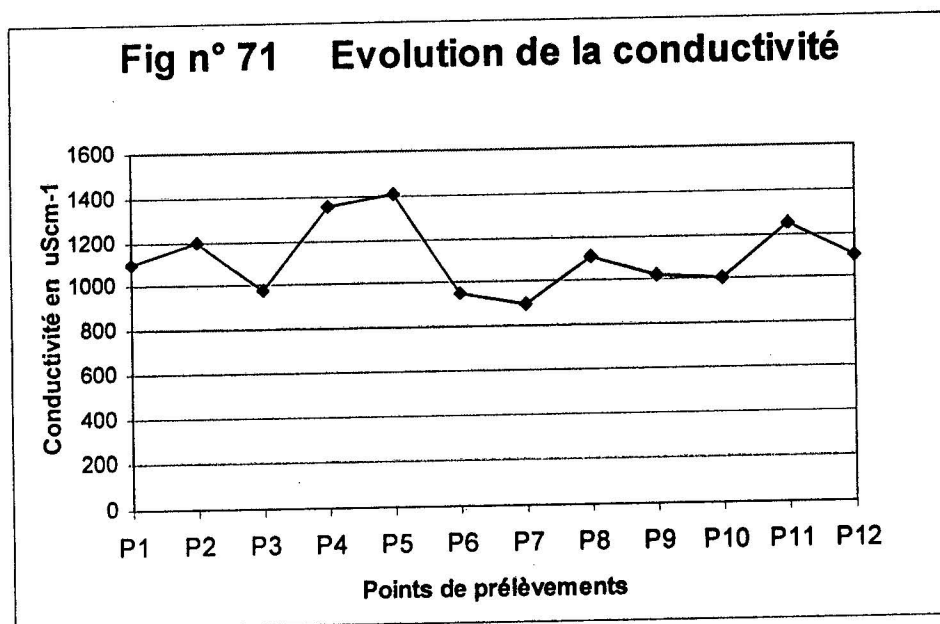
VII-4-4 Profils longitudinaux

Suivant l'axe d'écoulement des eaux, de l'oued El Hachem, nous avons établi quatre profils de P1 à P12 en nous intéressant aux éléments chimiques (Cl, Na+K, HCO₃), les conductivités et les résidus secs (tableau n° 20).

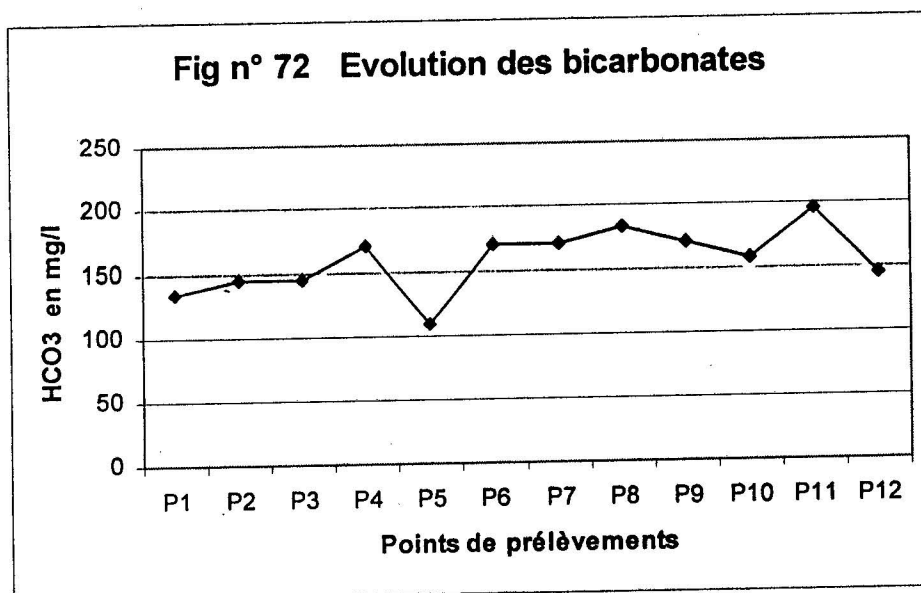
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Cond (μ S/cm-1)	1100	1200	980	1350	1410	950	900	1105	1020	1000	1250	1100
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	134	146	146	170	109	170	170	183	170	158	195	146
Cl ⁻ (mg/l)	177	213	177	248	284	106	106	142	142	142	213	142
Na+K ⁺ (mg/l)	95	95	75	102	152	49	39	73	71	73	112	75
RS (mg/l)	780	880	757	985	1130	660	629	730	732	693	910	737

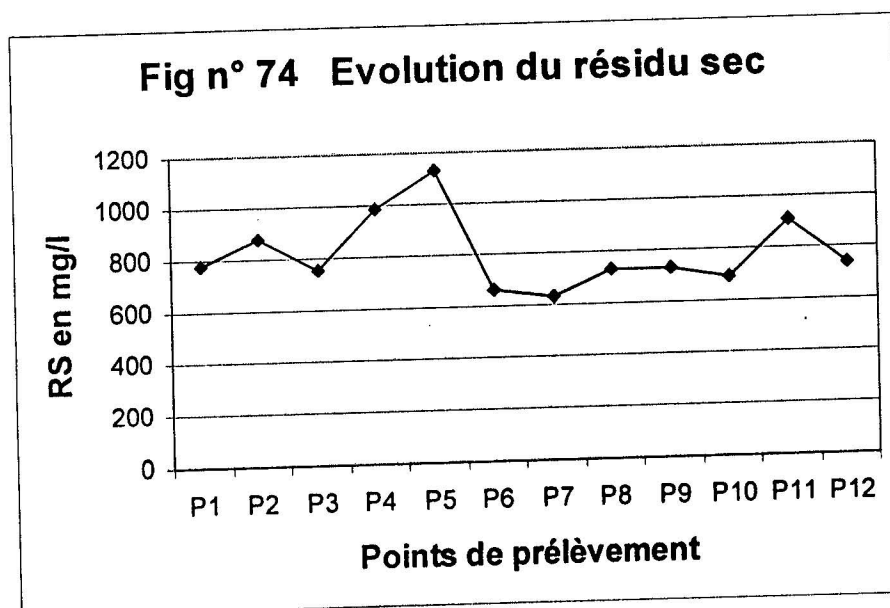
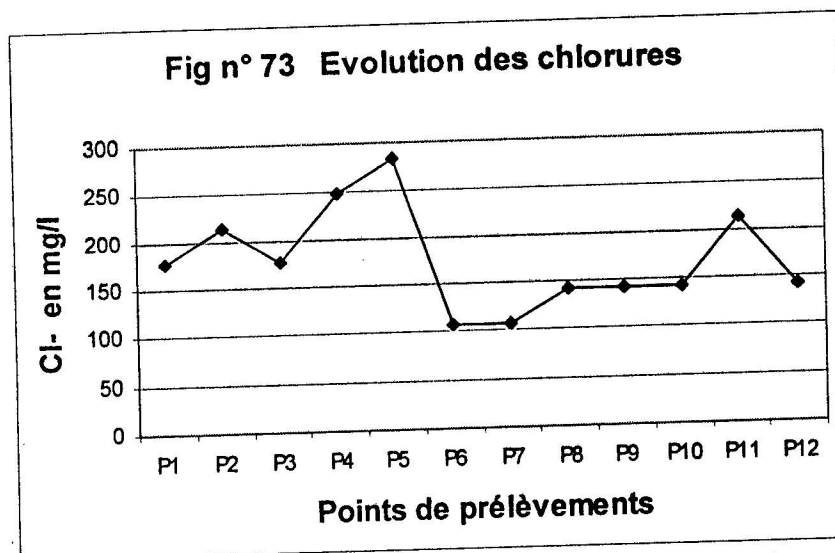
Tableau n° 20 : Evolution des bicarbonates, chlorures, sodium-potassium et résidu sec.

Les conductivités (fig. n° 71) sont de même ordre que les points d'eau situés dans la vallée, généralement supérieur à $1000 \mu S cm^{-1}$.



Les bicarbonates (fig. n° 72) montrent une teneur constante le long des douze points de prélèvements et on note au passage parfois des teneurs plus élevées en amont jusqu'au point 6. Les chlorures (fig n° 73), montrent que pour les points situés en aval, à proximité de la mer sont nettement plus riches en chlorure témoignant ainsi de l'influence de la mer.





Les résidus secs (fig. n° 74) :

Leur distribution montre une augmentation depuis la station Bordj Ghobrini vers la mer, donc on assiste à une minéralisation et probablement une contamination des eaux douces par l'eau de mer.

VII-4-5 Etude de la saturation des eaux

Le programme bi-active [33] [34] permet d'établir avec une bonne précision, l'activité des ions dans une solution aqueuse dont la force ionique n'excède pas 0.1. Ainsi on traitera les données brutes (ions majeurs) fournis par les dosages en laboratoire.

Point de prélèvement	Kps calcite	QCaCO ₃	Kps gypse	QCaSO ₄
P1	$4.2 \cdot 10^{-9}$	$1.6 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$1.2 \cdot 10^{-6}$
P2	$4.2 \cdot 10^{-9}$	$2.1 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-6}$
P3	$4.2 \cdot 10^{-9}$	$1.7 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^{-6}$
P4	$4.2 \cdot 10^{-9}$	$2.6 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$1.8 \cdot 10^{-6}$
P5	$4.2 \cdot 10^{-9}$	$1.5 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$2.0 \cdot 10^{-6}$
P6	$4.2 \cdot 10^{-9}$	$1.7 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$1.1 \cdot 10^{-6}$
P7	$4.2 \cdot 10^{-9}$	$1.6 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^{-6}$
P8	$4.2 \cdot 10^{-9}$	$1.7 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$1.2 \cdot 10^{-6}$
P9	$4.2 \cdot 10^{-9}$	$1.7 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$1.2 \cdot 10^{-6}$
P10	$4.2 \cdot 10^{-9}$	$1.5 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^{-6}$
P11	$4.2 \cdot 10^{-9}$	$2.2 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-6}$
P12	$4.2 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-6}$

Tableau n°21 : Saturation des eaux vis à vis de la calcite et du gypse

Les échantillons prélevés montrent une légère sursaturation en calcite et une sous-saturation en gypse. Ainsi la dissolution des calcaires et des calcaires dolomitiques dans cette zone contribue donc à cette saturation en calcite.

VII-5- CONCLUSION

Le caractère captif de la nappe en zone aval et libre en zone amont, est confirmé par la distribution des éléments chimiques de ses eaux. En effet, l'ensemble des cartes physico-chimiques montre la présence quasi - permanente en période d'assèchement de l'oued, d'une concentration assez importante des éléments chimiques dans la zone de Bois - Sacré - Bou Aroua. En début de période de hautes eaux, nous assistons en revanche à une nette régression de la zone de forte concentration, par effet de dilution par les apports de l'oued qui contribuent de façon directe à renforcer la dynamique propre de la nappe.

La géométrie des lignes en iso-éléments confirment le sens nord-sud et les axes préférentiels de l'écoulement.

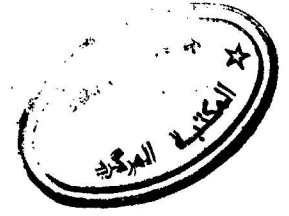
La variation des faciès chimiques dans le temps et dans l'espace étant le produit de réactions chimiques entre les eaux et leur environnement, la prédominance du faciès calcique en période de basses eaux, confirment les échanges dans la mesure où les calc aires sont abondants à l'ouest de la plaine.

Les rapports étroits avec l'oued sont montrés à travers la dilution de certains ions, en période de hautes eaux. Le changement de certains faciès chimiques des eaux dans la partie centrale (enrichissement en sulfate et calcium) peut quant à lui, être un indice de dilution des amendements agricoles durant cette période.

Cet enrichissement ne concernant que l'horizon supérieur, le niveau inférieur quant à lui voit ses eaux se décaler vers le pôle calcique-bicarbonate, ce qui est certainement dû à une drainance verticale.

L'hydrochimie a ainsi :

- montré l'existence de rapports hydrodynamiques d'échanges entre l'oued et la nappe.
- confirmer le sens nord-sud et les axes préférentiels d'écoulements
- qualifie la qualité des eaux de passable avec une vulnérabilité à toute forme de pollution existante (amendement agricole exagéré, rejets directs dans l'oued): $\text{NO}_3 < 50 \text{ mg/l}$ et $\text{RS} < 3000 \text{ mg/l}$ dans les cas les plus défavorables.



CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

ANNEXE I

Formules de calcul de l'ETP

A N N E X E

Cette formule déjà ancienne (1944) est basée sur de nombreuses expériences effectués sur des cases lysimétriques. Ainsi l'ETP est donné par la relation suivante :

$$ETP = C \cdot t^a$$

ETP : évapotranspiration mensuelle pour un mois fictif de 30 jours et une durée théorique d'ensoleillement de 12h/24.

t : température moyenne mensuelle en °C pour le mois considéré

C et a : fonction de "l'indice thermique mensuel" donné par la formule :

$$i = \frac{(t)^{1,514}}{5}$$

Si l'on appelle I l'indice annuel égal à la somme des 12 indices mensuels ci-dessus, la valeur de a est donnée en adoptant les simplifications de la longue formule de Thornthwaite proposée par SERRA, par l'expression :

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

$$\text{Alors } (ETP) = \frac{1,6 (10 t)^a}{I}$$

La fonction (ETP) = F(t), peut être représentée par une droite sur un graphique bi-logarithmique. L'expérience montre, que pour des lieux et des climats différents, ces droites concourent vers le point de coordonnées :

$$\begin{aligned} (ETP) &= 13,5 \text{ cm} \\ T &= 26,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

L'ETP obtenue sera multipliée par un facteur de correction fonction de la latitude de la station de mesure (Cherchell) et le mois d'ensoleillement considéré.

M. TURC établi à partir des observations sur 254 bassins versants situés sur tous les climats du globe l'expression :

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

D ou ETR : évapotranspiration réelle en mm/an
P : précipitations annuelles en mm
L : pouvoir évaporant
L : 300 + 25 t + 0,05 t₃

où t représente la température moyenne annuelle

L'évapotranspiration réelle est calculée à partir de la formule suivante :

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

p : Précipitation moyenne annuelle en mètres

$$= \frac{1}{0,8 + 0,14 T}$$

T : Température moyenne annuelle en °C

Cette formule ne s'applique que pour :

$$\frac{1}{8 \lambda} < P < \frac{1}{2 \lambda}$$

ANNEXE II

Méthodes de dosage en hydrochimie

A N N E X E

1- Dosage titrimétrique :

- La dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) peut être assimilée à la somme des concentrations en cations Ca^{++} et Mg^{++}

On opère alors à un dosage simultané du Ca et Mg par complexométrie à pH-10. Les alcalino présents dans l'eau forment un complexe avec le sel disodique de l'E.D.T.A. La fin de titration est marquée par le virage d'un indicateur spécifique : le Noir Echiochrome.

- La dureté calcique : le principe du dosage du calcium est identique à celui de la méthode complexométrique de la mesure de la dureté totale. Le dosage se fait ici, à un pH-12 à 13, le Mg étant alors précipité sous forme d'hydroxyde.

- La dureté magnésique : la différence entre la dureté totale et la dureté calcique donnera directement la dureté magnésique de l'eau analysée.

- L'alcalinité : les ions carbonates HCO_3^- et bicarbonates CO_3^{--} sont dosés par acidimétrie.

- Les chlorures sont dosés en milieu acide, par addition de nitrate d'argent. La fin de la titration est déterminée par potentiométrie.

2. Les dosages colorimétriques

Le dosage des sulfates : ions SO_4^{--} sont précipités par le chlorure de Baryum sous forme de sulfate de barium. Le précipité très fin, est maintenu en suspension par un produit tensio-actif "TWEEN 80".

3. Les dosages par spectrométrie :

Dosage du sodium et du potassium : ces deux éléments sont dosés par spectrophotométrie.

4. Analyse physique :

- La conductivité : elle a été mesurée à l'aide d'un conductivimètre (L 17 BISCHOF). Le résultat est exprimé en s cm^{-1} à 25°C , après correction de température.

- le pH : il est mesuré au pH-mètre avec une électrode indicatrice en vue et une électrode de référence de calomel.

- Le résidu sec est obtenu par pesée après évaporation à sec, dans un four à infra-rouges et passages dans une étuve à 110°C .

ANNEXE III

Organismes cités dans le texte

A N N E X E

LISTE DES ORGANISMES CITES DANS LE TEXTE

B.G : BONNARD -GARDEL (bureau d'étude Suisse)
CGG : Compagnie générale de géophysique
DHW : Direction de l'hydraulique de la wilaya de Blida
ANRH : Agence nationale des ressources hydrauliques (Alger)
MHEF : Ministère de l'hydraulique ,de l'environnement et des
forêts (Alger)
URG :Unité de recherche de Géologie (Alger)

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS :

L'étude que nous avons menée , nous a permis d'apporter notre contribution à la connaissance et la compréhension des conditions hydrogéologiques au niveau du bassin versant de Oued El Hachem où est mis en service le barrage de Boukourdane ,situé à la sortie du village de Sidi Amar.

Ce modeste travail nous a permis également d'utiliser l'outil informatique comme moyen de traitement pour l'étude des problèmes hydrodynamiques et la gestion de la ressource en eau ainsi que l'hydrochimie.

La région d'étude appartenant au domaine de l'Atlas tellien littoral est soumise à un climat de type méditerranéen caractérisé par une saison pluvieuse et une saison sèche . Les moyennes des températures relevées à la station de Cherchell « phare » varient entre 11°6 et 24°4 C . La pluviométrie moyenne annuelle est faible ,de l'ordre de 578 mm ,avec une évapotranspiration de 863 mm .

Cette zone d'étude présente une grande complexité géologique due à la fois à la terminaison occidentale des affleurements pliocène ,type sahel,au contact anormal entre le flysch Albo-Aptien et Crétacé moyen ainsi qu'à la variation de faciès et enfin aux intrusions doléritiques.

Les résultats de l'étude altimétrique ,montrent l'existence de six (06) niveaux en rive droite de l'oued;le niveau zéro ,situé à 3,5 m au dessus de l'oued,constitue le réservoir alluvial de la nappe

Ce réservoir a fait l'objet d'une reconnaissance par prospection électrique ayant permis la différenciation entre alluvions et substratum.Les alluvions sont constituées en majeure partie par des sables et graviers résistants (plus de 60 Ohm.m) ,par contre le substratum est constitué par les marnes du pliocène et de flyschs avec des résistivités (inférieures à 30Ohm).

Les différentes descriptions lithologiques et structurales des alluvions de Oued El Hachem ont permis la mise en évidence de relations hydrauliques entre alluvions et les roches encaissantes, tel le cas des calcaires yprésiens en bordure occidentale .

Sur le plan hydrodynamique, les cartes piézométriques réalisées, montrent que les eaux de la nappe après leur mise en charge au sud de la région (Sidi Amar), circulent d'une manière générale du sud vers le nord et que la zone aval est soumise à un pompage très important pouvant provoquer la pénétration des eaux marines à l'intérieur de la nappe.

Les transmissivités augmentent en général du sud vers le nord et les perméabilités restent moyennement bonnes oscillant entre $0,65 \cdot 10^{-4}$ et $10,8 \cdot 10^{-4}$ m/s.

La construction et la mise en service du barrage de Boukourdane, avec un volume régularisé de 49 millions de m^3 et une capacité totale de retenue de 97 millions de m^3 , ont montré qu'après presque l'assèchement total de la nappe, il est nécessaire de maintenir un débit écologique permettant l'alimentation de la nappe ($Q_{\text{moyen}} = 0,548 m^3/s$) surtout entre Mars et Juillet.

L'essai de modélisation mathématique en différences finies, a permis dans une première phase de restituer la piézométrie calculée au stade final du calage par rapport à la piézométrie de référence, et dans la seconde phase de constater la bonne similitude entre les courbes réelles et celles calculées.

Les hypothèses de travail émises au départ montrent à travers le bilan hydrologique une nette diminution du stockage de l'aquifère (-0,3485 unités).

Les analyses physico-chimiques nous ont permis de bien apprécier les faciès chimiques, leur évolution dans le temps et l'espace. La cartographie des différents éléments chimiques (anions et cations) permet la mise en évidence de 03 zones assez bien différenciées à savoir :

- * une zone amont alimentée par les eaux de pluie,
- * une zone intermédiaire caractérisée par une alimentation à partir des eaux de ruissellement,
- * une zone aval, où apparaît un mélange de toutes les eaux et soumise à une pollution de type agricole.

L'ensemble des analyses ,montre que les eaux de la nappe de Oued El Hachem sont riches en magnésium et calcium et que les sulfates constituent le principal pôle anionique .

Le diagramme de Richards ,montre que les eaux sont considérées comme fortement salines.

Aussi ,faut-il recommander ,la jachère ,pour diluer les sels du sol et permettre leur drainage tout en optant pour des plans de cultures légèrement hyalines .

Par ailleurs,les rapports étroits de la nappe avec l'oued s'expliquent par la dilution de certains ions en périodes de hautes eaux et le changement de faciès notamment dans la partie centrale ou intermédiaire montrant des eaux riches en sulfates .

Enfin ,les eaux de Oued El Hachem sont de qualité passable avec une forte vulnérabilité à toute forme de pollution extérieure s'ajoutant à l'intrusion marine.

Ce travail reste certainement à affiner à une échelle réduite qui devra porter essentiellement sur le lit et les berges de Oued El Hachem dans la mesure où il a été démontré ses relations hydrodynamiques étroites avec l'aquifère .Cette option de pure aménagement pourrait concerner :

- la détermination précise des portions de berges et de lit à aménager (enrochement et végétalisation)
- la réalisation de ralentisseur à l'intérieur du lit de l'oued dans ses endroits les plus perméables avec calcul précis du temps et les volumes de recharge de la nappe.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] M. MATTAUER (1956). Essai de coupe du Tell Algérois .BSGF (6) ,VI ,p 189-199.
- [2] M. KIEKEN (1962) .Les traits essentiels de la géologie algérienne .Mém , hs, SGF ,n°1 TI p 545-614.
- [3] G. CHEYLAN (1954) .Le barrage du Ghrib .Publ.XIXème .Congrès géol intern .La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie t I .
- [4] P.E. COIFFAIT , Y.QUINIF (1975) .Microformes karstiques et fracturations au djebel Sidi R'gheiss.Constantinois ,Algérie Nord - Est. Annales spéléo.BESANCON.
- [5] L. BARBIER , A. COMBES (1976) ;méthodes d'étude d'un aquifère karstique en vue de travaux souterrains .Galerie de MONTRIEUX .VAR
Annales scientifiques de BESANCON.Fasc .25, 3^{ème} série.
- [6] G. GIGNOUX ,R.BARBIER (1955).Géologie des barrages et des aménagements hydrauliques INRH. ALGER
- [7] J. SARROT-REYNAULD ,M.ZAMANKHAN (1976). Caractéristiques hydrodynamiques des calcaires de la région de CHIRAZ (IRAN).Analyse de la fissuration et du mode de tarissement des sources karstiques du bassin de MOHARU. Ann.Scientifiques de BESANCON . Fasc 25 ,3^{ème} série .pp 381-389.
- [8] M. MESBAH (1981).Contribution à l'étude hydrogéologique de la basse vallée de l'oued Nador (région de Tipasa).Thèse de 3^{ème} cycle .USTHB.
- [9] A.C. TOUBAL (1984).Etude hydrogéologique du massif dunaire de Bouteldja (W.ANNABA).Thèse de 3^{ème} cycle .USTHB.
- [10] A.N .SAVADOGO (1985).Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute – Volta.Etude régionale du bassin versant de Sissili.Thèse de Doctorat ès Sciences ,Grenoble.
- [11] J. MANIA (1983).Modèle d'écoulement bi - dimensionnel transitoire . Cours de DEA.Laboratoire de géologie appliquée .Université des sciences et techniques de Franche-comté. 15p.
- [12] J. MANIA (1976).Modèle transitoire de la nappe calcaire carbonifère de la région de Lille (nord) à Tournai (Belgique). Simulation de l'alimentation artificielle .Bull.Rech.Géol et minères .(2).
- [13] J.BOONSTRA et N.A DE RIDER (1981) . Numerical modelling of groundwater bassins.I.L.R.I.Publication.226 pages.

- [14] DE MARSILY (1981) .Hydrogéologie quantitative.Ecole supérieure des mines de Paris
Masson édition . 215 pages
- [15] G. CASTANY et MARGAT (1977).Dictionnaire français d'hydrogéologie.Bur. Rech
.Géol Minières.249pages
- [16] G. CASTANY (1982) .Principes et méthodes de l'hydrogéologieDunod .Edition Paris
.334 pages
- [17] G. CASTANY (1976) Traité pratique des eaux souterraines Dunod.Paris.657 pages
- [18] Ph. VERJUS (1984) . Etude hydrogéologique et hydrochimique de la dynamique du fer,
manganèse dans les eaux souterraines . Application à la nappe alluviale de l'OGNON (.
Franche-comté) et modélisation en laboratoire .Thèse de 3^{ème} cycle.Université des sciences
et techniques de Franche - comté . pp 56-64
- [19] J. MANIA, E . FOQUENOEY - NIEMCZYK, S. RAMON et B.VERBEKE
(1982).Caractéristiques de la réponse des diverses unités hydrogéologiques calcaires du nord
de la France.Ann.Sc de l'université de Besançon.Géol,fasc ,4,4^{ème} série pp 27-36
- [20] S .IMERZOUKENE ,J . MANIA , J.M BRAIVAIX (1985).Pollution saline de la nappe
côtière à l'est d'Alger . Annales scientifiques de l'université de Besançon .Hydrogéologie n°3
- [21] J . R. VAILLANT (1977) .Accroissement et gestion des ressources en eau . Eyrolles
éditeurs
- [22] J. L . SAUTIER (1977).Résumé des cours de 3^{ème} cycle en hydrologie opérationnelle et
appliquée Lausanne .Ecole polytechnique
- [23] M. DURAND DELGA (1962).Esquisse strcturale de l'Algérie ,in lexique strtidraphique
international,vol IV,Afrique ,fasc 1b Algérie ,CNRS.
- [24] Compagnie générale de géophysique .(1966).Rapport géophysique de la plaine alluviale
de l'oued el hachem.INRH Alger
- [25] L.GLANGEAUD (1930).La structure des régions littorales de l'Algérie entre Tenès et
Philippeville CRAS.t 190 n°=16 pp 968- 971
- [26] L.GLANGEAUD (1932).Etude géologique de la province d'Alger
- [27] P. SELTZER (1948).Le climat de l'Algérie.Bulletin série .Institut de météorologie et de
physique du globe .Alger .219p
- [28] C. LEPVRIER (1978).Les plis couchés schisteux des massifs du Chéllif (Tell algérois
) .Une tectonique d'âge drétacé supérieur.Revue géographie physique et géologie dynamique
(2),fasc1,pp 123-136.

- [29] A. PERRODON (1957). Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale. Service de la carte géologique de l'Algérie, nouvelle série, bulletin n°=12
- [30] C. LEPVRIER, J. MAGNE, J. SIGAL (1970). Données stratigraphiques et structurales sur les formations telliennes d'une partie du tell septentrional (secteur compris entre Cherchell, Miliana, El Asnam et Ténès, Algérie). Bulletin de la société géologique de France, (7), XII, n°=5
- [31] C. LEPVRIER (1967). Sur la structure du massif du Chenoua Algérie. Extrait du bulletin de la société géologique de France. 7ème série, tIX, pp 859-864
- [32] S. D. FOSTER, C. P. YOUNG (1979). Conséquences de l'utilisation agricole des sols sur la qualité de l'eau souterraine et notamment sur sa teneur en nitrates. Bulletin du BRGM, 2ème partie, section III, n°=3, pp-245-256 (7 fig, 1 tab)
- [33] J. P. MONTOROI, M. RIEU (1987). Calcul des activités ioniques dans une solution aqueuse. Programme active pour IBM-PC et compatibles. Cahiers de l'ORSTOM, série pédologie, vol XXIII, n°=2, pp-133-150
- [34] J. MANIA, V. MEENS (1984). L'interface eau douce - eau salée en Flandres françaises. Bulletin de la société géologique de France, tXXVI, n°= 6, pp1281-1291
- [35] A. LARAQUE (1991). Comportements hydrochimiques des « Açades » du Nord-Est Brésilien semi-aride. Evolutions et prévisions pour un usage en irrigation. Thèse de docteur d'université. Académie de Montpellier II. Sciences et techniques du LANGUEDOC.
- [36] A. S. FARAH. (1991). Etude du comportement hydrochimique d'un oued en zone méditerranéenne semi-aride d'Afrique du Nord et ses causes naturelles et anthropiques. L'oued Rhumel Constantinois. Algérie
- [37] T. MONIER (1983). Simulation des écoulements souterrains dans un aquifère alluvial. Contribution à l'étude de la nappe de l'Isère dans la Combe de Savoie (France). Thèse de 3ème cycle. Université des sciences médicales de Grenoble
- [38] N. MESSAOUD NACER (1987). Hydrogéologie et pollution des eaux. Exemple du bassin versant du mazafran. Mitidja. Algérie. Thèse de docteur- ingénieur. Université des sciences médicales de Grenoble
- [39] L. DJABRI (1987). Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe alluviale de la plaine d'effondrement de Tébessa. Essai de modélisation. Thèse de docteur-ingénieur. UFR FRANCHE-COMTE. BESANCON
- [40] M. L. HEMILA (1988). Hydrogéologie, modélisation et gestion des ressources en eau de la plaine de la plaine alluviale du bassin de l'oued de la Meskiana. Haut Mellegue (Est Algérien) Thèse de docteur d'université de l'U F R de FRANCHE-COMTE

[41] G. MASSONAT (1981).Hydrogéologie en milieu fissuré et thermalisme . Etude du massif de Braméfarine et du Nord du massif d'Allevard d'ISERE-FRANCE).Thèse de doctorat de spécialité.Université des sciences médicales de Grenoble

[42] P.ARNOULT,J.MANIA (1984).Mécanisme du transfert des pollutions de la nappe de la craie et de l'Artois et du Cambrésis (Nord de la France).Annales de la société géologique du nord.T.CIV,séance du 1er février 1984 ,p41

[43] J.MANIA et FARIDA DJEDA (1990).Hydrogéologie de la plaine alluviale du Haut Chélif de la région de Khemis -Miliana (Algérie).Bulletin de la société géologique de France (1990) n°= 3

[44] A . ABDELGADER, F.ACHOUR , J.MUDRY (1996).Validations des écoulements par l'analyse discriminante.Revue des sciences de l'eau 9(2) -pp 219-230

[45] .M.BOUZELBOUDJEN et J MANIA (1989).Hydrogeology of the middle Cheliff basin (Algeria).Simulation of the groundwater flows. International workshop on appropriate methodologies for development of groundwater resources in developing countries HYDERABAD (INDIA),February 28-March 4,1989-Vol.II pp 505 - 521

[46] H . HSISSOU, P.CHAUVE, J.MANIA, A.MANGIN,M.BAKALOWICZ,A.GAIZ (1996). Caractérisation des eaux de l'aquifère turonien du bassin du Tadla (Maroc) par le rapport des concentrations molaires Sr^{2+}/Ca^{2+} .Journal of hydrology 183(1996) 445-451

[47] M.BABIC et P.OLIVE (1998). Oxygène 18,tritium et carbone 14 dans les eaux souterraines Revue géologues n° =113

[48] J . P . NOVEL(1998).Contribution des eaux souterraines à l'écoulement de la DORA BALTEA (vallée d'Aoste -Italie): Approche chimique et isotopique.Revue géologues n° =113

[49] BONARD-GARDEL (rapport,étude de faisabilité du barrage de Boukourdane,n°=2086-mars 1983)

[50] M.A.REYMOND,J.H.LEROUX,J.C.MANCET,S.BAUDOUX (1970).Etude micropaléontologique des coupes effectuées dans la région de l'oued El Hachem . SES.14.11/DH-1

[51] A.HALIMI (1983).L'atlas blidéen,climats et étages végétaux.Office des publications universitaires Alger

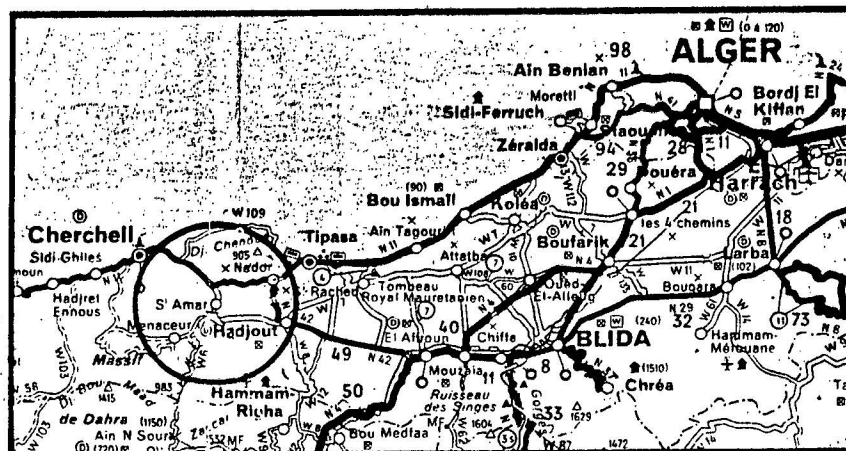
[52] G.REMENIERAS(1976).Hydrologie de l'ingénieur Eyrolles édition .Paris,456p

[53] A. BOUDJADJA (1996).Dégradation de la caractéristique de la potabilité chimique des eaux souterraines de la région cotière de la wilaya de Tipaza et proposition de préservation de leur qualité. Premier Forum (EAU MTH). Hadjout. Mai 1996.

ANNEXES

ANNEXE V I I I

Caractéristiques du barrage de Boukourdane



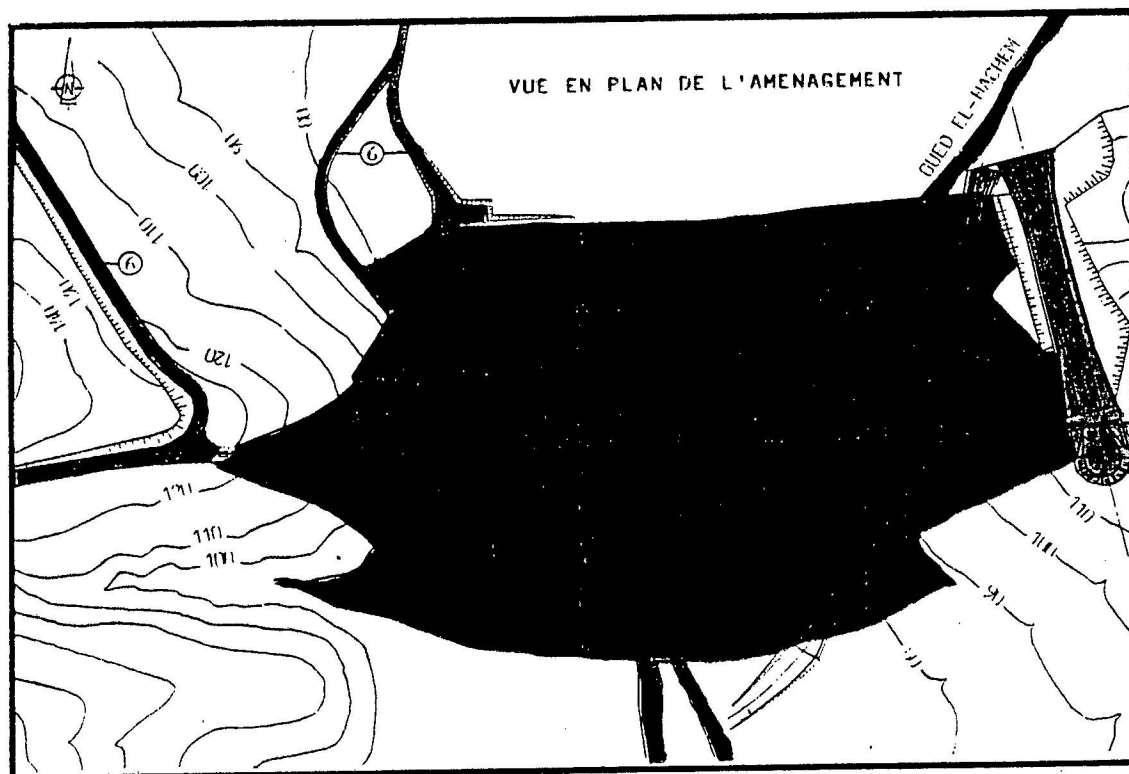
PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES

BASSIN VERSANT

Superficie	156 km ²
Périmètre	58 km
Altitude maximale	1.417 m.NGA
Altitude minimale	78 m.NGA
Altitude moyenne	420 m.NGA
Pluviométrie moy./annuelle	785 mm
Crue Q 10	400 ± 100 m ³ /s
Crue Q 100	850 ± 170 m ³ /s
Crue Q 1.000	1.300 ± 300 m ³ /s
Crue Q 5.000	1.700 ± 500 m ³ /s

RETENUE

Altitude de retenue normale	119,50 m
Altitude des plus hautes eaux	123,00 m
Aire de la retenue au niveau normal	550 ha
Aire de la retenue au niveau exceptionnel	625 ha
Capacité totale de la retenue	97 millions de m ³
Réserve d'envasement	10,8 millions de m ³
Volume régularisé	49 millions de m ³



DESCRIPTION DE L'AMENAGEMENT

L'aménagement comprend :

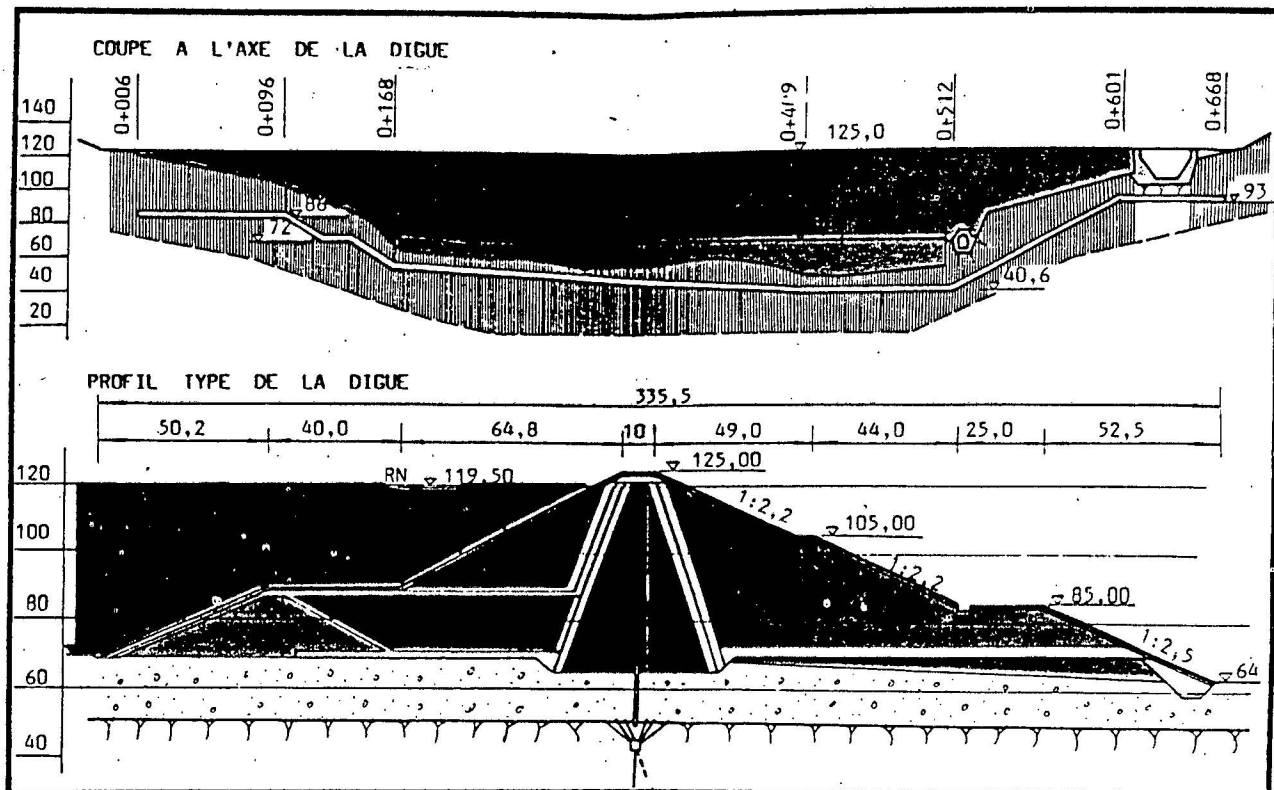
- une digue,
- une galerie de dérivation provisoire,
- un évacuateur de crues,
- une tour de prise et de vidange de fond,
- une galerie d'injection et de drainage.

Légende :

- 1) - Digue
- 2) - Evacuateur de crues
- 3) - Tour de prise
- 4) - Galerie de dérivation provisoire
- 5) - Galerie d'injection et de drainage
- 6) - Routes d'accès au barrage

PRINCIPALES QUANTITES DE TRAVAUX

- Excavations _____ 589.000 m³
- Remblais _____ 3.530.000 m³
- Bétons _____ 104.000 m³
- Forages _____ 40.000 ml
- Voile d'injection _____ 35.000 m²
- Paroi moulée _____ 5.000 m²



DIGUE

Type : digue zonée en alluvions et enrochements

Hauteur maximale au-dessus du terrain _____

naturel _____ 55 m

Hauteur maximale au-dessus du fond _____

des fouilles _____ 60 m

Largeur en crête _____ 10 m

Largeur maximale au niveau du terrain _____

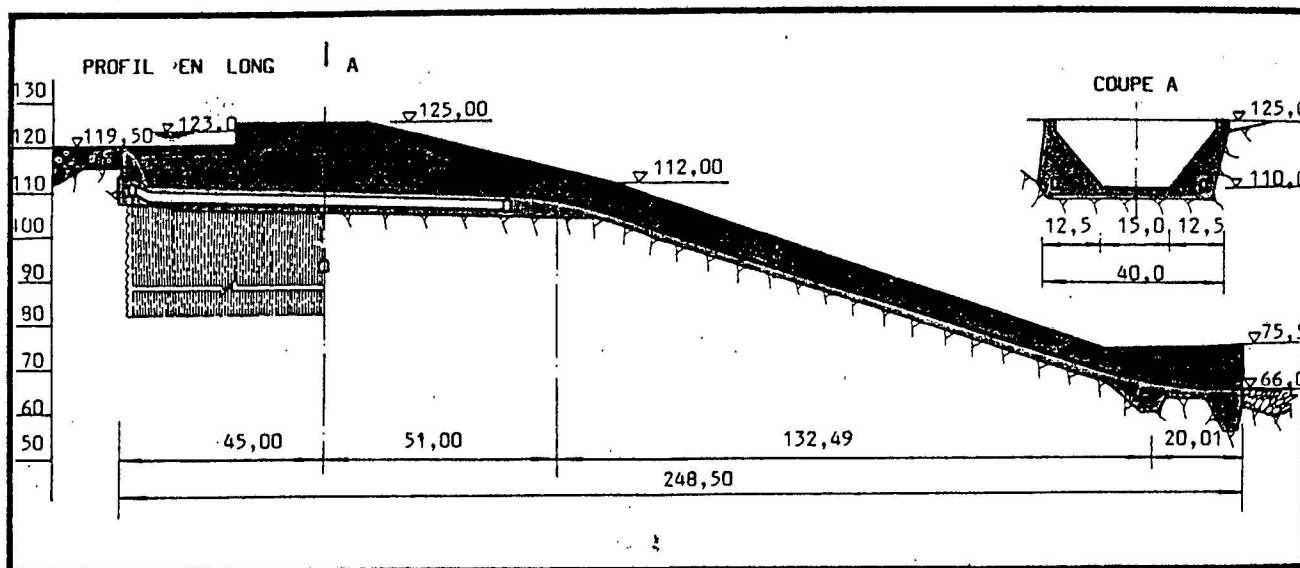
naturel _____ 335 m

Longueur en crête _____ 600 m

Fruits du parement amont _____ 1/1,8 et 1/2,5

Fruits du parement aval _____ 1/2,2 et 1/2,5

Altitude de la crête de la digue _____ 125 m



EVACUATEUR DE CRUES

Type : de surface frontale à seuil libre, implanté en rive droite.

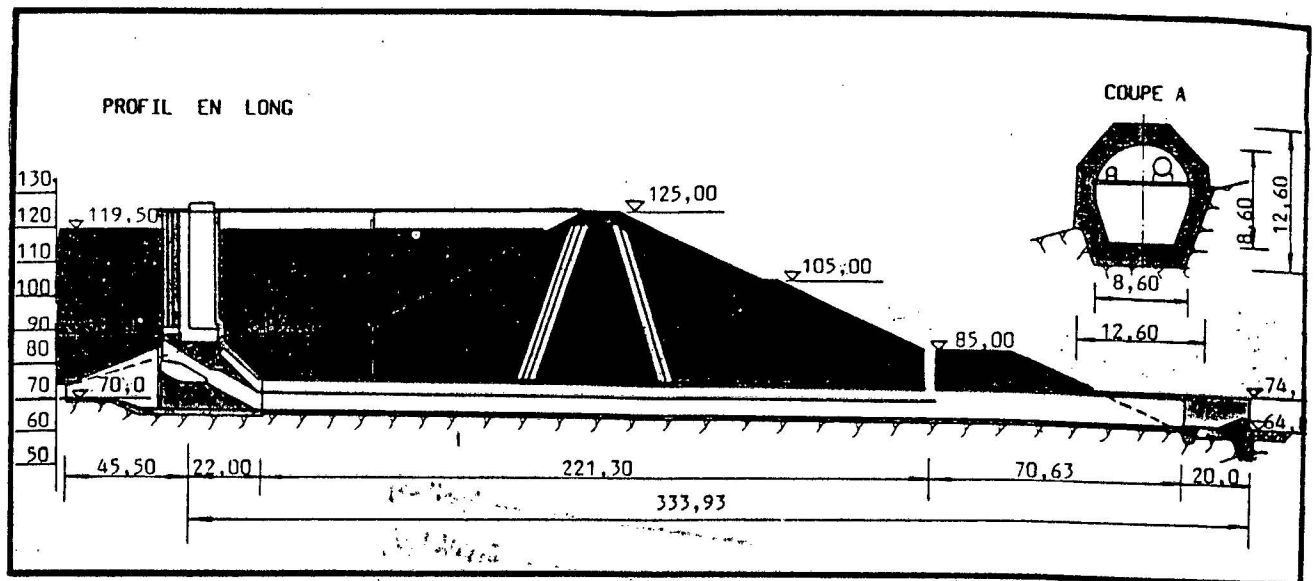
Longueur totale _____ 248,50 m

Longueur de crête déversante _____ 70 m

Longueur du coursier à sa base _____ 15 m

Largeur de l'ouvrage de restitution _____ 25 m

Crue de projet _____ 1.000 m³/s



GALERIE DE DERIVATION PROVISOIRE

Type : galerie sous remblais, implantée en rive droite

Diamètre (section en fer à cheval) 8,60 m

Longueur 292 m

Pente 1,03 %

Crue de chantier 800 m³/s

TOUR DE PRISE ET DE VIDANGE DE FOND

Type : vertical dont le pied constitue l'entrée de la galerie de dérivation provisoire.

Diamètre 8,60 m

Hauteur 61 m

Niveau minimal d'exploitation 92 m

Débit de prélèvement d'eau potable 0,4 m³/s

Débit de prélèvement d'eau pour irrigation 5,6 m³/s

Côte de vidange de fond 81 m

Débit maximal de la vidange de fond 150 m³/s