Relations entre aquifères profonds et superficiels : hydrogéologie de la vallée de l'Oued M'Zi, à l'est de Laghouat, Wilaya de Laghouat (Algérie)

Abdenour Hannachi

▶ **To cite this version:**

Abdenour Hannachi. Relations entre aquifères profonds et superficiels : hydrogéologie de la vallée de l'Oued M'Zi, à l'est de Laghouat, Wilaya de Laghouat (Algérie). Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1981. Français. NNT : . tel-00767539

HAL Id: tel-00767539

https://theses.hal.science/tel-00767539

Submitted on 20 Dec 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

205.142
1981
263
Double
205142
1981
263

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
ET MÉDICALE DE GRENOBLE

THESE DE DOCTORAT DE SPÉCIALITÉ
Géologie appliquée
Option : Hydrogéologie

B.U.S. GRENOBLE
D 052 176784 1

RELATIONS ENTRE AQUIFERES PROFONDS ET SUPERFICIELS

HYDROGÉOLOGIE DE LA VALLÉE DE L'OUED M'ZI, A L'EST DE LAGHOUAT

Wilaya de Laghouat (Algérie)

par **Abdenour HANNACHI**

Thèse soutenue le 12 novembre 1981 devant la Commission d'Examen

MM.	R. BARBIER	Professeur Émerite U.S.M. Grenoble	Président
	R. MICHEL	Professeur U.S.M. Grenoble	Examinateur
	J. SARROT-REYNAULD	Professeur U.S.M. Grenoble	Rapporteur
	J.G. FOURNEAUX	Maître-assistant U.S.M. Grenoble	Examinateur

205142
1981
263

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
ET MÉDICALE DE GRENOBLE

THESE DE DOCTORAT DE SPÉCIALITÉ
Géologie appliquée
Option : Hydrogéologie

RELATIONS ENTRE AQUIFERES PROFONDS ET SUPERFICIELS

HYDROGÉOLOGIE DE LA VALLÉE DE L'OUED M'ZI, A L'EST DE LAGHOUAT

Wilaya de Laghouat (Algérie)

BIBLIOTHÈQUE
GRENOBLE
INTERUNIVERSITAIRE

par **Abdenour HANNACHI**

T.82/26

Thèse soutenue le 12 novembre 1981 devant la Commission d'Examen

MM.	R. BARBIER	Professeur Émerite U.S.M. Grenoble	Président
	R. MICHEL	Professeur U.S.M. Grenoble	Examinateur
	J. SARROT-REYNAULD	Professeur U.S.M. Grenoble	Rapporteur
	J.G. FOURNEAUX	Maître-assistant U.S.M. Grenoble	Examinateur

AVANT-PROPOS

Ce travail est le fruit d'une étroite collaboration entre l'Institut de Géologie de Grenoble et la Direction des Etudes de Milieux et de la recherche hydraulique-Alger.

Au moment de terminer cette étude, il m'est agréable de remercier tous ceux qui m'ont aidé dans sa réalisation.

- Messieurs les professeurs R. BARBIER et R. MICHEL qui me font l'honneur de présider et de participer à ce jury,
- Monsieur J. SARROT REYNAULD qui m'a accueilli dans son laboratoire, a dirigé et encouragé mon travail et est venu sur le terrain à Laghouat pour délimiter mon sujet de recherche,
- Monsieur J.C. FOURNEAUX, Maître Assistant,pour les nombreuses discussions et conseils tout au long de ma rédaction de thèse,
- Monsieur K. ACHI, Directeur de la D.E.M.R.H. (Alger) pour ses encouragements, ses conseils, et les moyens qu'il a mis à ma disposition,
- Monsieur A. SALEM, Chef de Service à la D.E.M.R.H. (Alger) pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et aussi pour ses nombreux conseils,
- Monsieur B. IKEZOUHENE, Technicien à la D.E.M.R.H. Alger pour l'aide morale et matérielle qu'il m'a apportée sur le terrain,
- Monsieur M.S. NAIT ATHMANE, Chauffeur à la D.E.M.R.H. qui par son dévouement m'encouragea pendant ces deux années,
- Le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique de l'Algérie pour la bourse d'étude qui m'a été attribuée,
- La Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Laghouat (D.H.W.) pour l'hébergement et les moyens mis à ma disposition, en particulier à Messieurs DEDOUCHE et CHIKHI,
- A l'E.T.H.L.A. (Entreprise des Travaux hydrauliques de Laghouat) pour les facilités de restauration et d'usage du laboratoire dont j'ai bénéficié.
- Mes remerciements vont aussi au secteur d'Afou de la D.E.M.R.H. pour son aide et aux facilités qui m'ont été accordées.
- A mes amis et anciens enseignants de l'Université d'Alger,
- Aux membres du personnel technique et scientifique de l'Institut Dolomieu pour le séjour qu'ils m'ont rendu agréable ; en particulier à Madame REVOL qui s'est chargé de la dactylographie de ma thèse,
- A tous mes amis qui m'ont aidé directement ou indirectement dans ce travail. En particulier, à ceux de 3ème Cycle... qu'ils sachent que je ne les oublierai pas,
- Aux habitants de la vallée de l'Oued M'Zi, dont la sincérité et l'hospitalité laissèrent en moi un souvenir profond. Je les remercie pour leur thé et leur café....

Je dédie ce modeste travail à ma famille
à Mon Père
à Ma Mère
à Mes Frères Naceur Edine
Azedine
à Mes Soeurs Farida, Fasia, Karima
à mon Beau Frère Lalami.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

Cadre géographique 1
But de l'étude 3
Méthodes d'étude 3

CHAPITRE PREMIER - HYDROCLIMATOLOGIE

Introduction
I.1. Equipement de la région 9
I.2. Etude des précipitations 11
I.2.1. Données ponctuelles 11
I.2.2. Détermination du volume et de la lame d'eau tombée sur le bassin versant amont à Laghouat 25
I.3. Les températures 35
I.4. Les vents 37
I.5. L'humidité 38
I.6. Etude de l'évapotranspiration 38
I.6.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle 39
I.6.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle 43
I.7. Détermination du ruissellement sur le bassin versant amont de Laghouat 45
I.7.1. Ruissellement par la formule TIXERONT-BERKALOFF 45
I.7.2. Estimation du volume annuel ruisselé à partir d'observations de crues 47
I.8. Conclusion 48

CHAPITRE DEUXIEME - ETUDE GEOLOGIQUE

Introduction 53
II.1. Géologie générale 55
II.1.1. Histoire des dépôts dans les régions avoisinant Laghouat 55

1) L'Albien.....55
2) Le Cénomanien.....56
3) Le Turonien 58
4) Le Sénonien 61
5) Le Nummulitique.....63

II.2. Géologie et stratigraphie de la région de Laghouat...67

II.2.1. Stratigraphie.....67

II.2.2. Tectonique et structure de la région de Laghouat.....81

II.2.3. Caractéristiques hydrogéologiques des diverses formations.....83

CHAPITRE III - ETUDE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL

Introduction

III.1. Prospection géophysique de la vallée de l'Oued M'Zi..88

III.1.1. Travaux réalisés.....88

III.1.2. Problèmes d'interprétations.....88

III.1.3. Etalonnages des sondages électriques.....88

III.2. Coupes géoélectriques: interprétation et description des alluvions.....90

III.2.1. Description des alluvions de la vallée de l'oued M'Zi.....90

III.2.2. Epaisseur des alluvions de la vallée de l'oued M'Zi (Pont de Laghouat à Ksar Kabeg).....103

III.2.3. Description du substratum du remplissage alluvial (Laghouat, Ksar Kabeg).....104

III.2.4. Remarque.....106

III.2.5. Conclusion.....106

CHAPITRE IV - PIEZOMETRIE

Introduction

IV.1. Inventaire des points d'eau.....109

IV.1.1. Caractéristiques des puits et des forages.....110

IV.1.2. Utilisation des puits 110

IV.1.3. Réseau piézométrique et nivellement 111

IV.2. Piézométrie 111
IV.2.1. Extension de l'aquifère alluvial 113
IV.2.2. Principales formations et structures géologiques en relation hydrogéologiques avec les alluvions 114
IV.2.3. Interprétation des cartes piézométriques 114
IV.2.4. Ecoulement général de la région 119
IV.2.6. Fluctuations de la nappe 120
IV.2.7. Profondeur des eaux dans le secteur d'étude 129
IV.3. Conclusion 130

CHAPITRE V - HYDROCHIMIE

Introduction
V.1. Mesures physico-chimiques et chimiques des eaux 134
V.2. Présentation des analyses et mesures 134
V.3. Variations de la résistivité en fonction de la salinité 135
V.4. Interprétation des cartes de la résistivité des eaux.. 136
V.4.1. Comparaison des cartes de la résistivité des eaux 137
V.5. Chimie des eaux souterraines 145
V.5.1. Classification et faciès chimiques des eaux....145
V.6. Relation entre la résistivité et la chimie des eaux ..155
V.7. Teneurs en oxygène 18 et en tritium des eaux.....158
V.7.1. Traçage et unité de mesure du tritium.....158
V.7.2. Traçage et unité de mesure de l'oxygène 18.....158
V.7.3. Analyses et interprétations.....159
V.8. Conclusion 161

CHAPITRE VI - RELATIONS HYDROGEOLOGIQUES ENTRE LES ALLUVIONS ET LE SUBSTRATUM

Introduction

VI.1. Analogies entre la répartition des faciès géologiques du substratum et celle de la résistivité des eaux.....165

VI.2. Circulation des eaux et relations hydrogéologiques entre les alluvions et les terrains sur lesquels elles reposent 169

VI.3. Conclusion 176

CHAPITRE VII - DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES ET DIFFICULTES DE REALISATION D'UN BILAN HYDROGEOLOGIQUE

Introduction

VII.1. Définition des caractéristiques hydrodynamiques 179

VII.2. Détermination des caractéristiques hydrodynamiques par essais de pompage 179

VII.2.1. Méthode de Theis.....180

VII.2.2. Méthode de Jacob.....181

VII.2.3. Méthode de la remontée de Theis.....182

VII.2.4. Méthode de Chow 182

VII.3. Détermination de la porosité utile par la méthode d'Archie 183

VII.4. Discussion des valeurs de T et S.....185

VII.5. Mesure de la vitesse d'infiltration.....191

VII.5.1. Discussion et valeurs des perméabilités verticales 193

VII.6. Estimation et problème d'établissement d'un bilan.....206

VII.7. Conclusion 208

CONCLUSION GENERALE 209

INTRODUCTION

La grande valeur qu'accordent les gens de la région du sud de l'Algérie à l'eau, que l'on désigne sous le nom arabe d'"El-Ma" permet d'apprécier son importance. En effet, cette valeur accordée à l'eau, qui est traditionnelle, est largement expliquée par les activités économiques principales (agriculture modeste d'irrigation, élevage) dans ces zones, où la pluviométrie est inférieure à 200 mm, donc insuffisante, où la température est élevée (17,25° C, SELTZER), où l'évaporation est très importante, et que l'on classe parmi les régions arides.

Lors de la découverte des hydrocarbures, la vie de ces contrées a connu un changement progressif mais particulièrement important depuis quelques années, où il y a eu un développement agricole, et industriel considérable, et où la population est devenue plus importante. Les besoins en eau se sont faits alors de plus en plus ressentir, mais le manque de données concernant l'hydrogéologie particulièrement, a entrainé des problèmes, d'où la nécessité d'études approfondies.

CADRE GÉOGRAPHIQUE (figure n° 1)

Notre secteur d'étude se situe à 400 km au sud d'Alger, il est limité:

- au Nord par le Djebel Dakhla
- à l'Ouest par le Djebel Milok
- au Sud,à la partie nord du pays des Dayas
- et à l'Est, à l'extrémité aval de l'oued M'Zi.

Morphologiquement et géologiquement deux domaines se détachent:

- au Nord, l'Atlas saharien, constituant les seuls affleurements secondaires (turoniens, albiens, cénomaniens) de notre région, est formé de plis très larges; cela se traduit géomorphologiquement par des reliefs peu escarpés, séparés par de vastes zones planes;

- au Sud, le Sahara et plus particulièrement pour notre région d'étude, le pays des dayas, au Nord duquel se trouve une gouttière où se sont accumulés des dépôts fluvio-éoliens, constituant le remplissage alluvial.

Figure:1

PLAN DE POSITION

BUT DE L'ÉTUDE

Dans le cadre du développement de la région de Laghouat, les autorités ont attaché une grande importance à la recherche de l'eau, qu'elles savaient essentielle pour tout progrès. En ce qui concerne la vallée de l'oued M'Zi, qui fait l'objet de notre étude, la D.E.M.R.H. s'était réellement intéressée à cet aquifère alluvial (entre le pont de Laghouat et Ksar Kabeg à partir de 1966, année durant laquelle la première étude hydrogéologique a été réalisée par la S.C.E.T. Coop. (Etude hydrogéologique préliminaire de la vallée de l'oued M'Zi); son but principal était de déterminer un programme d'études futures de détail. C'est ainsi sous le contrôle de la D.E.M.R.H., qu'une étude géophysique, dont le but était de sonder le remplissage alluvial de la vallée de l'oued M'Zi, mais aussi son substratum, a été réalisée par le bureau d'étude de la Srojexport Prague. Ces travaux géophysiques ont consisté en l'exécution de 300 sondages, mais les résultats sont limités à des coupes géoélectriques; et par manque de sondages mécaniques l'interprétation n'a pu être plus complète. La nature du remplissage alluvial est donc restée malgrè tout un point obscur jusqu'en 1977, date à laquelle est lancé un nouveau programme de recherche, et ce dans un but hydrogéologique. C'ést ainsi qu'ùn inventaire systématique de tous les points d'eau est réalisé par le même service. Ce n'est qu'en 1978, dans le cadre de la collaboration étroite entre l'Institut de Géologie de Grenoble et la D.E.M.R.H. que notre étude hydrogéologique démarra. Le but fixé était alors la connaissance plus parfaite (dans la mesure du possible) de la vallée de l'oued M'Zi (alluvions et leur substratum) géologiquement et hydrogéologiquement. En quelque sorte, il s'agissait d'établir un schéma détaillé hydrogéologique de la vallée.

MÉTHODES D'ÉTUDE

GEOLOGIE

Les documents traitant la géologie de notre région de manière détaillée sont inexistants. Notre étude a consisté à des observations de surface mais aussi à vérifier la carte au 50 000e dressée en 1965 par la S.C.E.T. Coop. Nous avons pu aussi décrire les différentes formations grâce aux forages réalisés par la D.E.M.R.H. et l'E.T.H. LA (Entreprise des Travaux Hydrauliques de Laghouat).

ETUDE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL

Cette étude consistait à revoir et à vérifier les résultats de l'étude géophysique de 1975, incomplète du point de vue interprétation. A partir des résultats de 36 piézomètres et d'observations dans des puits existants, il s'agissait, de décrire les dépôts du remplissage alluvial, ainsi que ceux formant son substratum, et d'établir dans la mesure du possible leurs limites.

ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

Les données hydroclimatologiques sont souvent très incomplètes. Il s'agissait à partir de ces mesures (pluviométriques, d'évaporation, de températures, des vents) de faire une synthèse et d'essayer de dégager les caractéristiques climatiques de manière ponctuelle et à l'échelle de la région. Nous avons pu établir un bilan hydroclimatologique uniquement pour le bassin versant amont à Laghouat pour lequel nous avons eu en notre possession suffisamment de données; cela nous a permis d'estimer l'importance des crues transitant au niveau du pont de Laghouat.

ETUDE PIEZOMETRIQUE

Jusqu'en 1978, une seule carte piézométrique existait, mais elle était imprécise et incomplète. Notre travail a consisté à la vérifier et à la compléter, mais aussi nous avons cherché à connaître l'évolution piézométrique dans le temps et dans l'espace. La récolte des mesures piézométriques a nécessité sur le terrain le choix et le nivellement d'un réseau de mesures comprenant des points d'eau déjà existants et des piézomètres.

Les données concernant l'ETUDE CHIMIQUE ET PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX se résument aux échantillons prélevés le long de la vallée du M'Zi analysés aux laboratoires de chimie de la D.E.M.R.H. et de Thonon les Bains pour les analyses isotopiques (oxygène 18 et tritium), mais aussi aux mesures effectuées in situ (résistivités et températures des eaux).

Ce travail a permis d'une part d'apprécier la qualité des eaux et, d'autre part, par l'interprétation de l'évolution et de la répartition des caractères chimiques et physico-chimiques des eaux de préciser les zones d'échanges possible entre le substratum et les alluvions.

DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

Les méthodes utilisées pour la détermination des caractéristiques hydrodynamiques englobent:

- les essais de pompage proprement dit sur la nappe aquifère;
- les essais d'infiltration par la méthode Huntz (ou méthode du double anneau).

En ce qui concerne les essais de pompage, les conditions d'application des différentes méthodes ne sont pas totalement satisfaites, par manque de moyens. Nous nous sommes limités tout simplement (pour la plupart de nos essais à effectuer les mesures des rabattements directement dans les puits servant au pompage. Plusieurs méthodes d'interprétation ont été utilisées;

- et la méthode d'Archie, tenant compte des propriétés électriques du terrain saturé d'eau, et permettant l'estimation de la porosité utile.

La connsaissance de ces caractéristiques est importante pour la détermination du bilan hydrogéologique que nous n'avons pas pu réaliser pour différentes raisons que nous évoquerons.

CHAPITRE PREMIER - HYDROCLIMATOLOGIE

INTRODUCTION

I.1. EQUIPEMENT DE LA RÉGION

I.2. ETUDE DES PRÉCIPITATIONS
- I.2.1. Données ponctuelles
- I.2.2. Détermination du volume et de la lame d'eau tombée sur le bassin versant amont à Laghouat

I.3. LES TEMPÉRATURES

I.4. LES VENTS

I.5. L'HUMIDITÉ

I.6. ETUDE DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION
- I.6.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle
- I.6.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle

I.7. DÉTERMINATION DU RUISSELLEMENT SUR LE BASSIN VERSANT AMONT À LAGHOUAT
- I.7.1. Ruissellement par la formule TIXERONT-BERKALOFF
- 1.7.2. Estimation du volume annuel ruisselé, à partir d'observation de crues
- 1.7.3. Conclusion

I.8. CONCLUSION

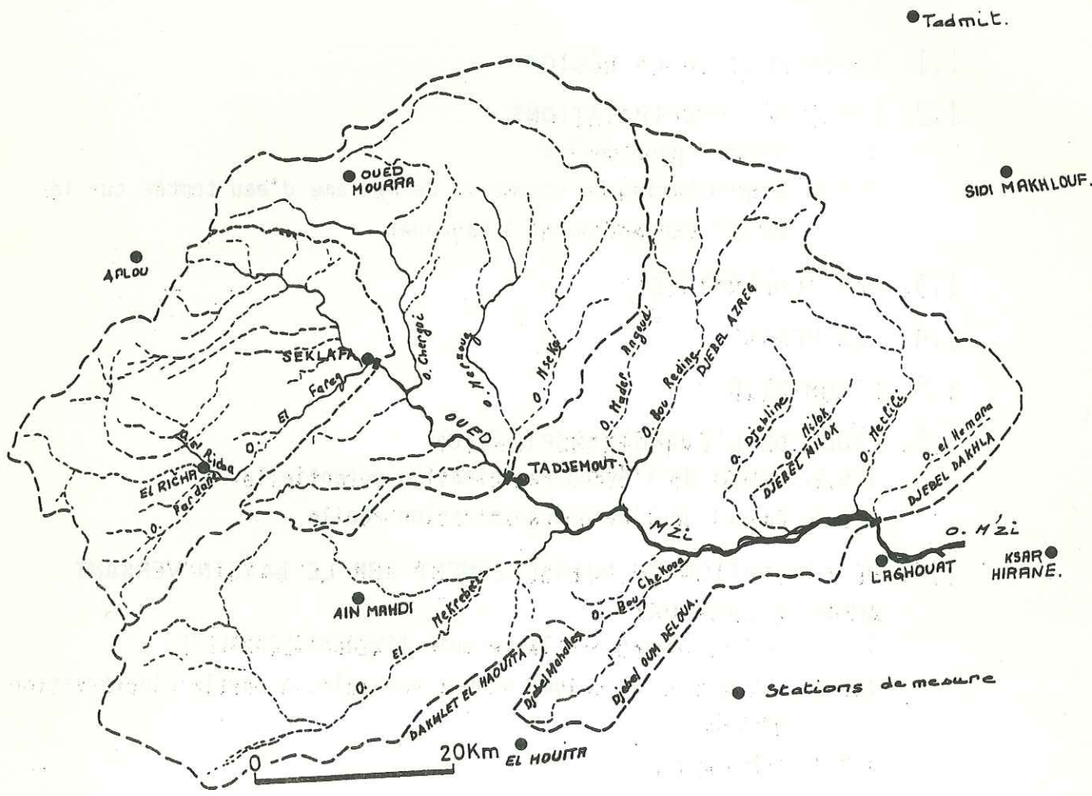


Figure n° 2 :Bassin versant , hydrographie et stations hydrographiques de la vallée de l'oued M'Zi.

INTRODUCTION

L'étude des nappes souterraines est extrêmement liée à l'étude hydro-climatologique, c'est-à-dire aux différentes composantes qui régissent le climat (pluviométrie, vents, températures, humidité, évaporation, ruissellement). Les différentes valeurs obtenues aux différentes stations de mesures sont des chiffres moyens ou des chiffres assimilés à des moyennes qui nous permettront une approche de la connaissance du climat.

-=-=-

I.1. EQUIPEMENT DE LA RÉGION

Les données climatologiques sont fournies par les stations anciennes (Laghouat, Aflou, Tadjmout, Tadmit), et récentes (qui ont fonctionné à partir de 1960). Le tableau n° 1 regroupe toutes les caractéristiques de ces stations et la figure n° 2 leur répartition.

Stations	Altitude en m.	Coordonnées		Date d'installation
		X	Y	
Aflou-Mairie	1 406	444.800	390.500	1923
Aflou-Hydraulique	1 400	"	"	"
Oued Morra	1 304	465.000	396.000	après 1960
Seklafa	1 233	467.500	378.500	après 1960
El-Rhicha	1 160	449.000	370.200	après 1960
Tadmit	1 040			1938
Aïn-Mahdi	985	463.400	355.000	après 1960
El-Houita	900	475.100	340.000	après 1960
Tadjmout	894	484.050	363.900	1925
Sidi Makhlouf	886	529.000	392.000	après 1960
Laghouat	765	516.450	396.900	1913
Ksar Hirane	719	541.100	354.700	après 1960

Tableau n° 1 : Stations de mesures de la région étudiée

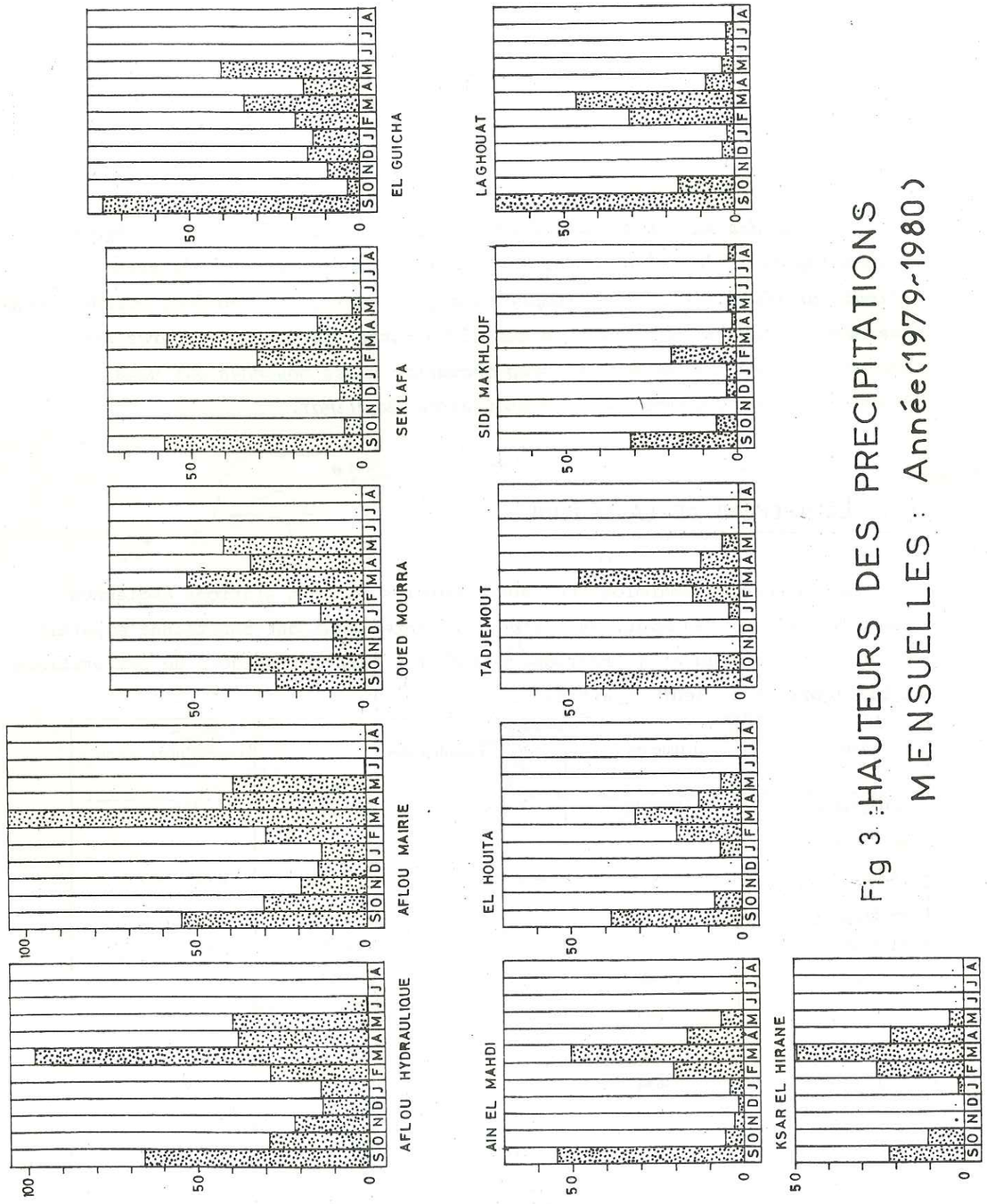


Fig 3 : HAUTEURS DES PRECIPITATIONS MENSUELLES : Année (1979-1980)

I.2. ETUDE DES PRÉCIPITATIONS

Les pluies constituent la source, principale de notre approvisionnement en eau, qui est à la base de nombreux projets de développement (agricole, industrielle, urbain) et que le demande toujours plus forte nous oblige à planifier. Ceci ne sera possible que si l'on atteint une connaissance plus parfaite des précipitations.

Dans cette étude, je considérerai, tout d'abord, les précipitations de manière ponctuelle et leur signification, puis leur évaluation sur l'ensemble de la région

I.2.1. DONNEES PONCTUELLES

1) Pluviométrie mensuelle

Nous avons disposé de données de 12 stations. La répartition mensuelle des précipitations est représentée sur diagramme en échelons.

. Année 1979-1980 (figure n° 3)

Mois / STATIONS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Aflou-Mairie	56,4	29,1	21,4	13,3	13,8	28,6	98,2	38	39,4	0,6	P.d.P.	P.d.P.	339,3
Aflou Hyfraulique	54,3	30,2	19,1	14,1	13,2	29,6	106,1	42,1	38,9	0,6	P.d.P.	P.d.P.	348,2
Oued Morra	26	33,5	9	9	12,5	19	52	33	41	P.d.P.	P.d.P.	P.d.P.	235
Seklafa	58,1	5,2	P.d.P.	6,6	,5	30,4	57,1	12,8	2,6	P.d.P.	P.d.P.	P.d.P.	177,8
El-Rhicha	75,7	3,5	9,5	15,1	13,5	18,7	33,9	15,9	40,6	P.d.P.	P.d.P.	P.d.P.	226,4
Aïn-Mahdi	54,8	5,1	2,8	1,6	4	20,4	52,3	16,5	6,5	trace	trace	trace	164
El Houita	38,3	8,1	P.d.P.	P.d.P.	6,3	19,2	31,1	12,6	6,0	0,4	P.d.P.	P.d.P.	122
Tadjmout	45,1	6,2	P.d.P.	P.d.P.	3	13,7	46,9	11,2	4,9	P.d.P.	P.d.P.	P.d.P.	131
Sidi Makhlouf	31	6	P.d.P.	3	3	19	3,9	1,2	2,2	P.d.P.	P.d.P.	2	71,3
Laghouat	70,1	16,6	trace	3,7	2	30,6	46,4	8,1	2,8	2	1,9	0,11	184,3
Ksar Hirane	22,2	11,6	P.d.P.	P.d.P.	1,5	25,7	49,6	21,4	4	P.d.P.	P.d.P.	P.d.P.	136

Tableau n°. 2 : Pluviométrie mensuelle 1979-1980

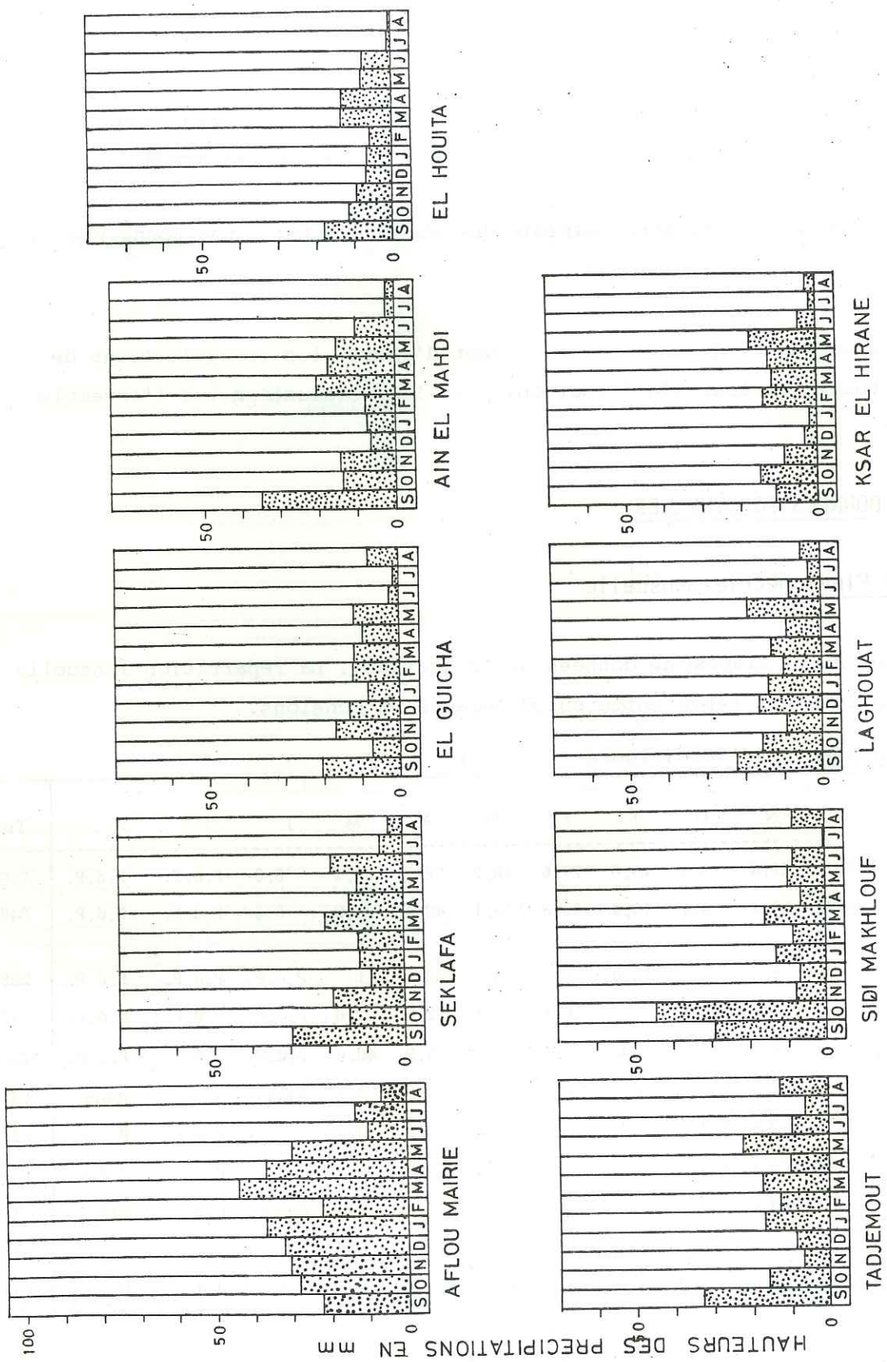


Fig 4 : HAUTEURS MOYENNES DES PRECIPITATIONS MENSUELLES Années 1960-1980

Le tableau n° 2 montre la répartition mensuelle des précipitations 1979-1980 aux stations d'Aflou-Mairie, Aflou Hydraulique, Oued Morra, Seklafa, El Rhicha, Aïn Mahdi, El Houita, Tadjmout, Sidi Makhlouf, Laghouat, Ksar Hirane. Reporté sur diagramme (figure n°) nous constatons que les mois les plus pluvieux sont Septembre, Octobre, Février, Mars, Avril et Mai, alors que Juin, Juillet, Août sont secs.

. Années 1960-1980 (tableau n° 3 et figure n° 4)

Durant cette période beaucoup d'années présentent des lacunes d'observation. Seules les stations ayant au moins quatre années d'observation complètes ont été prises en considération.

Les diagrammes représentatifs de chaque station montrent que les mois de Septembre à Octobre sont généralement pluvieux. Le mois de Juillet se présente comme le plus sec (<5 mm).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	n
Aflou	22,02	29,97	30,3	32,12	36,63	21,95	43,9	36,85	29,86	10,18	13,25	6,83	8
Seklafa	29,73	14,67	18,72	8,82	11,65	12,23	20,87	14,69	12,33	19,13	6,46	4,1	9
El Rhicha	20,81	7,88	17,21	13,43	8,95	12,76	12,53	10,6	12,36	2,82	1,13	8,58	6
Aïn Mahdi	35,69	14,64	15,19	7,27	8,28	8,52	21,36	18,6	16,14	11,06	3,38	3,17	11
El Houita	18,71	12,03	10,24	7,87	7,58	6,85	14,3	14,08	8,91	8,67	1,07	0,35	7
Tadjmout	32,75	15,65	6,6	8,48	16,75	12,71	17,25	10,05	22,27	9,83	6,12	12,7	8
Sidi Makhlouf	29,2	44,35	7,92	6,92	13,3	8,72	16,1	6,8	10,2	8,72	0,37	8,07	4
Laghouat	22,6	16,77	9,75	16,83	14,25	10,3	13,17	9,79	19,64	8,86	3,73	5,85	12
Ksar Hirane	11,35	15,55	9,1	3,93	1,95	14,91	12,31	13,32	18,17	5,25	1,43	2,55	8

n = nombre d'années d'observations complètes

Tableau n° 3 : Moyennes pluviométriques mensuelles (1960-1980)

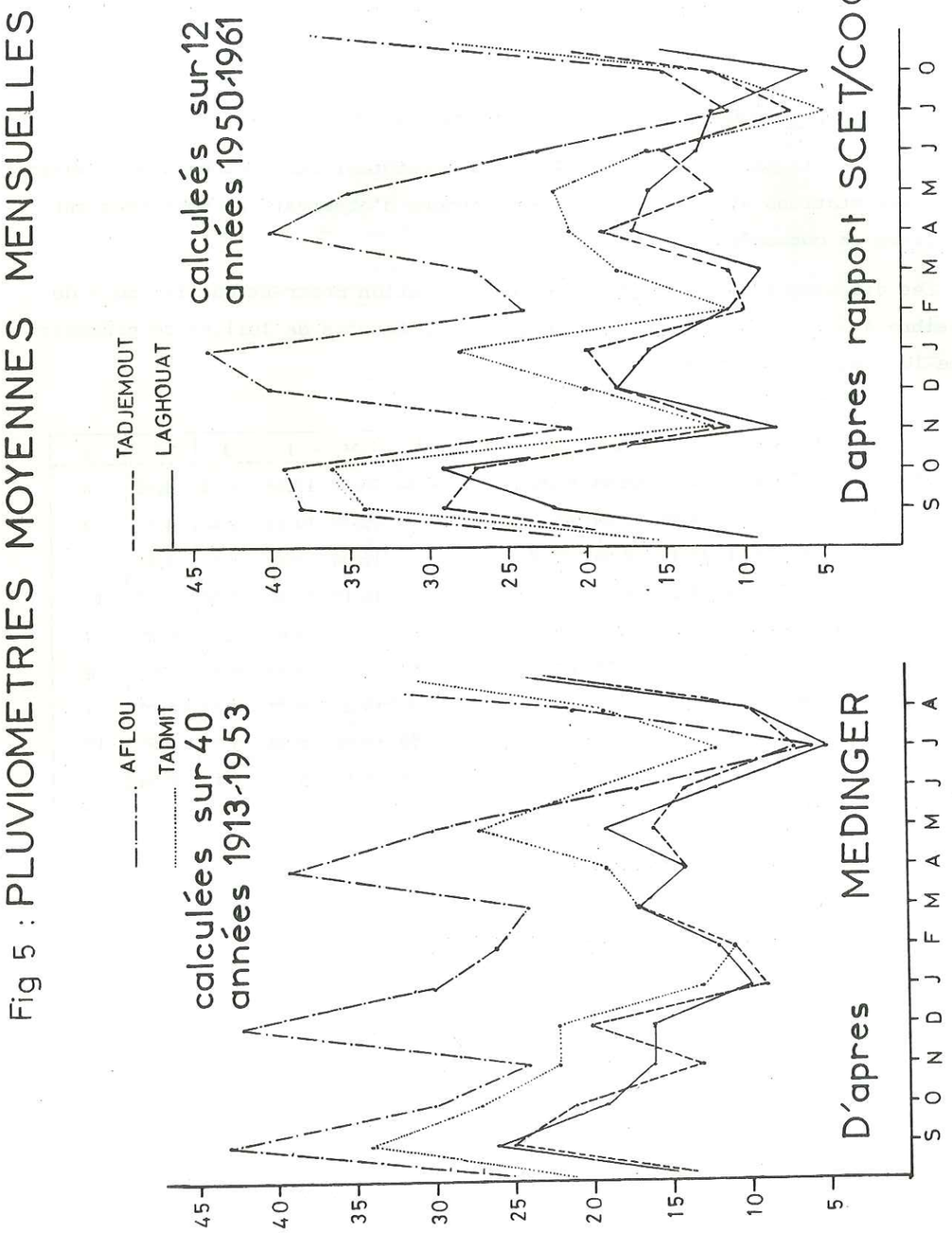


Fig 5 : PLUVIOMETRIES MOYENNES MENSUELLES

. Comparaison de la pluviométrie moyenne mensuelle à différentes périodes

La répartition de la pluviométrie mensuelle moyenne, calculée à différentes périodes d'observation (sur 25 ans d'après SELTZER 1913-1938, sur 40 ans 1913-1953 d'après MEDINGUER, sur 12 ans 1950-1961 S.C.E.T. COOP et sur 20 ans aux stations anciennes) montre que d'une période à une autre il existe des différences, notamment au poste d'Aflou, le mois de Septembre apparaît comme un mois pluvieux pour les moyennes établies à partir des observations 1913-1951 et 1951-1961 et relativement plus sec pour les moyennes mensuelles 1913-1938 et 1960-1980. Nous pouvons seulement dire:

- A la station d'Aflou, la pluviométrie mensuelle peut varier entre 25 et 40 mm avec un minimum en Juillet - Aout ($<$ 15 mm);

- A la station de Tadmit (années 1913-1953 et 1950-1961) - la pluviométrie mensuelle moyenne varie entre 10 et 35 mm avec un minimum en Juillet ($<$ 10 mm);

- A Tadjemout, le mois de septembre apparait comme le plus humide (25 à 30 mm); juillet étant le plus sec ($<$ 10 mm). Les précipitations des autres mois oscillent entre 10 et 20 mm;

- A Laghouat, mis à part septembre et octobre (20 à 30 mm), les autres mois bénéficient d'une pluviométrie de 10 à 15 mm. Les mois de juillet et d'août sont les plus secs ($<$ 10 mm).

2) Pluviométrie annuelle

Elle concerne les données aux stations anciennes (Laghouat, Tadmit, Tadjemout, Oued Morra, Seklafa, El Rhicha, Aïn Mahdi, El Houita, Sidi Makhlouf, Ksar Hirane).

. Les précipitations moyennes annuelles

Le tableau n° 5 , résume les moyennes annuelles à différentes périodes.

Fig6

PLUVIOMETRIES MOYENNES MENSUELLES

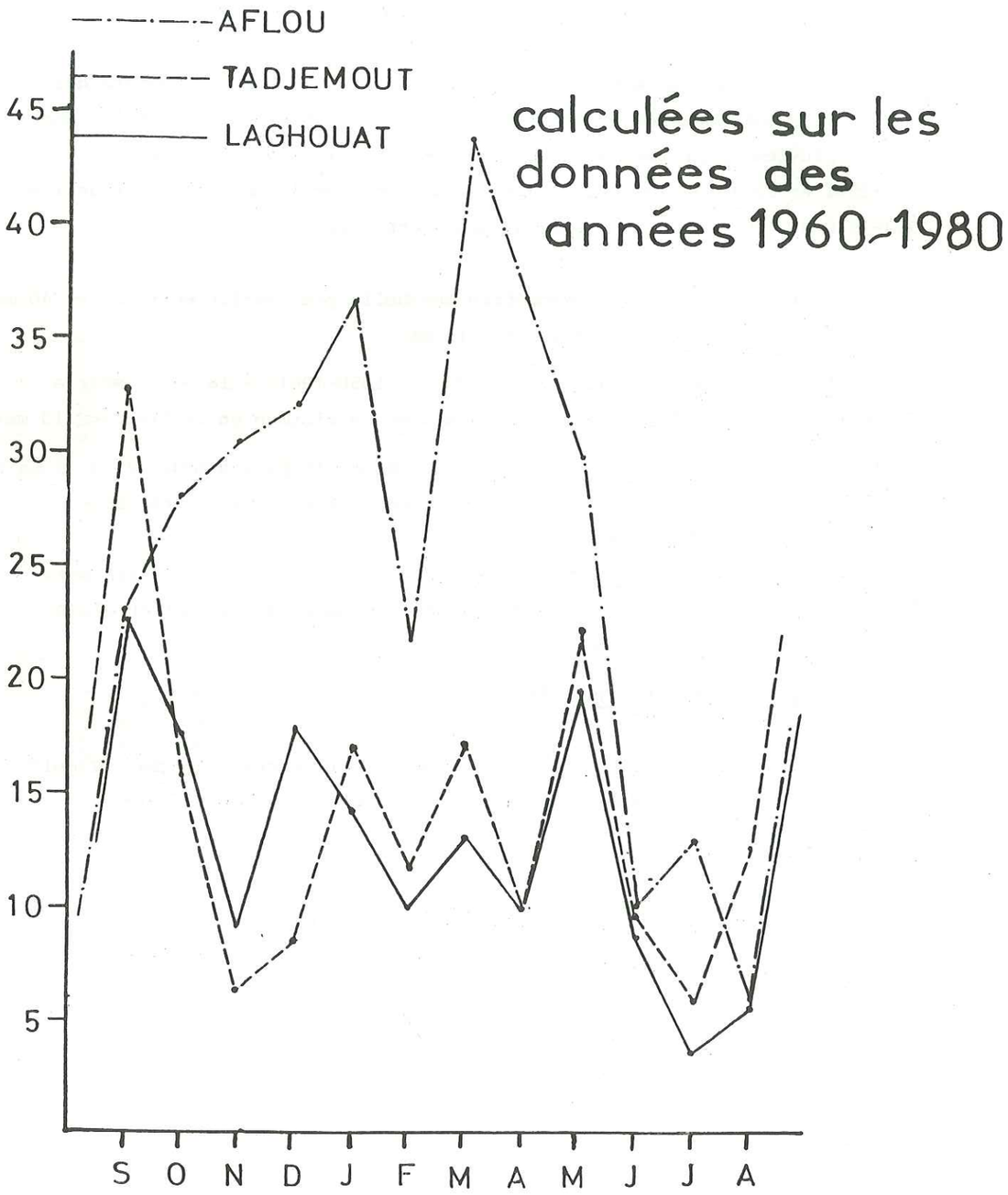


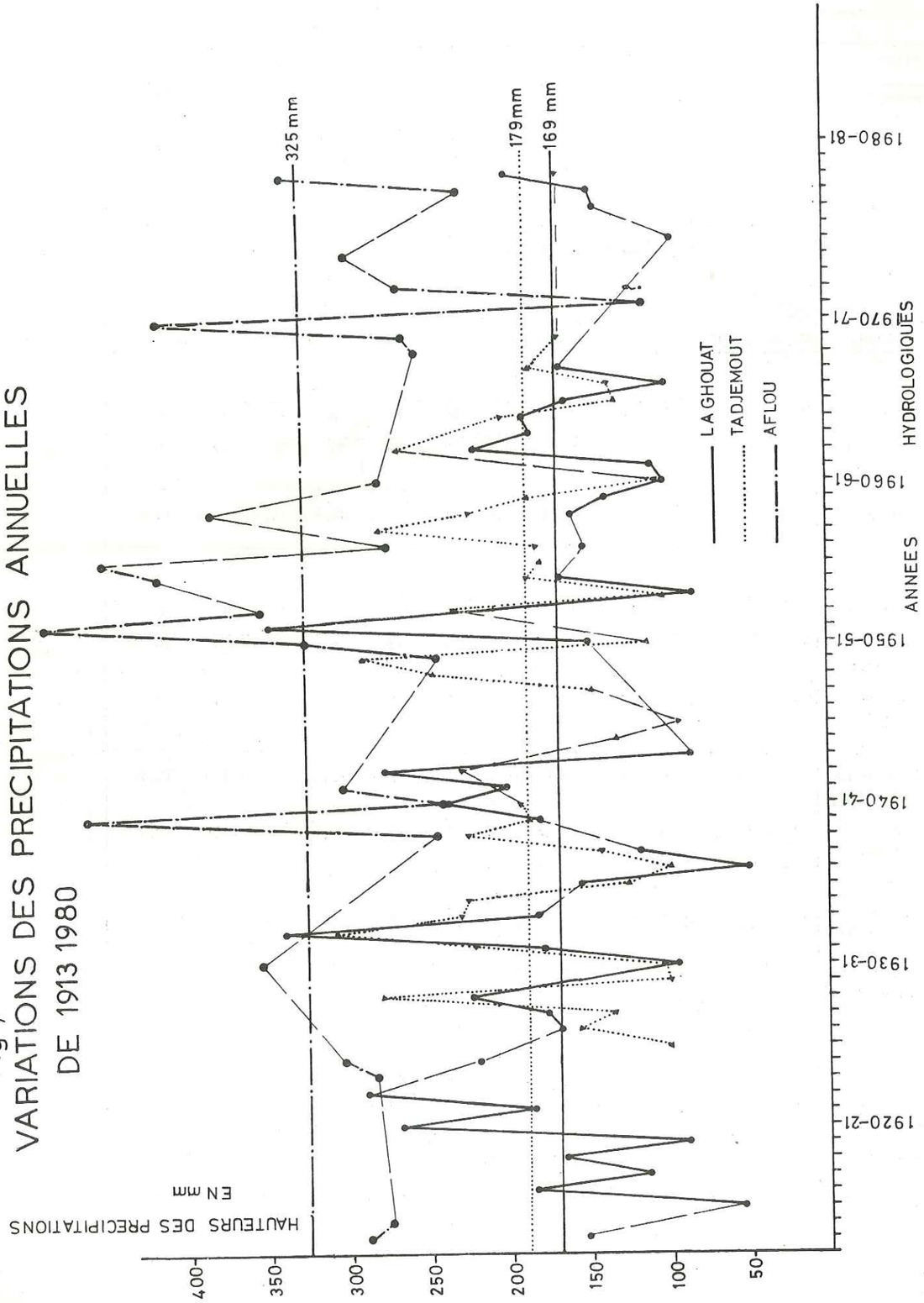
Tableau n° 4 : Pluviométries moyennes mensuelles à différentes périodes (en mm)

AFLOU	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moyenne de 40 ans (1913-1953)	43	30	24	42	30	26	24	39	30	17	6	21
Moyenne de SELTZER (1913-1938)	24	25	30	33	31	33	38	32	28	28	9	11
Moyenne de 12 ans (1950-1961)	37,7	38,5	21,3	39,6	44,3	23,8	27	40,1	35,4	23	10	15,3
Moyenne de 1960 à 1980	22,02	27,97	30,3	32,12	36,63	21,95	43,9	36,85	29,86	10,18	13,025	6,83

TADMIT	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moyenne de 40 ans (1913-1953)	34	27	22	22	13	11	17	19	27	20	12	19
Moyenne de 12 ans (1950-1961)	33,7	35,6	12,0	19,5	28,2	10,6	18,0	27,0	22,4	16,3	4,9	12,4

TADJEMOUT	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moyenne de 40 ans (1913-1953)	25	21	13	20	9	11	17	14	16	14	7	10
Moyenne de SELTZER (1913-1938)	19	23	18	16	10	14	17	9	14	19	4	9
Moyenne de 12 ans (1950-1961)	28,5	26,5	11,0	18,0	19,7	10,4	11,3	19,3	12,2	15,4	7,3	12,2
Moyenne (1960-1980)	32,75	15,65	6,6	8,48	16,75	12,71	17,25	10,05	22,27	9,83	6,12	12,7

LAGHOUAT	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moyenne de 40 ans (1913-1953)	26	19	16	16	10	12	17	14	19	12	5	10
Moyenne de SELTZER (1913-1938)	23	17	18	14	12	12	11	12	19	12	5	7
Moyenne de 12 ans (1950-1961)	21,6	29,4	7,7	18,3	16,2	10,8	9,0	17,3	16,3	12,6	12,1	5,5
Moyenne de 1960-1980	22,60	16,77	9,25	16,83	14,25	10,03	13,17	9,79	19,64	8,86	3,73	5,85



Stations	Altitudes en m.	Seltzer 1913/1937	Medinger 1913/1953	S.C.E.T. Coop 1950/1961	1960/1980	1979/1980
Aflou Mairie	1 406	342	332	357	312	339
Aflou hydraulique	1 400				284	348
Oued Morra	1 304					235
Seklafa	1 233				173	178
El Rhicha	1 160				129	266
Tadmit	1 040		243	232		
Aïn Mahdi	985				163	164
El Houita	900				114	122
Tadjmout	894	172	177	192	164	131
Sidi Makhlouf	886				161	71
Laghouat	765	167	176	172	151	184
Ksar Hirane	716				107	136

Tableau n° 5 : Moyennes pluviométriques annuelles en mm.

La comparaison des moyennes pluviométriques annuelles (SELTZER 1913-1937, MEDINGUER 1913-1953, S.C. et.Coop 1950-1961, 1960-1980 et 1979-1980) des stations d'Aflou Mairie, Tadjmout et Laghouat montre qu'elles sont équivalentes dans leur ensemble, sauf pour Tadjmout 1979-1980 où les précipitations sont plus faibles (131 mm).

Les moyennes annuelles de la période 1960-1980 et de l'année 1979-1980 sont du même ordre de grandeur sauf pour les stations de Sidi Makhlouf, de Tadjmout et de Rhicha.

. Variations de la pluviométrie annuelle

La figure n° 7 visualise l'évolution de la pluviométrie annuelle, sur une longue période d'observation aux stations de Laghouat, d'Aflou (1913-1980) et de Tadjmout.

D'une année à l'autre, les précipitations varient fortement (comme le montre le caractère en dents de scie des profils pluviométriques annuels).

	Stations / Temps de retour	P E R I O D E 1913/1980				P E R I O D E 1960/1980					
		Aflou Mairie	Tadjmout	Laghouat	Ksar Hirane	Aflou Mairie	Seklafa	Aïn Mahdi	El Houita	Tadjmout	Laghouat
Période humide	20 ans	440	250	230	140	340	360	240	250	240	195
	10 ans	415	240	220	135	350	340	230	170	225	190
	5 ans	400	230	210	130	330	320	220	145	210	180
Période sèche	5 ans	260	130	110	80	210	90	105	67	100	105
	10 ans	200	95	75	60	170	60	75	44	65	80
	20 ans	155	70	55	44	150	40	54	29	44	60
	50 ans	110	48	28	30	105	22	34	17	25	42
	Moyenne	326	179	169	107	312	173	163	114	164	151
	Médiane	93	61,21	65,25	115	280	170	165	115	165	150
	Ecart-Type	25	39	46	8	84	77	57	37	51	40
	Nombre d'années d'observations complètes	25	39	46	8	8	9	11	7	8	12

Tableau n° 6 : Caractéristiques des précipitations annuelles (en mm) et période de retour des valeurs caractéristiques

. Caractéristiques des précipitations annuelles

A partir des séries de valeurs, des précipitations annuelles aux stations considérées, nous avons évalué les caractéristiques (moyenne, médiane, écart-type) à différentes périodes (tableau n° 6).

. Ajustement des précipitations annuelles à la loi Gausso-logarithmique

Pour chaque série de valeurs de la pluviométrie annuelle, nous avons tenté un ajustement à une loi de répartition.

En reportant, sur un diagramme logarithmique en ordonnée les probabilités et en abcisse les modules pluviométriques, nous remarquerons un alignement des points de chaque série considérée. Il y a ajustement à la loi Gausso-logarithmique (figures n° 8 , 9).

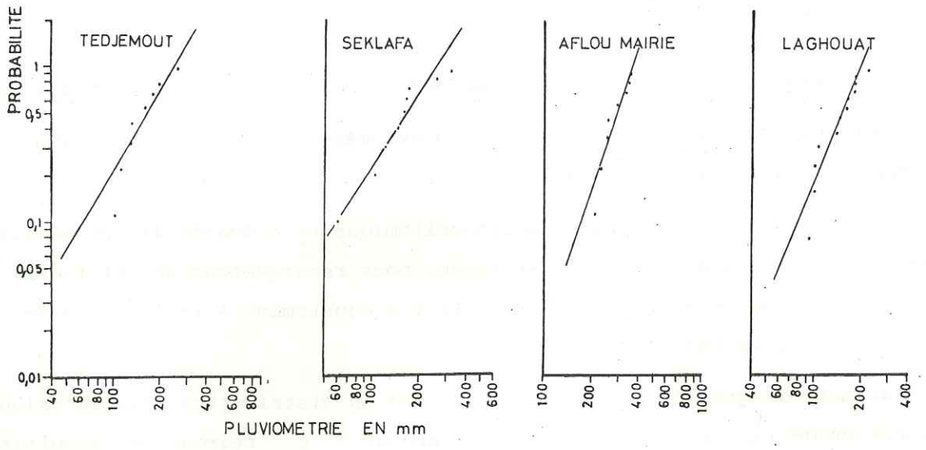
Par méthode graphique, nous avons évalué la distribution pluviométrique en fonction de la période de retour. Le tableau n° 6 regroupe les résultats d'ajustements graphiques obtenus sur les séries des périodes 1913-1980 (aux stations d'Aflou-Mairie, Tadjmout, Laghouat) et 1960-1980 (aux stations d'Aflou-Mairie, Seklafa, Aïn Mahdi, El-Houita, Tadjmout, Laghouat, Ksar Hirane. Notons aussi, que les ajustements sur un nombre peu important d'années d'observations, de la période 1960-1980 ne sont pas très significatifs.

. Variations des précipitations annuelles moyennes avec l'altitude

Le tableau n° 5 résume les moyennes annuelles calculées à différentes périodes. Les stations de mesure étant classées par ordre d'altitudes décroissantes; nous constatons que la pluviométrie moyenne annuelle croît d'une manière générale avec l'altitude. Ainsi, nous avons cherché à établir, en appliquant la méthode des moindres carrés, les droites de corrélation P = f (Z) et Z = f (P) (où Z est l'altitude en mètre et P la pluviométrie en mm), (tableau n° 7)

Périodes	P = f (A)	A = f (P)	r
1913-1953 - MEDINGER	P = 0,26 A - 36	A = 3,68 P + 171	0,98
1950 - 1961	P = 0,30 A - 67	A = 3,31 P + 237	0,99
1960 - 1980	P = 0,22 A - 54	A = 2,97 P + 152	0,81
1979 - 1980	P = 0,29 A - 115	A = 2,3 P + 603	0,82

Tableau n° 7 : Fonctions pluviométriques



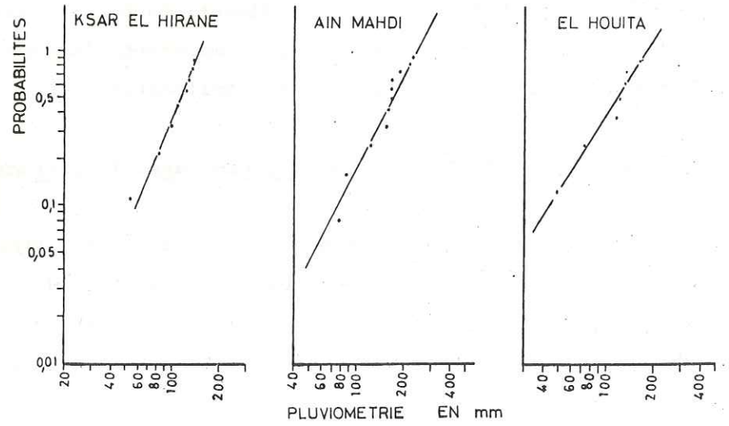


Figure n° 8 : Distribution Gausso-logarithmique des totaux annuels des précipitations.
(période I960 - I980)

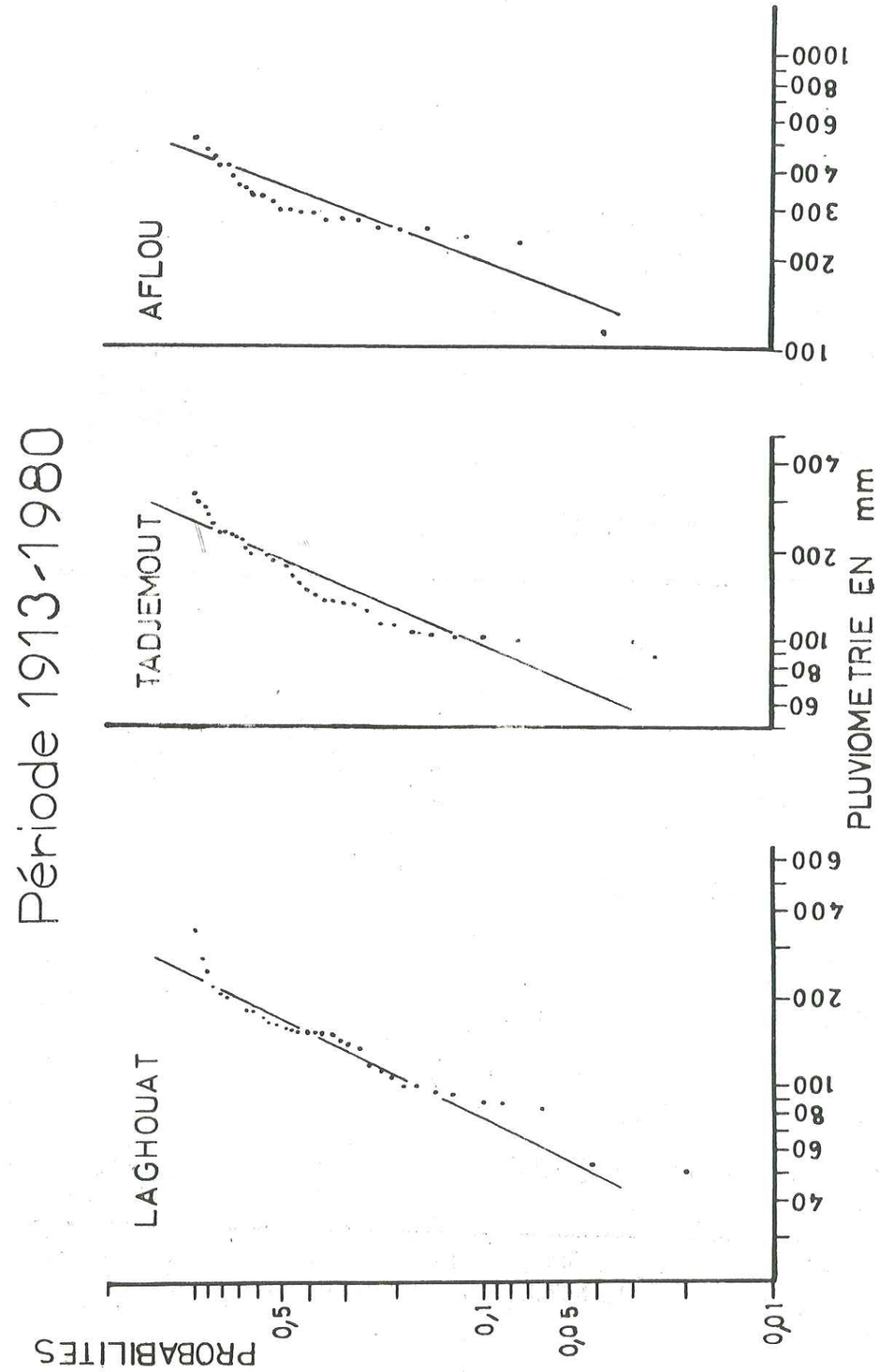
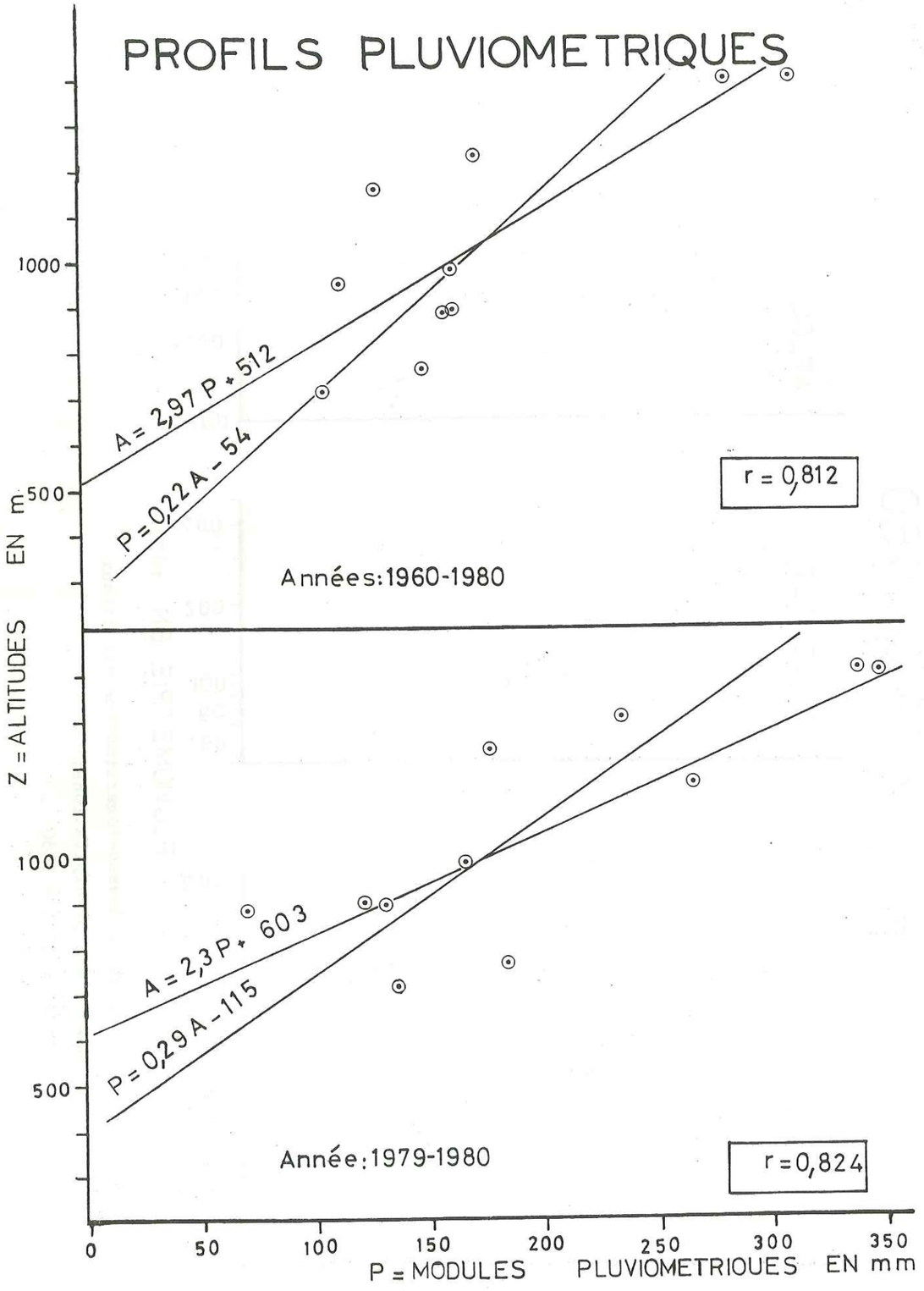


Figure n° 9 : Distribution Gausso-logarithmique des totaux annuels des précipitations;
(période I913 - I980).



Les fonctions de corrélation des périodes 1913-1953 et 1950-1961 ne sont données qu'à titre indicatif, vu le nombre trop faible des stations de mesure. La détermination des droites P = f (A) et A = f (P) pour la période 1960-1980 et les années 1960-1980, a été établie sur un nombre non négligeable de moyennes annuelles (respectivement 10 et 11), et les coefficients de corrélation (r) voisins de 1, permettent d'affirmer l'existence d'une variation altimétrique de la pluviométrie. La représentation graphique de la figure 10 visualise cette variation.

I.2.2. DETERMINATION DU VOLUME ET DE LA LAME D'EAU TOMBEE SUR LE BASSIN VERSANT A L'AMONT DE LAGHOUAT

Pour l'évaluation de la pluviométrie moyenne sur ce bassin versant (durant la période 1960-1980 et l'année 1979-1980) trois méthodes ont été combinées:

- Méthode de THIESSEN
- Méthode des Isohyètes
- Méthode du gradient altimétrique de la pluviométrie

1) Méthode de THIESSEN

C'est une méthode arithmétique. Pour chaque station, on attribue une zone d'influence de manière qu'un point quelconque situé sur cette surface, soit le plus près de ce poste que des autres. Le procédé est le suivant: sur une carte, nous situerons les différentes stations que l'on réunira par des droites, dont les médiatrices correspondantes détermineront une surface polygonale (autour de chaque poste de mesure). La pluviométrie moyenne à chaque station est supposée uniformément répartie sur l'aire polygonale correspondante. La lame d'eau moyenne tombée sur le bassin versant durant la période considérée est:

$$P_t = \frac{\sum P_i \; S_i}{S} = \frac{Vt}{S}$$

avec

V_t = Volume total d'eau tombé sur le bassin versant

S = Surface totale du bassin versant

P_i = Précipitations au centre du polygone considéré

S_i = Surface du polygone

La figure n° 11 montre le partage du bassin amont à Laghouat en surfaces polygonales.

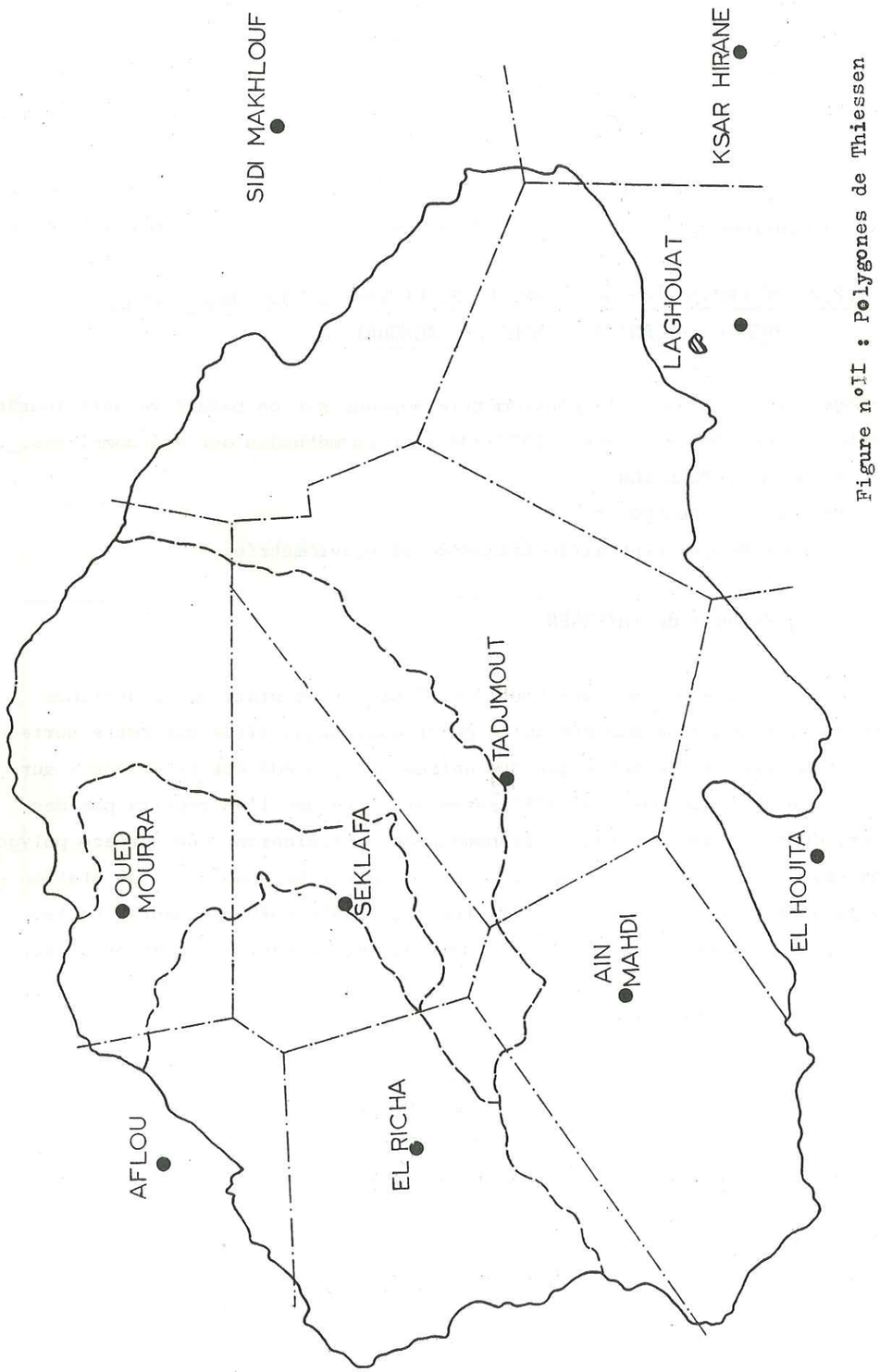


Figure n°II : Polygones de Thiessen

2) Méthode des isohyètes

En général, l'estimation des précipitations moyennes sur une région, par la méthode des isohyètes est préférable. Pour une période déterminée, connaissant les hauteurs moyennes de pluies à chaque station nous chercherons à tracer les courbes isohyètes (ou lignes d'égale pluviométrie), tout en essayant de tenir compte de la topographie. Ainsi, entre deux courbes successives, une surface dite interisohyétale est déterminée. La lame d'eau tombée sur cette surface correspond à la valeur moyenne des deux isohyètes qui la délimitent. Le volume d'eau tombé sur le bassin versant est:

$$V_t = \sum S_i . P_i$$

La lame d'eau moyenne totale est:

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

V_t = Volume d'eau tombée sur le bassin versant
S = Surface du bassin versant
S_i = Surface interisohyètes
P_i = Pluviométrie moyenne de la surface interisohyètale considérée.

3) Méthode de la variation altimétrique des précipitations

Elle est applicable dans le cas où la pluviométrie est fonction de l'altitude. Elle consiste à évaluer la lame d'eau tombée, par tranche d'altitude successives, sur le terrain considéré. Le volume total des précipitations tombant sur ce bassin est:

$$Vt = \sum S_i . P_i$$

soit une lame d'eau égale à:

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

V_t = Volume d'eau tombant sur le bassin versant

S = Surface totale du bassin versant

Si = Surface de la tranche d'altitude considérée

Pi = Pluviométrie à l'altitude moyenne de la tranche considérée déterminée graphiquement sur les profils pluviométriques.

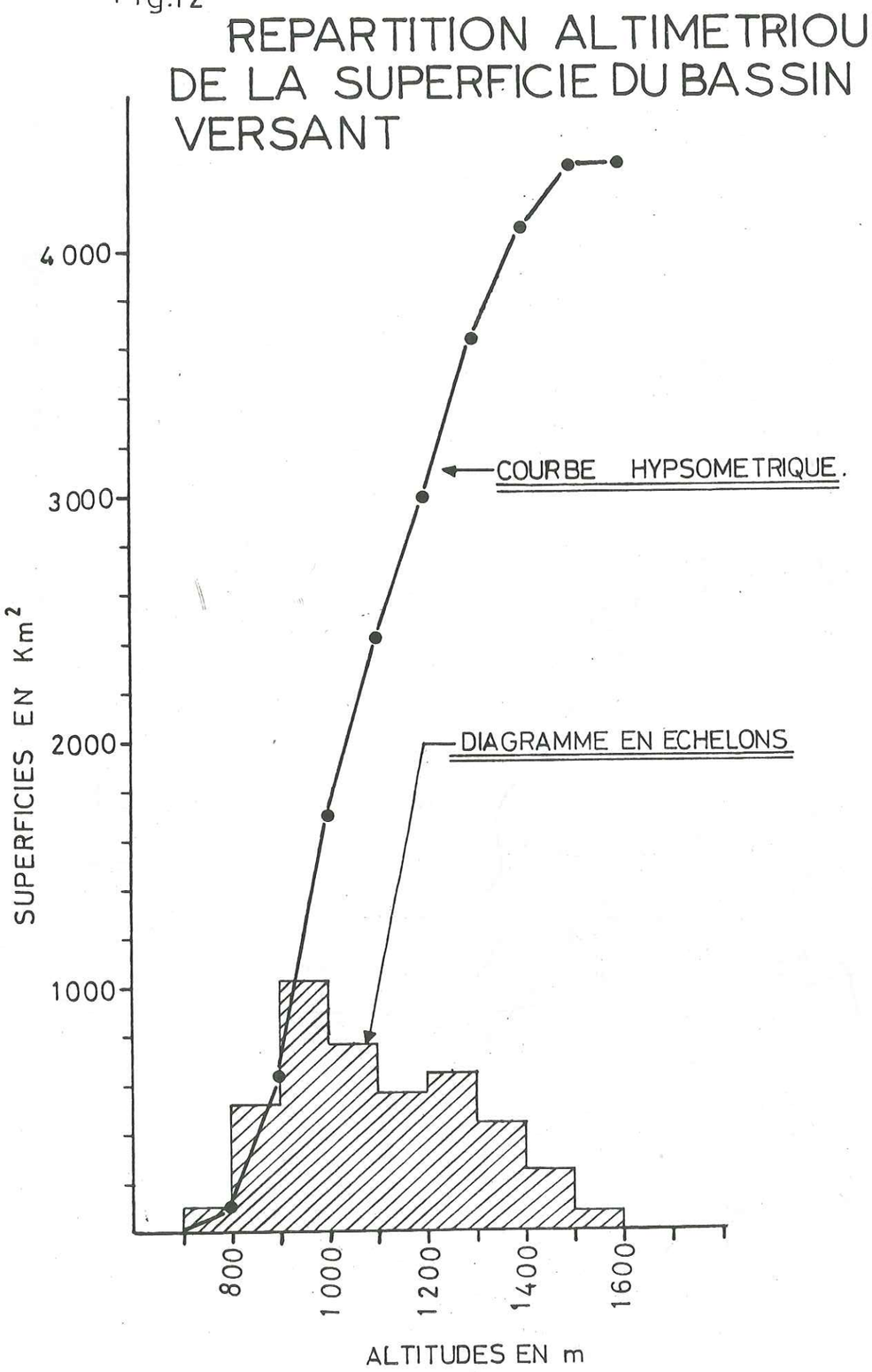
. Répartition par tranches d'altitudes et valeurs caractéristiques du bassin versant amont à Laghouat

Les surfaces du bassin versant, par tranches d'altitude de 100 m sont mesurées sur un fond topographique au 200.000 (Résultats sur le tableau n° 8)

Zone interisohyètes en mm	Surfaces interisohyètes en 10^6 m^2	Surfaces interisohyètes cumulées en 10^6 m^2	Surfaces interisohyètes en %
700 à 800	100	100	2,3
800 à 900	524	625	12
900 à 1 000	1 026	1 651	23,6
1 000 à 1 100	776	2 427	17,8
1 100 à 1 200	568	2 995	13
1 200 à 1 300	647	3 642	14,9
1 300 à 1 400	433	4 085	10,2
1 400 à 1 500	257	4 342	5,9
1 500 à 1 600	8	4 350	0,2
Total	4 350	4 350	99,9

Tableau n° 8 : Répartition des altitudes sur le bassin versant amont à Laghouat

Fig:12



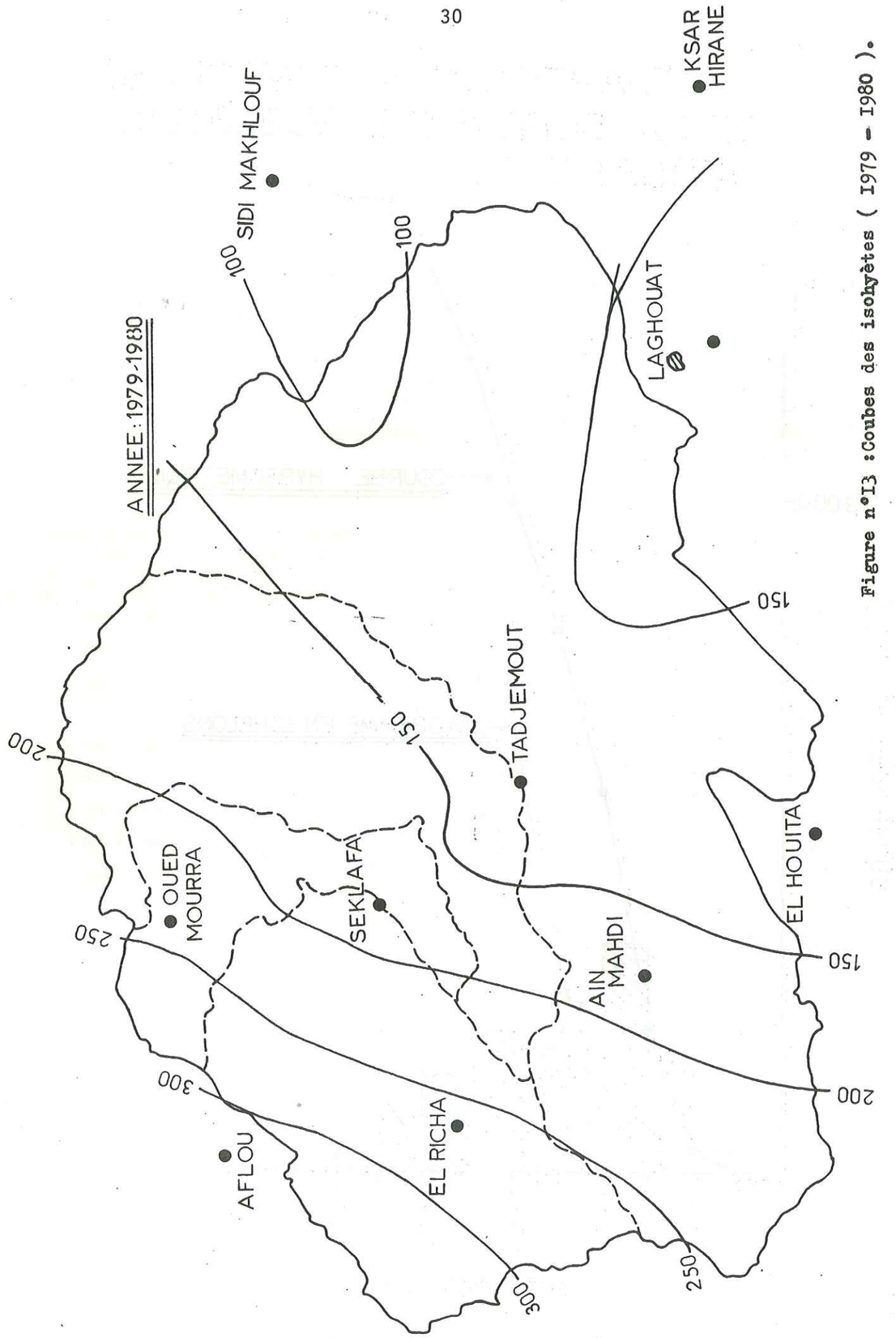


Figure n°13 : Coubes des isohyètes (1979 - 1980).

. Fréquences altimétriques et courbes hypsométriques (figure n° 12)

Ces valeurs sont reportées sous forme de diagramme en échelons. L'aire de la tranche altimétrique 900 et 1 000 m est la plus fréquente. Les pourcentages des tranches interisohyétales comprises entre 800 et 1 400 m sont équivalents. Cela est traduit sur la courbe hypsométrique par sa pente. Ces faits correspondent à un relief peu escarpé caractérisant ces régions.

. Valeurs caractéristiques du bassin

Superficie du bassin versant: 4 350 km2
Coefficient de forme de Gravelius: 2,53
Altitude moyenne du bassin : 1 090 m
Altitude de fréquence maximum : 950 m

4) Volume et lame d'eau tombée sur le bassin versant

Cette estimation concerne uniquement les années 1960-1980 et 1979-1980, durant lesquelles le nombre de stations de mesures est suffisant. Trois cartes ont été établies (carte du partage du bassin versant en surfaces polygonales et carte des isohyètes) (figures n° 11, 13, 14).

Les étapes du calcul des précipitations tombées sur ce bassin versant, pour chaque méthode, sont résumées sur les tableaux n° 9, 10, 11, 12.

La comparaison des différents résultats de cette évaluation montre que les valeurs obtenues sont du même ordre de grandeur, soit un volume moyen précipité sur ce bassin de 812.10^6 m^3 en 1960-1980 et de $857,66.10^6$ m^3 en 1979-1980, correspondant respectivement à des lames d'eau de 187 et 197 mm, soit en moyenne 190 mm.

052 176784 1

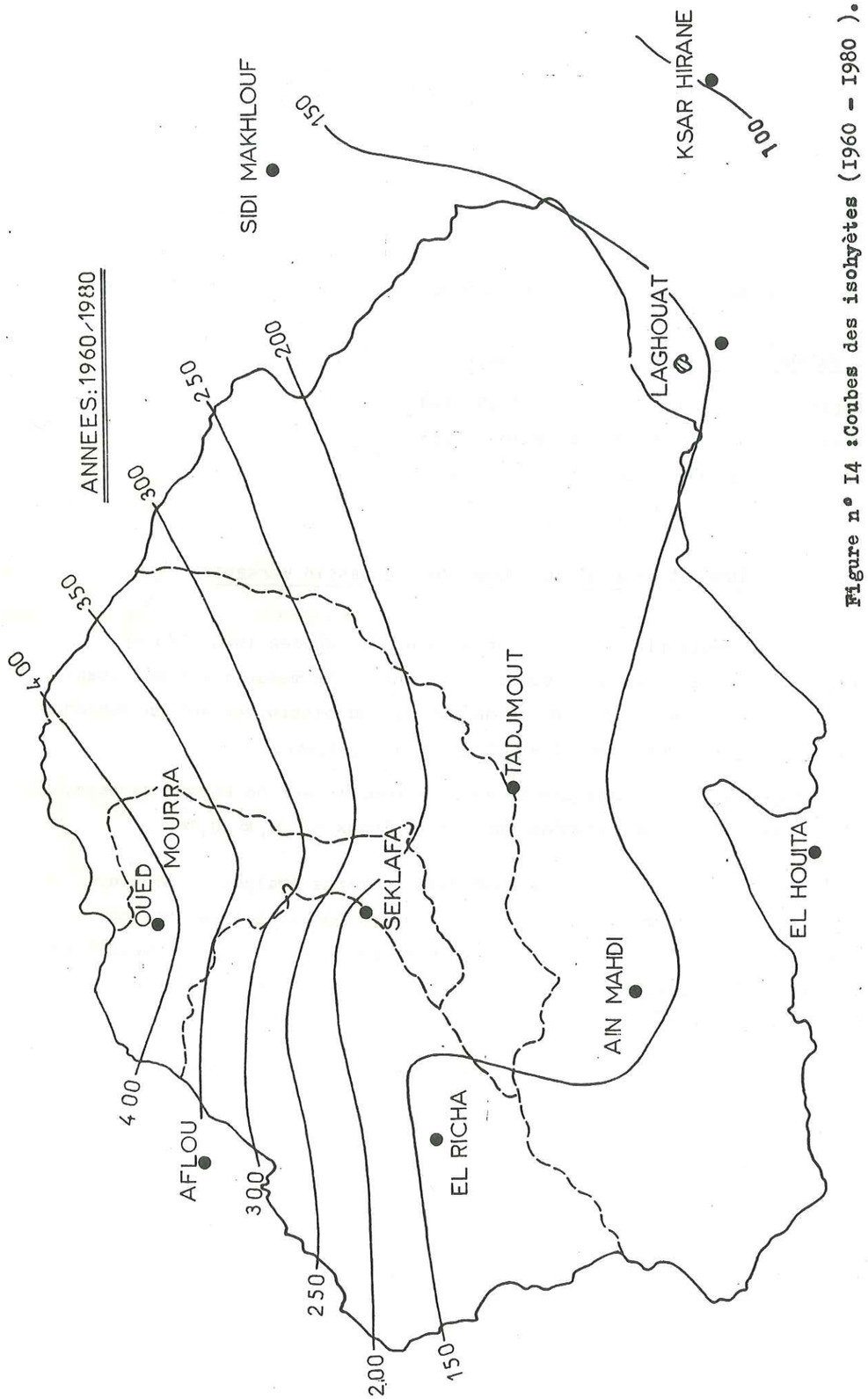


Figure n° I4 :Coubes des isohyètes (1960 - 1980).

Tranches altimétriques en m.	Aire de la zone en 10^6 m2	Année 1979 1980 A = f (P) Pluviométrie en m.	Année 1979 1980 A = f (P) Volumes en 10^6 m3	Année 1979 1980 P = f (A) Pluviométrie en m.	Année 1979 1980 P = f (A) Volumes en 10^6m3	Période 1960 1980 A = f (P) Pluviométrie en m.	Période 1960 1980 A = f (P) Volumes en 10^6m3	Période 1960 1980 P = f (A) Pluviométrie en m.	Période 1960 1980 P = f (A) Volumes en 10^6m3
700 à 800	100	0,06	6	0,10	10	0,08	8	0,11	11
800 à 900	525	0,11	57,75	0,13	68	0,11	57,75	0,13	68
900 1 000	1 026	0,15	153,90	0,16	164,16	0,145	148,77	0,155	159
1 000 à 1 100	776	0,20	155,20	0,19	147,44	0,18	139,68	0,18	139,68
1 100 à 1 200	568	0,24	136,32	0,22	124,96	0,21	119,28	0,20	113,60
1 200 à 1 300	647	0,290	187,63	0,25	161,75	0,245	158,515	0,22	142,34
1 300 à 1 400	433	0,33	142,89	0,275	119,075	0,275	119,075	0,245	106,088
1 400 à 1 500	257	0,38	97,66	0,305	78,385	0,315	80,955	0,265	68,105
1 500 à 1 600	8	0,42	3,36	0,335	2,68	0,31	2,48	0,29	2,32
Surface du bassin versant	4 341	Total	940,71		877,67		854,508		810,41
Hauteur moyenne des précipitations sur le bassin versant en mètre			0.216		0,202		0,192		0,187

Tableau n° **9** : Evaluation du volume et de la lame d'eau tombés sur le bassin versant amont à Laghouat (Année 1979 - 1980 et période 1960 - 1980)

Stations Pluviométriques	Surfaces des polygones en 10^6m2	Période 1960 - 1980 Pluviométrie ann. moyenne en m.	Période 1960 - 1980 Volumes en 10^6 m^3	Année 1979 - 1980 Pluviométrie ann. moyenne en m.	Année 1979 - 1980 Volumes en 10^6 m^3
Aflou	136	0,312	42,434	0,339	46,145
Oued Mourra	608	0,422	256,576	0,235	142,88
Seklafa	448	0,173	77,701	0,178	79,654
El Guicha	586	0,129	75,33	0,266	156,110
Aïn Mahdi	624	0,163	101,924	0,164	102,336
El Houita	208	0,114	23,631	0,122	25,976
Tadjmout	920	0,164	150,751	0,131	120,520
Sidi Makhlouf	364	0,161	58,495	0,071	25,953
Laghouat	426	0,151	64,117	0,184	78,516
Ksar El Hirane	8	0,107	0,859	0,136	1,088
Surface du bassin versant	4 350	Total	851,828		778,578
Hauteurs moyennes des précipitations sur le bassin versant en mètre			0,195		0,178

Tableau n° **10** : Evaluation du volume et de la lame d'eau tombés sur le bassin versant amont de Laghouat par la méthode des polygones de THIESSEN (année 1979-1980 et période 1960-1980).

PERIODE 1960 - 1980			ANNEE 1979 - 1980		
Surface interisohyète en 10^6 m^3	Pluviométrie moyenne inter-isohyète en m.	Volume en m^3	Surface interisohyète en m.	Pluviométrie interisohyète en m.	Volume en m^3
68	0,075	5,1	1 084	0,125	135,5
1 626	0,125	203,5	1 804	0,175	315,7
1 268	0,175	221,9	412	0,225	92,7
784	0,225	176,400	340	0,275	93,5
424	0,275	116,600	300	0,325	97,5
124	0,325	40,300	224	0,375	84
			156	0,425	666,3
4 296	Volume en m^3	763,8	4 320	Volume en 10^6m^3	885,2
Hauteurs moyennes sur des précipitations sur le bassin versant		0,178			0,204

Tableau n° 11 : Evaluation du volume et de la lame d'eau tombés sur le bassin versant amont de Laghouat, par la méthode des isohyètes (année 1979-1980 et période 1960-1980)

Périodes / Méthodes	1969-1980		1979-1980	
	Volume d'eau	lame d'eau	Volume d'eau	lame d'eau
Variation altimétrique	822,5	189	909,2	209
THIESSEN	851,8	195	778,6	178
Isohyètes	763,8	178	885,2	205

Tableau n° 12 : Volume (10^6 m^3) et lame d'eau (mm) tombée sur le bassin versant, d'après les trois méthodes

I.3. LES TEMPÉRATURES

La température est un facteur important conditionnant l'estimation du déficit d'écoulement.

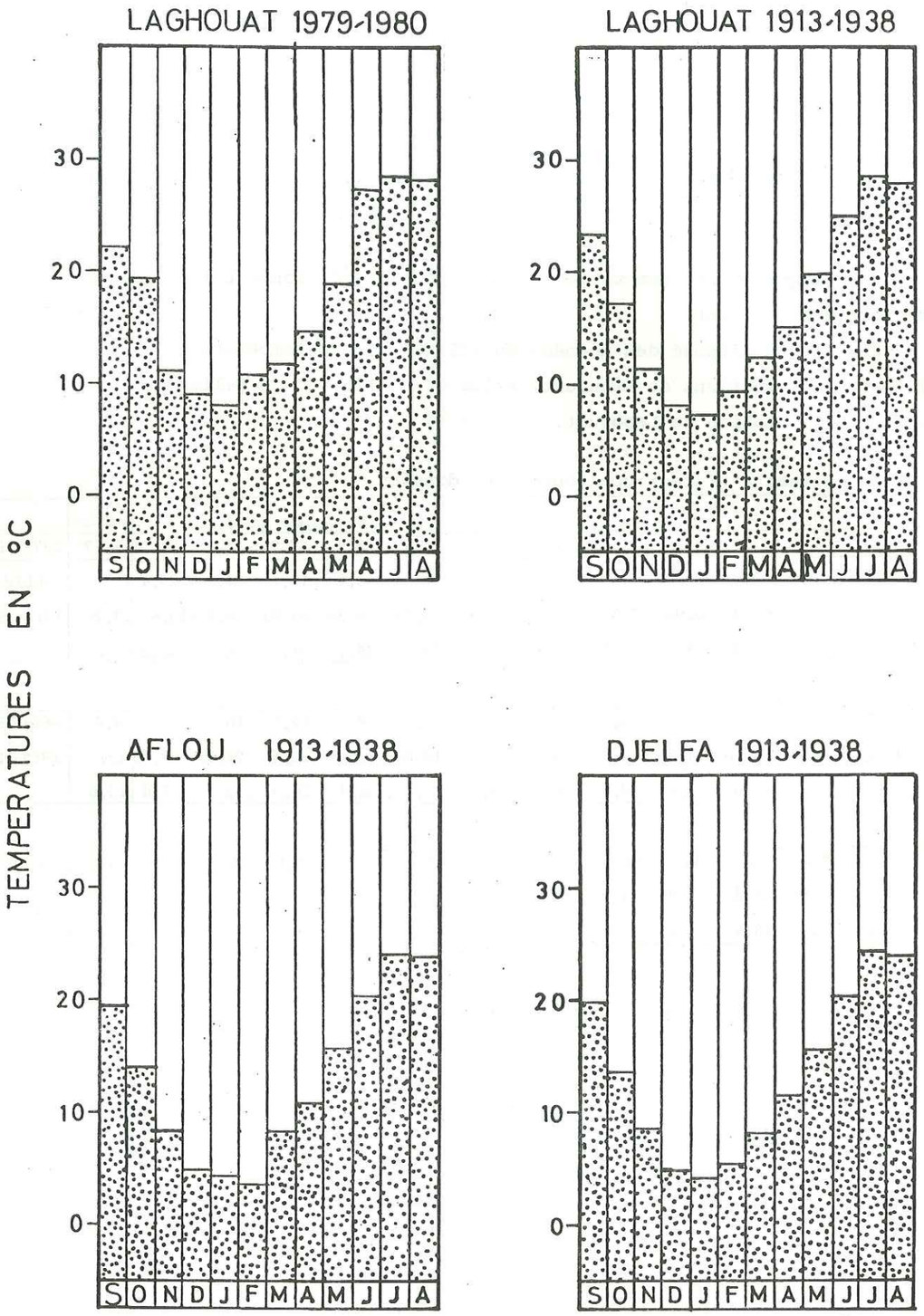
Nous avons disposé des données de SELTZER sur la température (1913-1937) aux stations de Laghouat, Aflou et Djelfa, et de celles de 1979-1980 à la station de Laghouat.

Le tableau n°13 regroupe toutes ces données.

	Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy. ann.	
LAGHOUAT	M	22,3	19,3	11,2	9	8	10,7	11,7	14,7	18,9	27,3	28,5	28	17,47	1979-1980
	Mi	16,8	11,6	5,9	3,1	2,3	3,6	6,5	9,4	13,2	18,1	21,2	20,4	11	SELTZER
	My	23,4	17,2	11,4	8,05	7,40	9,35	12,45	16,10	19,70	24,95	28,6	27,8	17,25	1913-1937
	Ma	30	24	16,9	13	12,5	15,1	18,4	22,8	26,2	31,8	36	35,2	23,5	
AFLOU	Mi	11,7	7,8	3,1	0,5	0,0	-1,3	2,4	4,3	8	12,5	15,1	15,3	6,6	SELTZER
	My	19,05	13,95	8,35	4,8	4,3	3,5	8,3	10,85	15,7	20,4	24,05	23,95	13,1	1913-1937
	Ma	26,4	20,1	13,6	9,1	8,6	8,3	14,2	17,4	23,4	28,3	33	32,6	19,6	
DJELFA	Mi	12,1	7,2	3,5	-0,1	-0,8	0,1	2,1	4,1	7,8	12,1	15,1	15	6,5	SELTZER
	My	19,8	13,65	8,65	4,85	4,25	5,5	8,2	11,4	15,6	20,3	24,3	23,95	13,35	1913-1937
	Ma	27,5	20,1	13,8	9,8	9,3	11	14,3	18,7	23,4	28,5	33,5	32,9	20,2	

Tableau n°13 : Températures mensuelles et annuelles (en° C)

Fig:15



TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES

. Les températures mensuelles

Sur le diagramme (figure n° 15), nous constatons que les mois de Juin, Juillet et Août sont les plus chauds, et Décembre, Janvier, Février les plus froids. Les températures atteignent en moyenne en Août 28,5, 24,5 et 24,30° C, respectivement à Laghouat, Aflou et Djelfa. Elles descendent en hiver à 7,4, 8°C à Laghouat, 3,5 à Aflou et 4,25 à Djelfa.

. Les températures annuelles

Elles sont relativement importantes (17,47°C à Laghouat, 13,1°C à Aflou et 13,35°C à Djelfa).

I.4. LES VENTS

Le vent est un élément important du climat. Ses caractéristiques (d'après SELTZER) sont résumées sur les tableaux n° 14, 15.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Force du vent	1,5	1,5	1,7	2	2,1	2,1	2,0	1,8	1,7	1,7	1,4	1,4

Tableau n° 14 : Force du vent à Laghouat estimée d'après l'échelle télégraphique (d'après SELTZER, 1913-1938)

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
7 h	18	12	4	5	4	11	16	30
13 h	14	10	4	6	8	15	14	29
18 h	15	11	4	5	7	14	13	31

Tableau n° 15 : Fréquence du vent à Laghouat (en %)

Les vents dominants de notre région sont ceux du NW. Le maximum de force est observé en Janvier, Février et le minimum en Juillet Août.

I.5. L'HUMIDITÉ

L'humidité, ou état hygrométrique "est le rapport exprimé en %, de la tension de vapeur, à la tension maximum correspondant à la température t". (SELTZER) - t étant la température lue au thermomètre sec.

Période \ Mois		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyennes
1979-1980		56	68	63	66	68	52	63	60	50	48	34	33	55
SELTZER 1913-1937	7 h.	60	66	75	80	80	72	70	57	55	48	43	43	
	13 h.	35	39	46	52	52	43	39	32	32	28	24	23	
	18 h.	37	42	49	59	60	46	41	35	34	28	26	24	
		44	49	56,66	63,66	64	53,66	50	41,3	40,3	34	31	30	46,46

Tableau n° 16 : Humidité relative à Laghouat en %.

La confrontation des données de SELTZER (1913-1937) et de 1979-1980 (recueillies à la station climatologique de l'aéroport de Laghouat) (tableau n°16), fait apparaître une période sèche de Juillet à Août, et relativement plus humide en automne et hiver. L'année 1979-1980 est plus humide.

I.3. ETUDE DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION

L'évapotranspiration est un phénomène important du cycle hydrologique. Elle constitue les pertes directes par retour dans l'atmosphère, à partir des réservoirs de surface et souterrains. Elle dépend d'un certain nombre de facteurs (température de l'air, température de l'eau, humidité de l'air, rayonnement solaire, vents et pression atmosphérique).

I.6.1. CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

Elle correspond à l'évaporation maximum d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau, suivant des conditions climatiques données.

Elle a été estimée par les formules empiriques de SERRA et de THORNTHWAITE pour les périodes 1979-1980 et 1913-1937 (SELTZER).

. Formule de Thornthwaite

$$E.T.P. = 1,6 \left(\frac{10\ T}{I}\right)^a$$

avec

E.T.P. = Evapotranspiration potentielle en cm

T = Température moyenne annuelle en ° C

$I = \sum_{1}^{12} i$ i = Indice de la chaleur = somme des 12 indices mensuels

$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$

$a = 0,492 + 1,79.10^{-2}\ i - 7,71\ .10^{-5}\ I^2 + 6,75.10^{-7}\ I^3$

. Formule de Serra

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

avec

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

T = Température moyenne mensuelle en ° C

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

e = Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm.

Les valeurs, de l'E.T.P. mensuelle, obtenues par l'emploi de ces formules, sont affectées d'un coefficient de correction tenant compte de la latitude et de la durée d'insolation moyenne du mois.

Les résultats de l'E.T.P. mésurée (Evaporòmètre Piche) et calculés à différentes périodes) sont regroupés sur le tableau n° 17 . Les valeurs de l'E.T.P. 1979-1980 et 1913-1937 (SELTZER) sont homogènes. Elle est maximum en été et relativement plus faible en hiver (Décembre à Février). Annuellement elle est de 935 mm à Laghouat et de 735 mm à Aflou.

Mois		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	T	Coefficient de correction / Périodes
Thornthwaite	∝	1,03	0,97	0,87	0,86	0,88	0,85	1,03	1,09	1,2	1,2	1,22	1,16		
	L	100	72	23	15	12	21	30	48	85	169	187	172	934	1979-1980
	L	110	59	24	13	11	17	34	59	94	144	188	171	924	SELTZER
	A	87	53	23	10	10	8	28	43	77	112	142	135	728	1913 - 1937
Serra	L	100	72	24	15	13	21	31	49	90	168	185	171	939	1979 - 1980
	L	110	59	25	13	11	15	35	59	94	144	188	168	921	SELTZER
	A	91	54	23	11	10	7	28	34	80	115	149	140	742	1913 - 1937
Piche	L	61	50	38	40	38	39	54	54	89	112	98	85	718	1979 - 1980
	L	61	57	52	52	37	41	52	60	85	98	96	95	786	1973 - 1980

L = Laghouat; A = Aflou; ∝ = coefficient de correction

Tableau n° 17 : Evaporations potentielles (mm) calculées et mesurées

Eléments de ealcul		MOIS DE L'ANNEE MOYENNE												
		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
t	Température du bassin	23,5	16,0	9,3	6,0	5,4	6,7	10,6	12,9	19,7	24,6	28,6	28,1	
p	Pourcentage d'heures diurnes	0,280	0,252	0,232	0,222	0,232	0,250	0,270	0,290	0,310	0,320	0,318	0,300	
f	Facteur de Blaney et Criddle	5,30	3,90	2,88	2,41	2,46	2,80	3.51	4,08	5,33	6,22	6,77	6,32	
RH% (*)	Niveau de l'humidité minimale de l'air (%)	42	50	55	56	56	52	47	44	40	30	30	33	
n/N	Niveau du rayonnement solaire	0,8	0,8	0,6-0,8	0,6-0,8	0,6-0,8	0,6-0,8	>0,8	>0,8	>0,8	>0,8	>0,8	>0,8	
U	Conditions de ventosité (m/s)	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5	0-2	0-2	0-2	
Et °	Evapotranspiration journalière	6,3	3,0	1,8	1,2	0,9	1,5	3,0	5,0	6,3	6,2	6,9	6,3	
Et°	Evapotranspiration mensuelle (mm/mois)	189	118	54	37	28	42	93	150	195	186	214	195	1501
Et	Evapotranspiration du bassin du M'Zi	113	71	32	22	17	25	56	90	117	112	128	117	900

* D'après les observations à Foumel El Gherza et les tests expérimentaux sur le bassin
D'après l'étude de faisabilité du barrage de Seklafa

Tableau n°18 = Calcul de l'évapotranspiration d'après la méthode de BLANEY-CRIDDLE

. Détermination de l'évapotranspiration potentielle moyenne

Sur le bassin versant amont de Laghouat, la détermination de l'E.T.P. a consisté à procéder par tranches altimétriques de 100 m. Connaissant la température moyenne à Laghouat et le gradient altimétrique de la température mentionné par SELTZER (0,55°C/100 m), l'E.T.P. sur ce bassin versant est estimée à 850 mm. Cette valeur est inférieure à l'E.T.P. moyenne sur le bassin versant calculée par la méthode de BLANEY-CRIDDLE (d'après l'étude du projet de faisabilité du barrage de Seklafa, B.N.E.H. Alger avec la collaboration du bureau HYDROPLAN Company (tableaux n° 18 et 19).

Tranches interisohyètes en m.	Altitude moyenne en m.	E.T.P. en mm	Surfaces interisohyètes en 10^6 m^2	Volumes 10^6 m^3
700 à 800	750	910	100	91
800 à 900	850	888	525	46,62
900 à 1 000	950	872	1 026	89,67
1 000 à 1 100	1 050	840	776	65,184
1 100 à 1 200	1 150	832	568	47,2576
1 200 à 1 300	1 250	788	647	50,9836
1 300 à 1 400	1 350	767	433	33,211
1 400 à 1 500	1 450	739	257	18,992
1 500 à 1 600	1 550	721	8	0,576
		Total	4 350	3 613,92
		Lame d'eau moyenne en mm		830

Tableau n° 19 : Evapotranspiration potentielle sur le bassin versant amont à Laghouat

I.6.2. CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE OU E.T.R.

"On appelle évapotranspiration réelle dans un intervalle de temps donné, l'évaporation qui se produit pendant cette durée de temps donné".

On a tenté de l'évaluer par différentes méthodes.

. Méthode de L. Turc

L. TURC a établi une formule tenant compte des précipitations et de la température. Son application sur 254 bassins répartis dans le monde a donné de bons résultats. Elle est applicable à toutes les régions:

$$E.T.R.\ (mm) = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

avec

P = pluviométrie moyenne annuelle en mm.

$L = 300 + 25\ T + 0,05\ T^3$.

T = Température moyenne annuelle en °C.

Station	T en °C	P en mm	E.T.R. en mm.	E.T.R. % de P.	Période
Laghouat	17,47	184	190	-	1979 - 1980
	17,25	162	174	-	1913 - 1937
Aflou	131,1	342	324	94,7	SELTZER

Tableau n° 20 : E.T.R. annuelle en mm. d'après la méthode de TURC

Les valeurs de l'E.T.R. annuelle, obtenues à Laghouat sont légèrement supérieures à la pluviométrie P. A. Aflou, l'E.T.R. représente 94,7 % des précipitations. D'après les résultats de cette formule (qui peut être considérée comme la plus fiable) on peut dire que l'E.T.R. est très voisine de la valeur de la lame d'eau précipitée.

. Méthode de Coutagne

D'après la formule de COUTAGNE, l'évapotranspiration réelle annuelle calculée est:

$$E.T.R. = P - \lambda P^2$$

avec

P = hauteur moyenne des précipitations en mètre

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

t = température moyenne annuelle en ° C.

Cette formule est applicable si P en m est compris entre $\frac{1}{8\lambda}$ et $\frac{1}{2\lambda}$

Stations	T en °C	P (mm)	Limites d'application (m)	E.T.R. (mm)	% de P	Période
Laghouat	17,47	184	0,4 à 1,6	174	94,5	1979-1980
	17,25	162	0,4 à 1,6	158	97,5	SELTZER
Aflou	13,1	342	0,33 à 1,3	298	87	1913 - 1937

Tableau n° 21 : Evaporation réelle d'après la méthode de COUTAGNE

Les conditions d'application de la formule de COUTAGNE n'étant pas satisfaites, il est donc difficile de se fier aux résultats du tableau n° 21 ; mais les résultats obtenus sont assez vraisemblables tout de même.

I.7. DÉTERMINATION DU RUISSELLEMENT SUR LE BASSIN VERSANT A L'AMONT DE LAGHOUAT

Dans ce paragraphe, nous nous efforcerons d'estimer les débits transitant par la cluse du pont de Laghouat (c'est à dire à l'exutoire du bassin versant à l'amont de Laghouat). Les deux procédures de cette estimation sont les suivantes:

- Détermination du ruissellement par la formule de TIXERONT-BERKALOFF
- Estimation du volume annuel ruisselé à partir d'observations sur des crues.

I.7.1. RUISSELLEMENT PAR LA FORMULE TIXERONT-BERKALOFF

Dans le cas de bassin de grande superficie, en zone aride TIXERONT et BERKALOFF ont établi une formule permettant l'estimation du ruissellement moyen annuel:

$$R = \frac{P^3}{3\,E^2} \quad \text{en m.}$$

avec P = Pluviométrie moyenne annuelle en m.

E = Evaporation potentielle annuelle en m.

Le raisonnement tenu par ces deux chercheurs est le suivant:

1) "Lorsque les précipitations augmentent, le ruissellement tend à égaler les précipitations, déduction faite de l'évapotranspiration plafonnée à la valeur de l'évapotranspiration potentielle"

2) "Lorsque les précipitations tendent vers zéro, le ruissellement tend aussi vers zéro, et le rapport du ruissellement à la pluviométrie tend vers zéro".

La fonction la plus simple qui satisfait ces conditions est une courbe hyperbolique qui s'écrit:

$$R = \sqrt{P^n + E^n} - E$$

Un problème subsiste:

- Quelle valeur donner à n ?

L'ajustement de cette formule par TIXERONT BERKALOFF, aux bassins tunisiens déjà connus, a montré que la meilleure valeur de n est 3

Le développement de l'expression du ruissellement donne:

$$R = \frac{P^3}{3\,E^2}\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{P}{E}\right) 3 + \frac{\Theta}{5,4}\left(\frac{P}{E}\right)6\right]$$

Θ = coefficient compris entre zéro et 1.

Par simplification on obtient:

$$R = \frac{P^3}{3E^2}$$

Application:

P = Pluviométrie moyenne adoptée 190 mm;

Ep = Evaporation potentielle moyenne du bassin versant estimée par la méthode de THORNTHWAITE E = 830 mm, estimée par la méthode BLANEY-CRIDDLE, Ep = 900 mm;

soit une moyenne annuelle ruisselée R de 13,5 10^6 m^3, correspondant à une lame d'eau de 2,86 mm.

I.7.2. ESTIMATION DU VOLUME ANNUEL RUISSELE, A PARTIR D'OBSERVATION DE CRUES

Crue du:	11.12/9/67	27/11/67	24/5/68	23/8/68	10.11/1/69	28/4/1969	20/8/69	29.30/8/69	Crue moyenne
Volume estimé en 10^6 m^3	1,2	1	2	0,36	1,5	4	0,5	2	1,57

Tableau n° 22 : Volume de quelques crues à la station de Laghouat

Période	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	Nombre moyen de crue annuellement
Nombre de crue annuelle	5	8	8	3	10	3	4	5	4	7	4	5 à 6

Tableau n° 23 : Nombre moyen de crues annuelles

La détermination du volume moyen ruisselé, qui transite au pont de Laghouat a consisté à multiplier le nombre moyen annuel de crues par le volume d'une crue moyenne (tableaux 23,23).

Le volume moyen ruisselé annuellement est d'environ 9.10^6 m^3.

I.7.3. CONCLUSION

Les deux valeurs, du volume d'eau transité (annuellement) au pont de Laghouat, obtenues par ces deux procédés de calcul sont assez différentes. Néanmoins, on peut les considérer comme du même ordre de grandeur. Ce volume ruisselé peut être considéré comme égal à une valeur comprise entre 9 à 13,5 10^6 m^3, soit environ une lame d'eau de 2 à 3 mm correspondant à 1 - 1,5 % des précipitations.

=-=-=-=-=

I.8. CONCLUSION

Au cours de cette étude climatologique, nous nous sommes efforcés de dégager les caractéristiques des composantes du climat de notre région, et ceci malgré des lacunes (surtout durant les années 1960 - 1980)

La comparaison des données, de chaque station de mesure, à différentes périodes montre que les résultats obtenus sont assez concordants dans leur ensemble.

LA PLUVIOMETRIE

Elle est fonction de l'altitude, mais est relativement peu importante (100 à 350 mm en moyenne). La lame d'eau annuelle, tombant sur le bassin versant est de 190 mm.

LES TEMPERATURES

Les températures moyennes annuelles sont:

- de 13,1° C (SELTZER) à Aflou;

- de 17,47° C (1979-1980) et de 17,25° C (SELTZER) à Laghouat

L'été est très chaud (en Juin, Juillet) avec des températures moyennes mensuelles de 25 à 28° C à Laghouat et 20 à 24° C à Aflou. L'hiver est froid.

L'HUMIDITE

Contrairement aux températures, l'humidité est relativement faible en été et plus élevée en hiver.

LES VENTS

Le vent de N.W. est dominant, avec un maximum de force en Janvier, Février et un minimum en Juillet-Août.

EVAPORATION POTENTIELLE (E.T.P.)

L'E.T.P. annuelle est très importante(930 mm à Laghouat, 730 mm à Aflou), correspondant à une lame d'eau de 830 mm tombant sur le bassin versant. Mensuellement elle est maximum en été et faible en hiver.

EVAPORATION REELLE (E.T.R.)

D'après les résultats obtenus, nous pouvons seulement penser qu'elle est voisine de la pluviométrie à Laghouat; son estimation par la méthode de TURC donne une valeur légèrement supérieure à la pluviométrie, nous l'avons interprétée comme voisine de celle-ci. A Aflou, elle représente 94,7 % des précipitations.

LE RUISSELLEMENT SUR LE BASSIN VERSANT A L'AMONT DE LAGHOUAT

Il représente 1 à 1,5 % des précipitations. Le volume du ruissellement est estimé à son exutoire (pont de Laghouat) de 9 à 13,5 10^6 m^3, soit une lame d'eau de 2 à 3 mm.

=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=

CHAPITRE DEUXIEME - ETUDE GEOLOGIQUE

INTRODUCTION

II.1. GÉOLOGIE GÉNÉRALE

II.2. GÉOLOGIE ET STRATIGRAPHIE DE LA RÉGION DE LAGHOUAT

II.2.1. STRATIGRAPHIE

II.2.2. TECTONIQUE ET STRUCTURE DE LA REGION DE LAGHOUAT

II.2.3. CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES DIVERSES FORMATIONS

INTRODUCTION

La région étudiée chevauche deux domaines qui contrastent par leur géologie et leur morphologie:

- *le domaine atlasique saharien*
- *le domaine saharien*

L'ATLAS SAHARIEN a pris naissance à l'emplacement d'une large gouttière, subsidente, plongeant vers l'Est, où se sont accumulés d'importants dépôts secondaires néritiques et continentaux.

Au Lutétien supérieur débute une longue période orogénique. La phase pyrénéenne est responsable de la surrection de l'Atlas saharien qui, morphologiquement et géologiquement, est marqué par une individualité propre, par rapport aux régions voisines. Les reliefs sont escarpés et séparés par de vastes zones planes. Il est formé alors par trois faisceaux de plis d'orientation SW - NE. D'Ouest en Est on distingue: les Monts du Ksour, le Djebel Amour et les Monts des Ouled Nail.

LE SAHARA est un ensemble de plateaux subtabulaires (que l'on désigne sous le nom arabe de Hamadas) et d'Ergs. Ces plateaux sont diversifiés suivant leur position, leur structure et la nature des roches qui les constituent.

Dans la région de Laghouat ces plateaux sont modelés dans les atterissements mio-pliocènes, qui ont comblé le sillon subsident parallèle à l'Atlas saharien.

-=-=-

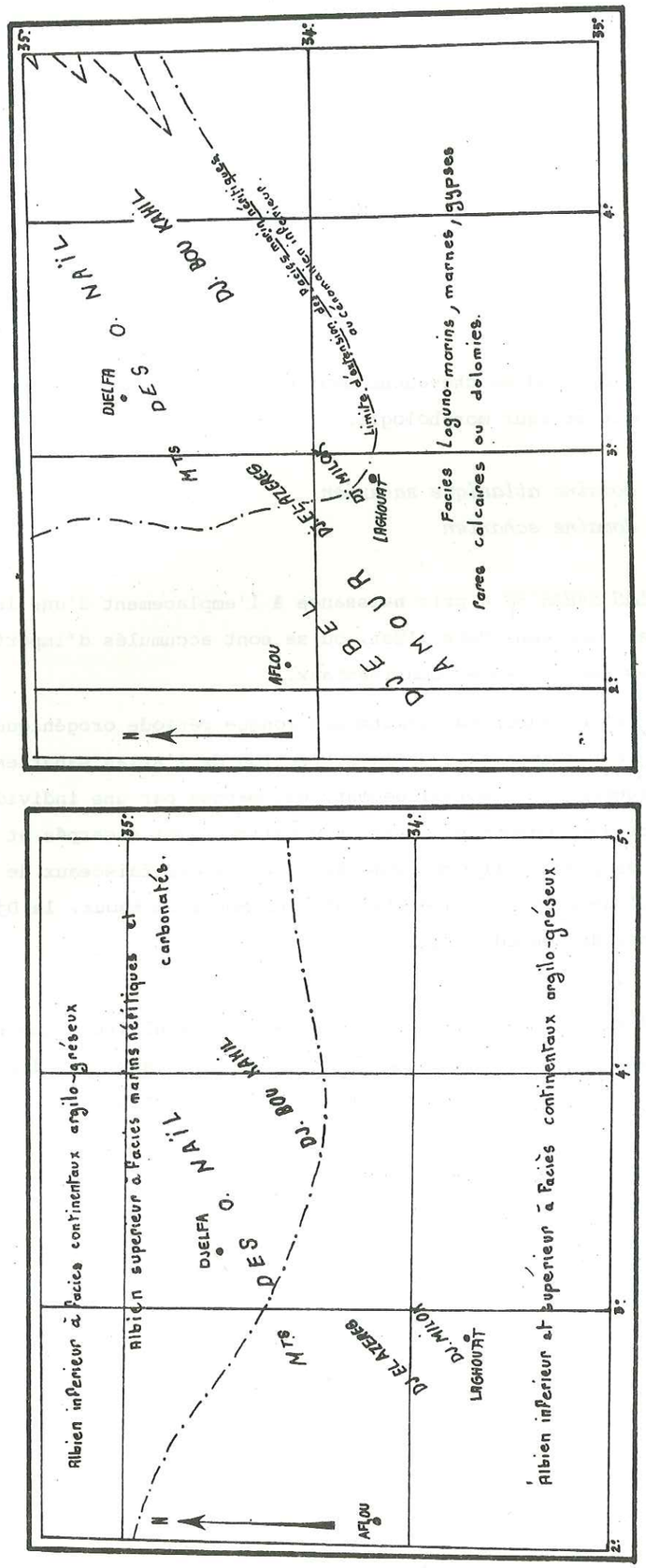


Figure n°17 : Schéma paléogéographique au Cénomanien.
(D'apres EMBERGER 1960).

Figure n°16 : Schéma paléogéographique à l'Albien.
(D'apres EMBERGER J. 1960)

II.1. GÉOLOGIE GÉNÉRALE (STRATIGRAPHIE)

L'histoire gélogique des dépôts de la région de Laghouat et des régions avoisinantes peut être résuméeà partir des différents travaux de recherche réalisés par:

. EMBERGER (Esquisse géologique de la partie orientale des Monts des Ouled Nail- 1960);
. FLANDRIN (Contribution à l'étude stratigraphique du Nummulitique algérien-1948);
. LAFFITTE (Etude géologique de l'Aures-1939);
. RITTER (Le Djebel Amour et les Monts des Ouled Nail-1902).

Dans cette synthèse, il ne s'agira que de la description des dépôts, de l'Albien au Nummulitique. Le Mio-Pliocène et le Quaternaire seront traités de manière locale pour la région de Laghouat.

II.1.1. HISTOIRE DES DEPOTS DANS LES REGIONS AVOISINANTS LAGHOUAT

1) L'ALBIEN (figure n° 16)

. *Dans les Monts des Ouled Nail* - L'Albien inférieur et supérieur sont bien distincts et se présentent sous des faciès différents.
L'Albien inférieur est franchement continental, les faciès sont gréso-argileux. Il est représenté par des grès fins à stratifications entrecroisées, niveaux à dragées et quelques fois présence de débris végétaux et d'argiles marneuses détritiques terminant la série. La limite inférieure est purement lithologique, elle correspond au toit des dernières formations marines ou lagunaires de l'Aptien. En allant vers le Sud de la région de Bou-Saada, le faciès continental gréseux a envahi très tôt l'Aptien supérieur, d'où difficulté de limite entre ces deux étages.

- L'Albien supérieur est calcaréo dolomitique
Il est représenté par des calcaires oolithiques ou zoogènes à *Miliolés, Alvéolinès et Dasycladacées* et des marnes graveleuses à débris d'Huitres. Au toit de cette série de l'Albien supérieur, on note un changement de faciès, avec apparition de niveaux marneux à intercalations de gypse, dont le nombre

augmente au fur et à mesure que l'on monte dans la série. La présence, dans les niveaux marneux d'Ostréides et d'Echinodermes du Cénomanien inférieur, permet de définir une limite paléontologique et lithologique, entre l'Albien supérieur et le Cénomanien inférieur.

. *Dans le Massif des Aures* (R. LAFFITTE, 1939) La base de l'Albien est caractérisée par des faciès continentaux au Sud-Ouest du Massif, passant vers le Nord à une fine alternance de grès et de marnes, à fines intercalations de petits bancs calcaires.

Au dessus de cet Albien inférieur, du Massif des Aures, vient une série carbonatée à Knémiceras, se terminant par des niveaux glauconieux et phosphatés à Ammonites (Hytocéras orbignyi, Oxytropidoceras, Diploceras, Deiradocéras). Vers le Sud Ouest, cette série passe à une alternance de marnes et de grès.

. *Dans l'Atlas saharien central et occidental et le Bas Sahara* - L'Albien est représenté entièrement par un faciès continental. Cependant un problème se pose dans les régions où l'interstratification marine de l'Aptien supérieur n'existe pas. Ainsi, le Néocomien, le Barrémien et l'Aptien, forment avec l'Albien une puissante série à faciès monotone. Faute d'éléments paléontologiques, les limites, d'extension de l'Albien supérieur, sont difficiles à préciser en allant vers le Sud et le Sud-Ouest.

. *Conclusion* - Dans le Sud Algérien, dès l'Aptien supérieur, une nouvelle phase régressive s'amorce, caractérisée par des dépôts continentaux argilo-gréseux. A l'Albien supérieur, on assiste à des mouvements de subsidence, et au retour de la mer dans les Monts des Ouled Nail où le faciès néritique s'installe. La limite, entre faciès continentaux et néritiques, se situerait au Sud des villes de Djelfa et de Biskra.

2) LE CENOMANIEN (figure n° 17)

. *Dans les Monts des Ouled Nail* - A la base, des marnes à Ostréidés et Echinodermes, et des calcaires à Foraminifères et dasycladacées alternent. Les épaisseurs sont de 360 à 400 m au Djebel Oussigna et Fernane. Elles diminuent vers le Sud-Ouest (où elles ne sont plus que de 150 m), le Nord et l'Est. La partie supérieure de cette série montre qu'un régime lagunaire s'installe. Les faciès sont alors représentés par une alternance de marnes argileuses,

de dolomies microcristallines et des bancs de gypse (présence de quelques interstratifications calcaires à Foraminifères, au sein des bancs de gypse, mettant en évidence des apports marins).

A l'Ouest et au Sud de la région de Bou-Saada persistait le milieu marin; le Sud et l'Est étaient recouverts de lagunes.

. *Dans l'Atlas saharien central et occidental* - Le Cénomanien repose sur un Albien continental à dominante gréseuse. Vers le Sud-Ouest, le contact se fait de plus en plus élevé dans la série cénomanienne.

Au Djebel Milok, le Cénomanien est représenté par une alternance de calcaires marneux et de marnes vertes avec des interstratifications de gypses. La faune est représentée par des Ostréas, (des Alectyonias syphax, des Ostréas flabellata et des Ostréas africana).

Plus au Sud-Ouest dans les régions de Gerryville, le Cénomanien est représenté par des marnes gypseuses et des calcaires argileux avec à la base des niveaux gréseux, d'où difficulté de limite entre le Cénomanien et le complexe sousjacent. La découverte d'une faune à Strombus incertus, Néolobités péroni et Hétérodiadema libycum (par A. CORNET) a permis d'attribuer ces niveaux au Cénomanien supérieur. On peut donc penser que dans ces régions, seules les formations terminales ont gardé leur caractère marin. Dans les Monts du Ksour et plus particulièrement à la frontière algéro-marocaine, les faciès sont représentés par des marnes calcaires à silex et à nombreux fossiles.

. *Au Bas Sahara oriental et central* - Immédiatement au Sud de l'Atlas saharien on trouve un Cénomanien épais de 460 m. Cette formation débute par des marnes et des calcaires à algues et à préalvéolines, la partie supérieure étant alors représentée par des marnes dolomitiques, des calcaires argileux à foraminifères et gypse.

. *Dans les Monts du M'Zab*, à l'Ouest de la dorsale, la série cénomanienne de 200 mètres d'épaisseur est représentée à la base par des marnes gypseuses, du gypse et de rares passées argileuses.

Au Sud, vers Touggourt, les épaisseurs ne sont plus que de 290 m. La série est caractérisée par un faciès laguno-marin (dolomies, marnes argileuses ou dolomitiques et gypse).

.Conclusion - Le Cénomanien correspond à une transgression générale sur des terrains qui étaient jusqu'à lors émergés.

Dans les bassins des Hautes Plaines constantinoises, de l'Aures et de la partie orientale des Monts des Ouled Nail, la transgression s'est manifestée plus tôt; le Cénomanien repose en concordance sur l'Albien entièrement marin. Suivant l'axe nord est - sud ouest de l'Atlas saharien, la transgression s'est manifestée d'abord dans le Djebel Amour, puis dans les Monts du Ksour. Ceci se traduit stratigraphiquement par un contact de plus en plus élevé entre faciès continentaux et marins. Vers les régions situées au Sud de l'Atlas saharien, la transgression ne se manifestera qu'au Cénomanien supérieur et la mer va occuper un vaste territoire allant de l'Atlas saharien jusqu'aux confins du Hoggar.

3) LE TURONIEN

. Dans les Monts des Ouled Nail - Après la phase laguno-marine qui a caractérisé le Cénomanien terminal, le Turonien marque le retour d'une sédimentation franchement marine.

Dans les Monts des Ouled Nail, le Turonien est caractérisé, à la base, par des calcaires sublithographiques, à rares Ammonites (Blanchioceras nigerieuse, Hoplitoïdes ingens) et des calcaires argileux à Inocerames et organismes pélagiques (Globigerines, Gumbelines (Fissurines). Au-dessus, on trouve des marnes dans lesquelles viennent s'intercaler des passées de calcaires argileux à débris. Dans les régions sud de l'Atlas saharien oriental, la faune est peu abondante (Foraminifères arénacés et Huîtres). Par contre, la faune est plus abondante dans les régions septentrionales de l'Atlas saharien, où elle est constituée par des Lamellibranches tel que Ostréïdés, Pectinidés, Echinodermes (Hemiaster) et Foraminifères pélagiques (Globotruncana). La présence de ces Foraminifères, dans ce milieu peu profond s'explique par l'amenée, par les courants, d'organismes pélagiques d'une mer plus profonde des Hautes Plaines algéroises. Le Turonien se termine par une épaisse série de calcaires zoogènes.

En ce qui concerne les épaisseurs, un maximum a été observé à Khenget Grouz (626 m); elles diminuent vers le Nord jusqu'à 300 m (355 m à Rass Daba, 250 m à Bouir-Ed-Dich).

. Dans les Monts des Aures et du Bellezma (R. LAFFITTE-1939) - Dans les régions de Batna, du centre et du Nord-Est du Massif des Aures, le Turonien est défini à la base par des marno-calcaires fossilifères à Echinodermes et rares Ammonites (Hemiasters, Thomasites, Mammites, Hoplitoïdes, Pseudotissotia). La partie supérieure devient plus calcaire, elle est caractérisée par des marno-calcaires avec intercalations de dalles calcaires à rares Rudistes et Hippurites (Vaccinites Rousseli). En quittant ces régions, vers la périphérie du Massif des Aures, R. LAFFITTE signale une invasion progressive de la série marno-calcaire, par des formations récifales dont la fréquence devient importante au sommet. Les niveaux calcaires renferment des Rudistes et des Mélobésiées, et les niveaux marneux qui leur sont interstratifiés renferment des Rudistes, associés à des Hemiasters et à des Lamellibranches.

Les épaisseurs sont de 100 à 300 m et peuvent atteindre 800 m au centre du Massif des Aures.

. Atlas saharien central et occidental - Bas Sahara central - Le Turonien, moins épais, est constitué par des calcaires organogènes dolomitiques et calcaréo-dolomitiques. Dans ces régions, il forme la partie sommitale des synclinaux perchés, où il ressort morphologiquement en falaises, dominant le Cénomanien plus tendre et à pentes douces. L'épaisseur dans le cercle de Laghouat (Djebel Milok), est encore de 300 m. Elle diminue progressivement vers le Sud-Ouest. Elle est alors de 100 m à Brezina. Bien que d'épaisseur réduite, le Turonien renferme de nombreux fossiles (Sphénodiscus requieni, Thomasites, Mammites, Hemiasters, Holasters, Pyrina, Rudistes, Ostréïdés).

Au Bas Sahara, le Turonien est assez bien représenté et constitue l'essentiel de la Chebka du M'Zab. Il est caractérisé par des calcaires, parfois dolomitiques, à Rudistes et à Huîtres, de 100 m de puissance.

. Conclusion - Le Turonien est caractérisé par des dépôts néritiques calcaréo-dolomitiques et parfois à tendance récifale, caractérisant une mer peu profonde.

La mer a recouvert l'ensemble de l'Atlas saharien du Nord Sahara et des Aures.

Les épaisseurs diminuent progressivement du Nord-Est au Sud et au Sud-Ouest; elles seront de 300 m au Djebel Milok et plus que de 100 m dans les Monts du Ksour, sur la dorsale du M'Zab et à l'extrémité sud occidentale de l'Atlas saharien. Les épaisseurs les plus importantes ont été observées à Metlili (Aures 800 m).

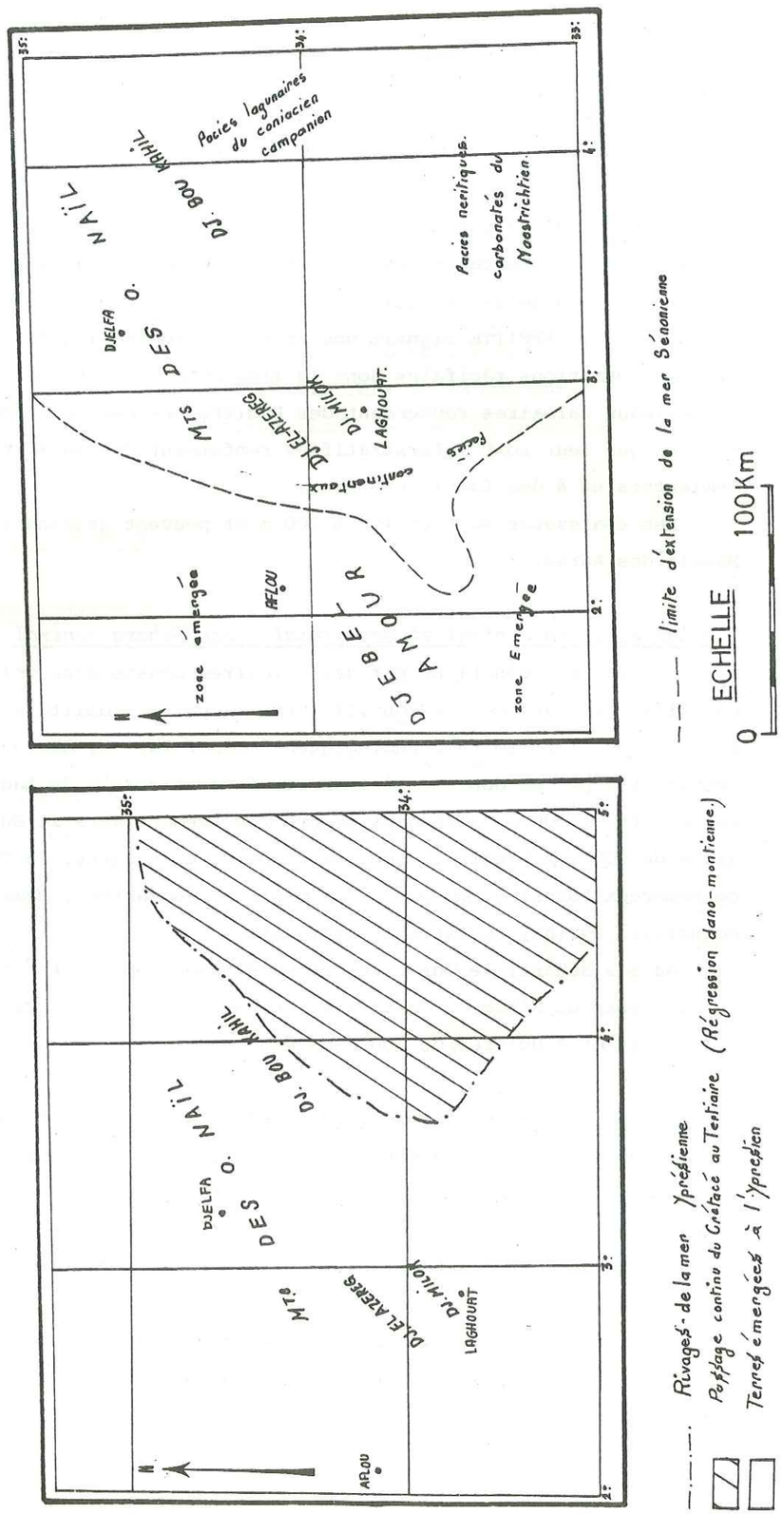


Figure n°18 : Schéma paléogéographique au Sénonien.
(D'apres EMBERGER J. 1960).

Figure n°19 : Schéma paléogéographique à l'Eocène inférieur
(D'apres FLANDRIN J. 1948).

4) LE SENONIEN (Fig:18)

. Dans la partie orientale des Monts des Ouled Nail - C'est le dernier faciès marin de la région.

- au Néocrétacé (Coniacien, Santonien): Les dépôts sont marno-gypseux à la base et calcaires au sommet. Dans les régions septentrionales, la présence d'une faune pélagique à foraminifères a permis de dater la série. Ces organismes ont été ramenés par les courants de la mer des Hautes Plaines algéroises et des Monts du Hodna. Les régions les plus au Sud sont caractérisées par la présence de Tissotia. La faune néocrétacée est abondante, elle est représentée par des Ostreas, Dichotomas, Hemiasters fournelis, Plicatules, Algues calcaires et Codiacées.
- Le Campanien est marneux à gypse diffus, avec de nombreux Ostréidés, Plicatules et Hemiasters.
- Le Maestrichtien est représenté au Sud par un faciès néritique subrécifal, à calcaires crayeux plus ou moins dolomitiques, oolithiques, à débris de Lamellibranches, de Rudistes (Radiolitides), d'Algues (Dasycladées, Codiacées, Laffitteïnes). Dans les régions septentrionales, le Maestrichtien est dolomitique calcaire (débris, Dasycladacées, nombreuses interstratifications de silex).

. Dans les Monts des Aures -

Au Coniacien-Santonien, les faciès au centre et au Nord-Ouest du Massif des Aures sont marneux, à nombreuses Ammonites (Barroisiceras heberfellnéri, Tissotia péroni, Tissotia fourneli, Placenticeras), Hemiasters et Ostréides. Vers le Sud Ouest les faciès deviennent de plus en plus calcaires (à Rudistes).

- Le Campanien est à dominante marneuse, à nombreux Foraminifères benthiques: Rotalia, Nodosaria, Bulimines. A l'Ouest d'El-Kantara, de Beni-Ferah de nombreuses intercalations calcaires sont à noter. Le Campanien de ces régions est très fossilifère (Hétérotissotias, Sphénodiscus, Mortonicéras delawarences, Hemipneustes, Ostréïdes).
- Le Maestrichtien est représenté à l'Ouest et au Sud-Ouest par des calcaires récifaux à Algues et à Bryozoaires. A l'Est et à la base, le Maestrichtien est formé de calcaires crayeux à Orbitoïdes, Bryozoaires, Libycoceras ismaeli, Bostrychoceras polyplocum. Au sommet, il est représenté par des calcaires massifs à Libycoceras charense.

. Dans l'Atlas saharien - Dans la partie septentrionale des Monts des Ouled Nail occidentaux le Coniacien est marneux, avec intercalations de calcaires à Tissotia fournelli, Echinodermes et Lamellibranches. Dans ces régions, le Maestrichtien et la majeure partie du Campanien seraient érodés. Plus au Sud, à l'Ouest de Laghouat, DURANT a signalé des faciès marins à Linthia, Echinobrissus et Goniopygus. Selon EMBERGER (1960), la mer devait à cette époque dessiner un golfe.

Dans le Djebel Amour et sur tout le versant méridional de l'Atlas saharien, le Sénonien serait continental ou laguno continental (poudingues, grès, gypses).

. Dans les régions sahariennes du Sud de l'Atlas saharien - Le Sénonien affleure au niveau de la dorsale du M'Zab. Dans ces régions, un régime lagunaire s'installe au Coniacien-Campanien. Au Maestrichtien, au Nord de Guerrara, de Ghardaïa, la série est, à la base, représentée par des marnes argileuses, à gypse et interstratifications de calcaires dolomitiques parfois silicifiés. Ensuite, viennent des dolomies cristallines à lits de silex, des calcaires, oolithiques ou argileux, fossilifères à Dasycladacées, Milioles, Rotalidés et débris de Mollusques.

Au Sud de Guerrara, le Maestrichtien est à calcaires, marnes et gypse.

. Conclusion - La mer turonienne se retire des Monts du Ksour, du Djebel Amour ainsi que de la partie méridionale des Hautes Plaines oranaises. A l'Ouest, elle ne couvrira plus que les Monts des Ouled Nail et les Monts du M'Zab.

- Au Coniacien, on assite à une diminution d'épaisseur des sédiments du Nord au Sud. Dans les Monts orientaux des Ouled Nail et des Aures les dépôts sont néritiques, épais, à marnes et calcaires. Plus au Sud, en allant vers le M'Zab, les faciès deviennent lagunaires.
- Au Campanien, le schéma paléogéographique restera, dans son ensemble, à peu près le même. Le faciès marneux se généralise. Il est à noter des intercalations de calcaires à Inocerames.
- Au Maestrichtien, on assiste à l'installation d'un faciès néritique carbonaté au Nord de Ghardaïa et Guerrara. Au Sud de ces régions les faciès deviennent laguno-marins (calcaires, marnes et gypse).

5) AU NUMMULITIQUE (J. FLANDRIN 1948 - Fig 19, 20, 21)

Dès le Tertiaire des mouvements orogéniques apparaissent et entraînent la surrection de l'Atlas saharien. La mer n'occupe plus que la cuvette du Bas Sahara et le secteur situé à l'Est des Monts des Ouled Nail. Les formations éocènes-oligocènes peuvent se subdiviser en deux grands ensembles, séparés par la phase pyrénéenne.

- Le premier éocène inférieur et moyen;
- Le second nummulitique supérieur (Priabonien et Oligocène).

. Eocène inférieur et moyen - A la fin du Crétacé, une régression générale a marqué l'Afrique du Nord. Au Dano-Montien, la mer n'occupe plus que le Bas Sahara et la partie orientale de l'Atlas saharien et un bras de mer situé entre les Hauts Plateaux et l'Atlas tellien. Au Thanétien, et surtout à l'Yprésien, la mer s'étend sensiblement, mais le schéma dano-montien reste le même. Au Lutétien, on assiste à une réduction du domaine marin. Le Lutétien se subdivise en un terme inférieur, qui lithologiquement se rattache à l'Yprésien (la séparation de ces deux termes ne peut se faire que par une étude minutieuse de la faune, qu'ils renferment) et en un Lutétien supérieur présentant des individualités liées aux mouvements précurseurs pyrénéens. La lithologie, l'épaisseur des dépôts, et la faune marquent le Lutétien supérieur.

Cela se traduit, à l'Eocène inférieur et moyen, stratigraphiquement par des faciès représentés par des calcaires et marno-calcaires, caractérisant les dépôts d'une mer peu profonde, dont l'épaisseur maximum ne dépasse pas 250 m.

Le Montien n'est individualisé qu'au Sud constantinois.

Le Thanétien est marneux à intercalations de niveaux phosphatés et glauconieux. Plus au large, à l'Ouest de la cuvette du Bas Sahara, dans les Ziban, dans l'Aures nord occidental, les niveaux phosphatés disparaissent et la limite entre Thanétien et Yprésien est arbitraire.

A l'Ypresien, la série que l'on rencontre dans les Aures, les Ziban et à Tébessa est marneuse, marno-calcaire et calcaire (à silex).

Le Lutétien inférieur est représenté, dans la partie nord de la cuvette saharienne, par une accumulation de gypse stratifié témoin d'une mer se transformant en lagunes. En allant vers les Ziban ces faciès passent par le bas à des marnes et des calcaires.

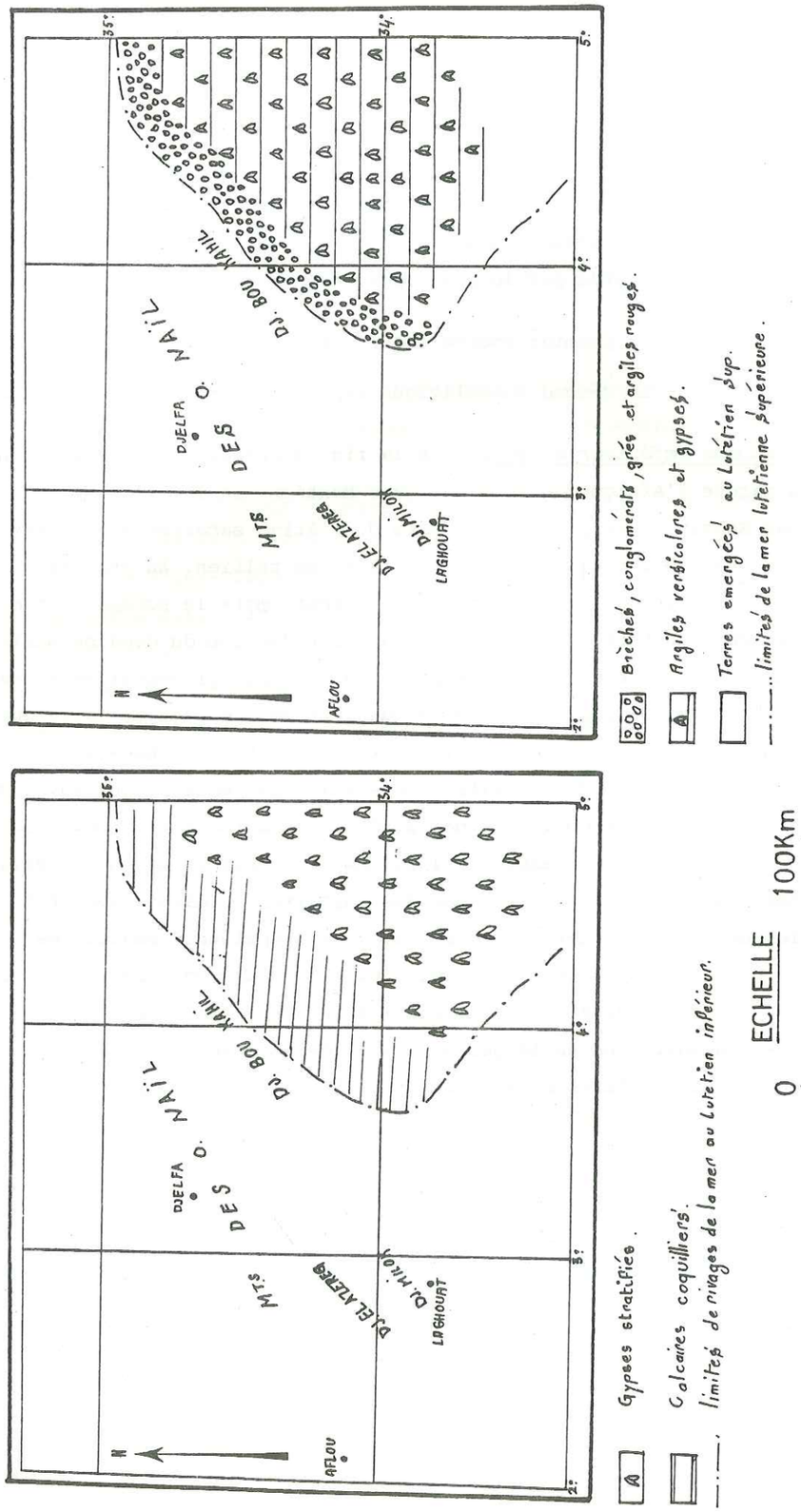


Figure n° 21 :Schéma paléogéographique au Lutétien supérieur.
(D'apres FLANDRIN J. 1948 a).

Figure n°20 : Schéma paléogéographique au Lutétien inférieur
(D'apres FLANDRIN J.1948)

Le Lutétien supérieur est représenté par de grandes épaisseurs de marnes intercalées dans des bancs de gypse. Il est aussi à signaler quelques niveaux calcaires à Coralia placunoïdes au Bas Sahara, et à Ostrea multicostata dans le Hodna. En allant vers les parties septentrionales du golfe du Sahara les faciès argileux et gypseux passent, brusquement, à des dépôts détritiques conglomératiques.

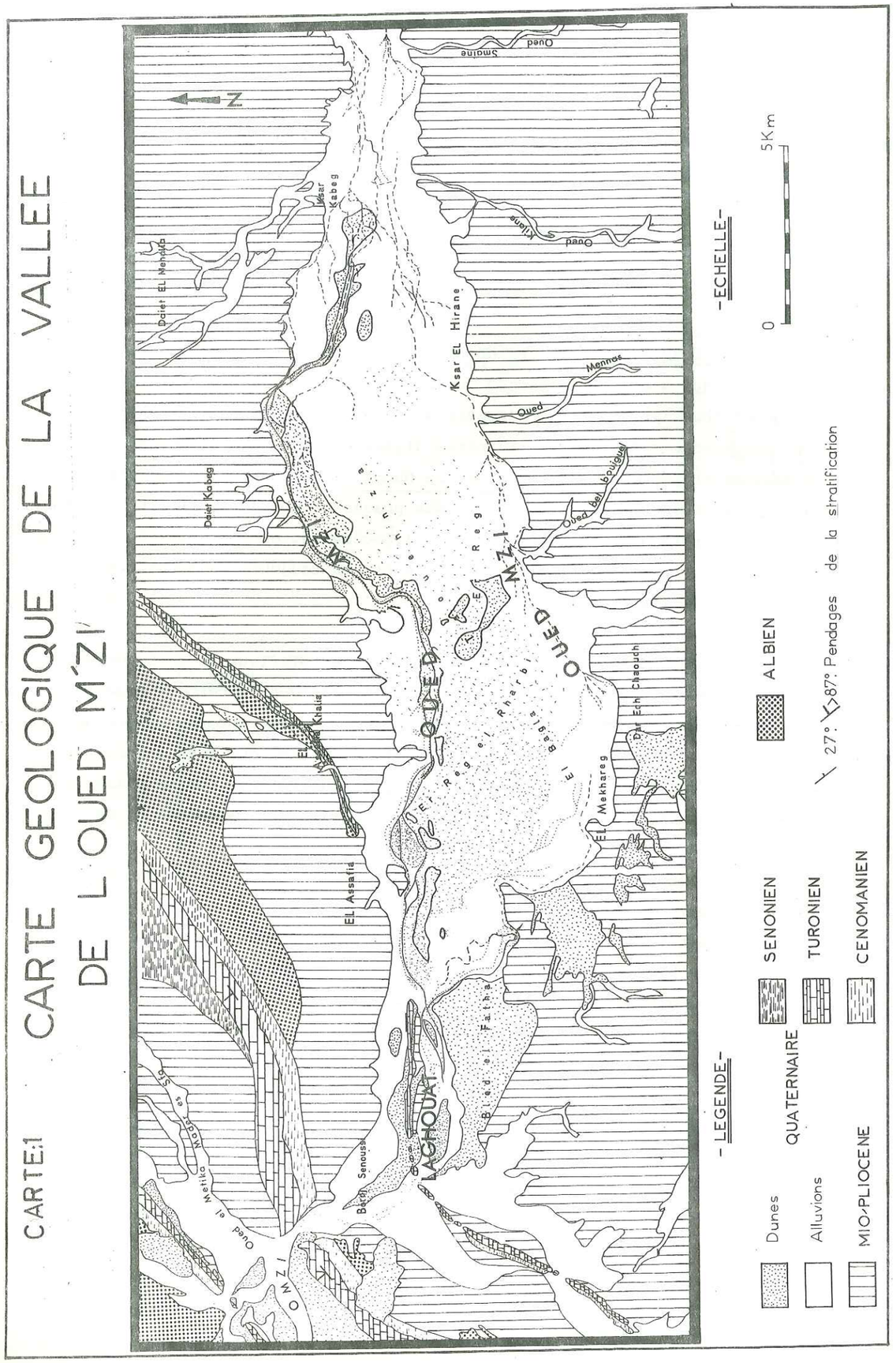
. *Au Nummulitique supérieur* (Priabonien - Oligocène). Les mouvements orogéniques qui s'étaient ébauchés durant le Lutétien supérieur, en Afrique, atteignent leurs paroxysmes à l'Eocène moyen et au Priabonien; il y a émersion presque totale des territoires algériens jusqu'à l'Oligocène. Après les mouvements paroxysmaux pyrénéens, le Nummulitique supérieur constitue un grand cycle sédimentaire encadré par deux phases orogéniques. Il correspond au Priabonien supérieur - Oligocène ou à l'Oligocène seulement, selon les régions. Contrairement au Priabonien à faune pauvre et pas toujours caractéristique, l'Oligocène est fossilifère.

. *Phases orogéniques au Nummulitique* - L'Eocène inférieur et le Lutétien inférieur caractérisent une période de calme orogénique. A cette époque les aires continentales, selon FLANDRIN (1948), formaient de vastes plate-formes ne s'élevant que faiblement au-dessus de la mer. Cela explique bien l'impuissance des zones émergées à nourrir une puissante série détritique. Cette phase de calme est soulignée par une sédimentation peu épaisse de calcaires et de marno-calcaires.

Au Lutétien supérieur, débute une longue période orogénique, responsable de la déformation des fonds marins et de la surélévation des territoires émergés. Il est marqué par une sédimentation épaisse, de marnes à intercalations de grès, et de niveaux de lumachelles, mettant en évidence une action combinée de la tectonique et de l'érosion sur un continent qui s'élève.

Après les derniers dépôts lutétiens, se place une phase pyrénéenne majeure qui provoque l'émersion presque totale de l'Algérie.

. *Conclusion* - Nous retiendrons que la majeure partie des territoires algériens sont restés émergés durant toute la période nummulitique (Eocène-Oligocène). Dans la région de Laghouat, après les derniers dépôts de la fin du Crétacé, la mer se retire durant tout le Nummulitique et ne reviendra qu'au Miocène.



II.2. GÉOLOGIE ET STRATIGRAPHIE DE LA RÉGION DE LAGHOUAT

L'étude géologique de la région de LAGHOUAT est basée sur des observations de terrains et sur les résultats des différents forages réalisés dans la région, principalement par la D.E.M.R.H. et l'E.T.H.L.A.

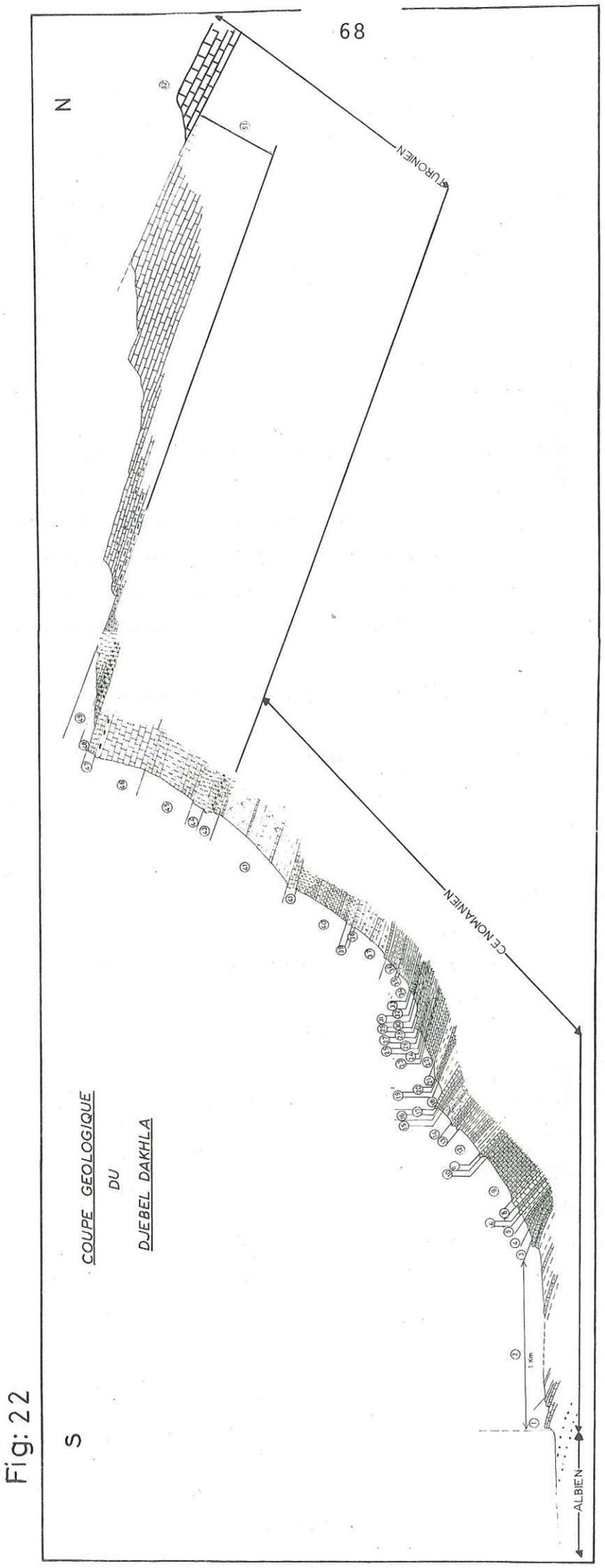
II.2.1. STRATIGRAPHIE

Les affleurements secondaires de la région étudiée sont très développés et se rencontrent exclusivement dans l'Atlas saharien. Le Mio-Pliocène est transgressif sur les terrains secondaires, sur lesquels il repose en contact anormal (carte n° 1). Deux coupes géologiques descriptives des séries cénomaniennes et turoniennes ont été levées au Djebel Dakhla et à El Kheneg. Le Mio-Pliocène et le Quaternaire sont décrits essentiellement par forages.

1) COUPE GEOLOGIQUE DU DJEBEL DAKHLA (fig. n° 22)

De bas en haut, on rencontre:

1) Bancs calcaires et niveaux importants de silex
2) Alternance monotone de marnes et de marno-calcaires
3) Marnes gypseuses
4) Calcaires marneux
5) Marnes verdâtres (1,5 m)
6) Gros banc calcaire
7) Intervalle marno-calcaire, à faune mal conservée (15 m)
8) (2 m) gros bancs calcaires
9) (20 m) calcaires marneux et marno-calcaires
10) Marnes gypseuses
11) Banc calcaire de 1 m, altéré en nids de guêpes, à traces de Lamellibranches
12) 15 m de marno-calcaires à Brachiopodes
13) (4 m) Bancs calcaires à traces de Lamellibranches et Ammonites, en voie de pyritisation
14) (6 m) Marnes argileuses verdâtres, légèrement gypseuses. On note dans la partie centrale une intercalation peu importante de marno-calcaires en bancs fracturés, en plaquettes, de 3 à 10 cm



COUPE GEOLOGIQUE DU DJEBEL DAKHLA

Fig: 22

15) 2 m de calcaires marneux

16) 1 m de marnes

17) Banc calcaire de 1 m, très fracturé, à patine rouille et à cassure crème

18) (2 m) marnes verdâtres

19) Bancs calcaires marneux, jaunes verdâtres, de 20 cm

20) Calcaire marneux rognoneux

21) Marnes verdâtres

22) (5 m) Bancs calcaires marneux et gypseux de 30 à 40 cm (les espaces entre les bancs sont occupés par du gypse)

23) Marnes finement litées en plaquettes et gypse cristallisé

24) Bancs marno-calcaires de 50 cm, verdâtres

25) Marnes verdâtres

26) (1,5m) marno-calcaires en bancs de 10 à 20 cm

27) (1,5m) marnes verdâtres avec cristaux de gypse

28) Banc massif de calcaire marneux, très fracturé, à patine rouille, à cassure blanchâtre, et à éléments fins

29) Banc de 1 m de calcaire marneux fin

30) Marnes en petits bancs discontinus et recristallisations de gypse dans les espaces interbancs et dans les fissures. Au sommet apparition d'un niveau à gypse

31) Banc calcaire marneux de 80 cm, blanchâtre à la cassure

32) Marnes et calcaires marneux en bancs discontinus

33) Banc calcaire marneux

34) (5 m) marnes blanchâtres, très gypseuses et niveaux de gypse en petits cristaux à la base

35) Banc marno-calcaire de 70 cm

36) Marnes et gypse cristallisé en "rosettes"

37) (20 à 15 m) marnes gypseuses et bancs marno-calcaires

38) Banc marno-calcaire de 90 cm

39) Banc de gypse de 2 m

40) 25 m de marno-calcaires en bancs de 10 à 20 cm, très fracturés, disloqués et rares intercalations de marnes dans la partie supérieure

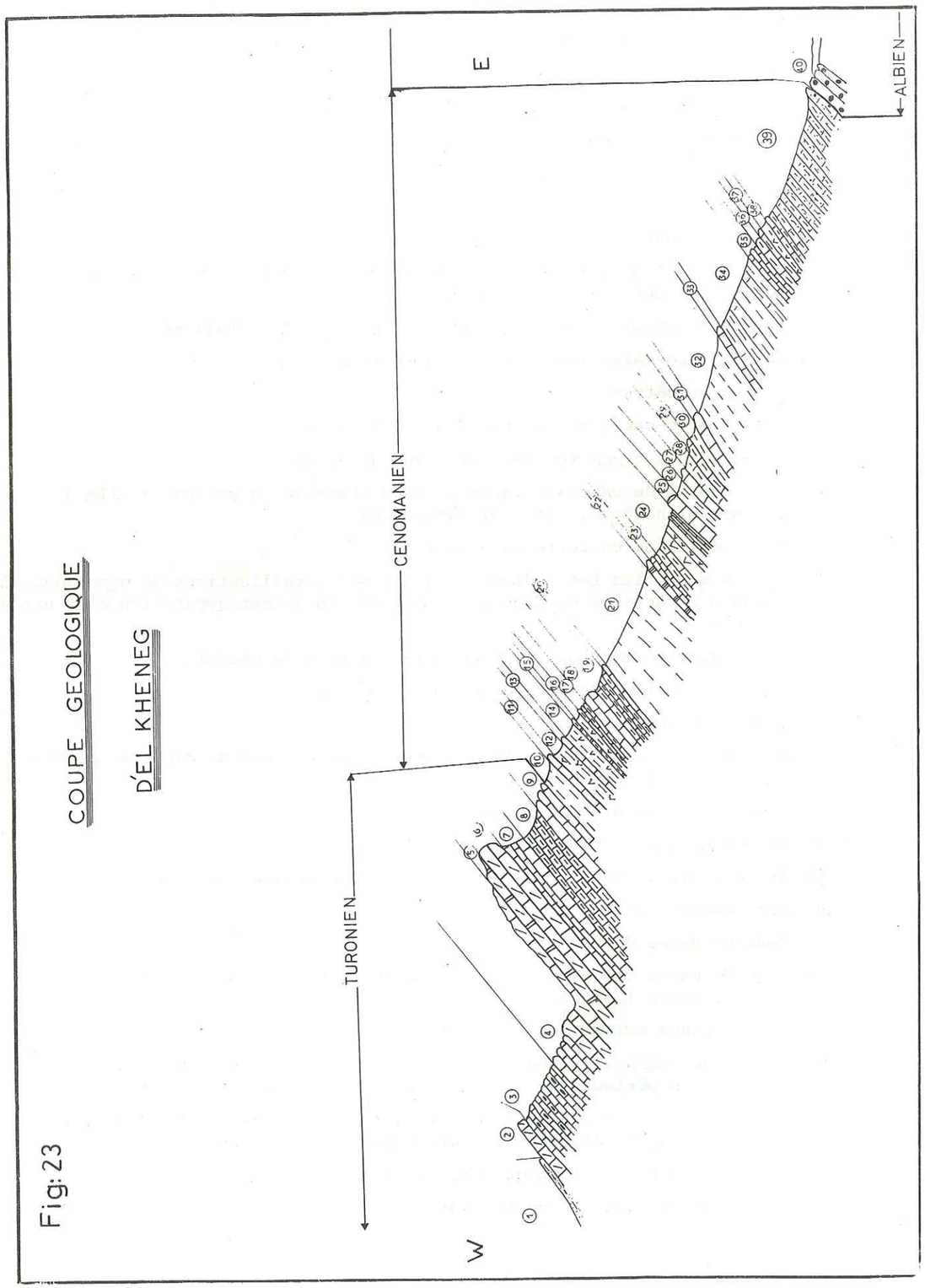
41) (30 m) bancs dolomitiques et calcaires

42) (15 m) de marnes gypseuses verdâtres et rares passées marno-calcaires. La partie supérieure est représentée par des marnes finement litées

43) Calcaires rouille , à cassure blanchâtre, très fracturés, très friables. La partie supérieure est légèrement plus dolomitique.

44) (5 m) calcaires sublithographiques, durs et blancs

45) Niveau dolomitique, très fracturé à texture grenue



COUPE GEOLOGIQUE D'EL KHENEG

Fig: 23

46) (20 m) gros bancs calcaires et dolomitiques de 50 cm à 1 m, bien cristallisés

47) (3 m) calcaires en gros bancs, altérés en nids de guêpes, à rognons de silex

48) (3 m) calcaires à nodules, calcaires noirs , blanchâtres à la cassure

49) (7 m) calcaires dolomitiques finement cristallisés, en bancs de 5 à 10 cm

50) (5 m) à la base, calcaires blanchâtres finement cristallisés, blanchâtres à la cassure. Les bancs sont très mal individualisés, et parfois caverneux. Ces niveaux sont fossilifères (moules externes de Mollusques). Au dessus, 5 m de calcaires à silex sur lesquels viennent des bancs plus massifs et moins fracturés.

51) Niveau à calcaires plus ou moins dolomitiques en gros bancs

52) Zone de recouvrement Mio-Pliocène (gréseux avec éléments bréchiques).

2) COUPE GEOLOGIQUE D'EL KHENEG (fig. n° 23)

De haut en bas, on rencontre:

1) Banc marno-gréseux

2) (4 m): calcaires dolomitiques à texture grenue et à silex(sur la surface des bancs)

3) (15 m) calcaires dolomitiques, en bancs massifs (de 20 cm à 1 m), durs et grisâtres

4) Calcaires dolomitiques et calcaires fins grenus grisâtres

5) (2 m): calcaires fins, en bancs bien distincts

6) Gros bancs à calcaires fins, plus ou moins dolomitiques

7) Calcaires fins ,

8) Calcaires marneux (tendres)

9) Bancs de calcaires très friables

10) (3 m) marnes verdâtres, en plaquettes

11) Banc. calcaire (80 cm)

12) (2 m) marnes verdâtres gypseuses

13) (1 m) banc calcaire marneux verdâtre

14) Marnes verdâtres

15) Banc marno-calcaire (80 cm)

16) 1 m de marnes gypseuses verdâtres

17) Calcaires, calcaires marneux et marnes

18) (2 m) bancs à calcaires fins légèrement marneux, 50 à 30 cm

19) (3 m) calcaires marneux

20) Bancs calcaires durs (30 cm)

21) (15 m) de bas en haut on distingue:
    . marnes verdâtres rognoneuses
    . marnes argileuses blanchâtres
    . marnes verdâtres

22) (1 m): calcaire spathique

23) Calcaire fin orangé

24) Niveau, débutant par 5 m de marnes verdâtres gypseuses à intercalations de bancs marno-calcaires; au-dessus, des marnes bleuâtres rougeâtres à niveaux de gypse. Au sommet 2 m de marnes, légèrement calcaires.

25) Banc calcaire fin et gris-blanchâtre (1,5 m)

26) Intervalle marneux

27) Banc calcaire

28) (1,5 m) : marnes calcaires

29) Banc marno-calcaire

30) Niveau marneux

31) Banc de calcaire fin (1,5 m), blanc verdâtre à la cassure

32) (10 m) marnes verdâtres rognoneuses

33) Banc calcaire (1 m)

34) (10 m) marno-calcaires

35) (2 m) bancs calcaires (3 cm à 1 m)

36) (1 m) marno-calcaires verdâtres

37) (5 m) calcaires en bancs de 90 cm

38) Marnes gréseuses

39) (20 m): marnes calcaires gréseuses.

3) L'ALBIEN (800 à 1 000 m)

C'est un élément constant formant le coeur des anticlinaux. Il est l'auréole de base des synclinaux. Cet étage est formé par un complexe gréseux puissant, généralement en bancs métriques.

Les niveaux inférieurs de cette série sont représentés par une succession de marnes plus ou moins gypseuses, de couleur violette ou lie de vin et de niveaux gréseux.

Au dessus, vient une série épaisse et uniforme de grès à grains grossiers, avec de nombreux galets de quartz (peu roulés). Leur désagrégation est responsable, de la formation des dunes de sables.

Les dépôts albiens passent dans leurs parties supérieures à une alternance de marnes et de grès.

La limite inférieure se situerait dès l'apparition des marnes violettes (à la base de l'Albien).

4) LE CENOMANIEN (200 à 250 m)

Il forme l'auréole moyenne des synclinaux perchés. Il est compris entre un Albien supérieur marno-gréseux et un Turonien calcaréo-dolomitique.

A la base, le Cénomanien est à marnes vertes, souvent gypseuses avec de rares intercalations de bancs métriques de calcaires.

Dans sa partie médiane, le Cénomanien est représenté par des marno-calcaires, des calcaires marneux et des marnes souvent gypseuses. Au sommet de cette série, les marnes sont plus importantes et gypseuses.

La faune est rare et mal conservée. J'ai trouvé au Djebel Dakhla des Ammonites et des Lamellibranches, en voie de pyritisation. D'après LE MESLE, le Cénomanien de Laghouat renferme des Ostréa syphax et des O. exogyra africana.

5) LE TURONIEN (150 à 300 m)

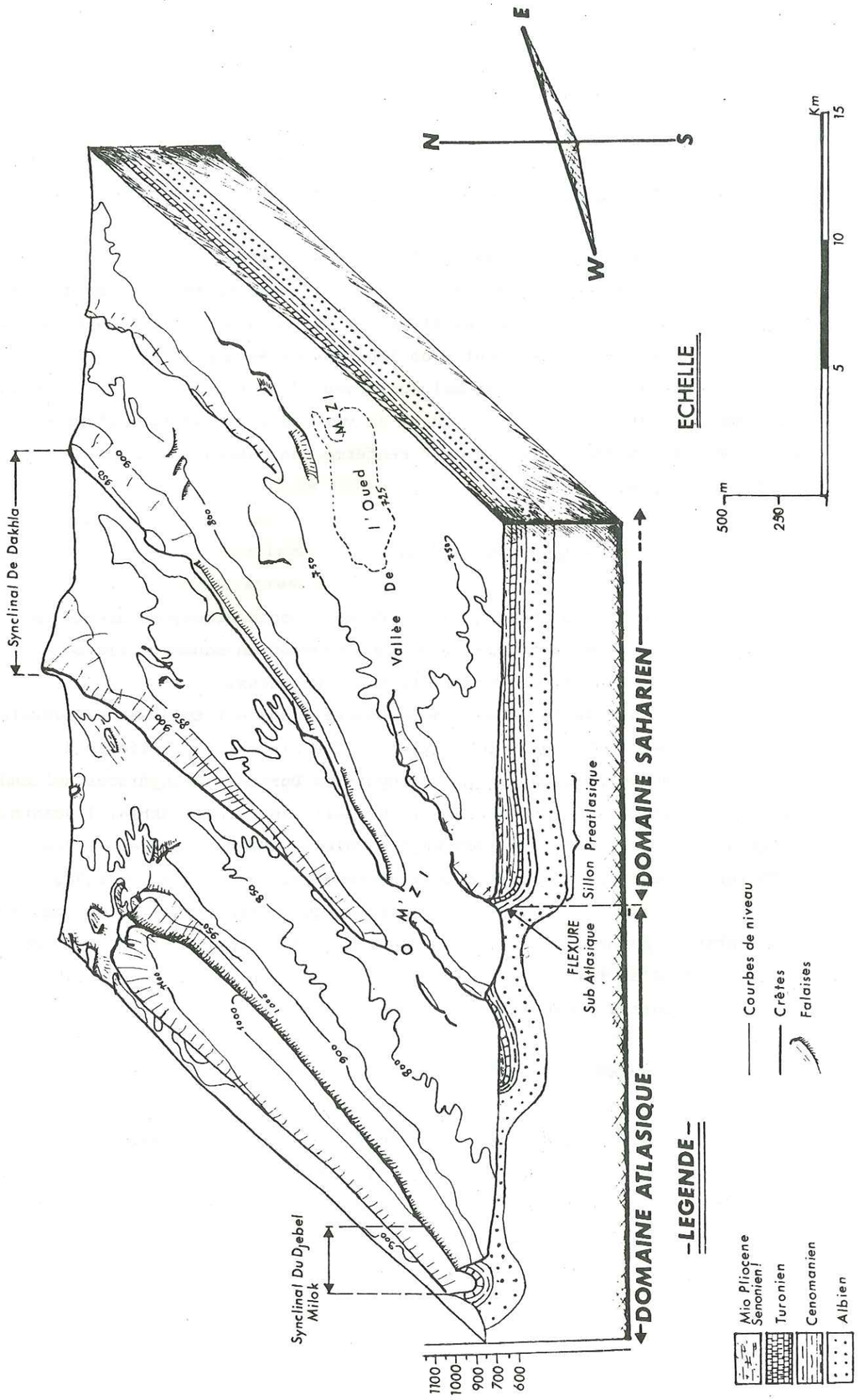
Au-dessus du Cénomanien tendre et à pente douce, se dresse en muraille un Turonien calcaréo-dolomitique souvent en bancs métriques. Il constitue alors la corniche sommitale des synclinaux.

Plus abondante qu'au Cénomanien, la faune est toujours en mauvais état. Au sommet du Djebel Milok, existent des niveaux fossilifères à Ammonites (Pachydiscus peramplus, Pachydiscus Durandi, Pachydiscus Rollendi, Sphenodiscus Requieni, Pseudotissotia Meslei). Au Djebel Dakhla, l'Acanthocéras Deverianus a été observé. Au Rocher des Chiens, DURAND a recueilli des Holaster Tizigarinas, des Hemiasters Latigrunda, des Pyrinas Durandi.

La limite inférieure est lithologique, elle marque le passage d'une sédimentation marno-gypseuse du Cénomanien, à des dépôts calcaires et dolomitiques du Turonien. J'ai fait débuter le Turonien juste après les derniers bancs de gypse et de marnes gypseuses verdâtres.

6) LE SENONIEN

Comparativement aux autres étages, le Sénonien couvre de faibles surfaces. L'émersion de la région de Laghouat a eu lieu, après le Sénonien; cet étage a eu à subir une érosion intense. Il affleure dans la cuvette synclinale du Djebel Milok, dans le synclinal Dakhla, dans la chaîne qui va de Laghouat à Messad et au Djebel M'Cied.



BLOC DIAGRAMME DE LA REGION DE LAGHOUAT

Fig:24

7) LE MIO-PLIOCENE

La phase qui a contribué à la surrection de l'Atlas saharien entraine le retrait de la mer des vastes domaines qu'elle occupait. La région de Laghouat est restée émergée durant tout le Nummulitique.

Au pied de l'Atlas saharien s'individualise un sillon périatlasique (fig. n° 24)qui a dû se combler dès le retour de la mer, par des dépôts détritiques.

Les formations détritiques, du Tertiaire continental occupent les dépressions de l'Atlas saharien, et s'étendent largement vers le Sud, où elles sont limitées par l'extrémité nord du bouclier crétacé du M'Zab.

. Description en surface du Mio-Pliocène

- Au Kef Séridja, Bled El Fetha: il est représenté par des calcaires à éléments bréchiques, arrondis et subarrondis, où viennent s'intercaler des niveaux à poudingues et des sables grossiers siliceux balchâtres

Vers l'aval, de part et d'autre de l'oued M'Zi (à Mekhareg, Ksar Hirane, Ksar Kabeg), le Mio-Pliocène est sableux, argileux et montre de rares passées calcaires. Ces niveaux forment de petits monticules, ou gours, dont la partie supérieure est protégée par des calcaires fracturés, polis par l'érosion éolienne.

. Nature du remplissage Mio-Pliocène - Dans un but hydrogéologique plusieurs forages ont été éxécutés et ont permis de sonder les dépôts du Tertiaire continental.

- Au bled El-Fetha (fig: n°25 26): le Mio-Pliocène se présente formé de sables, graviers, d'argiles et de calcaires dont le pourcentage varie suivant les niveaux. En se rapprochant du Rocher des Chiens, la série est presque essentiellement constituée de sables fins et de calcaires.

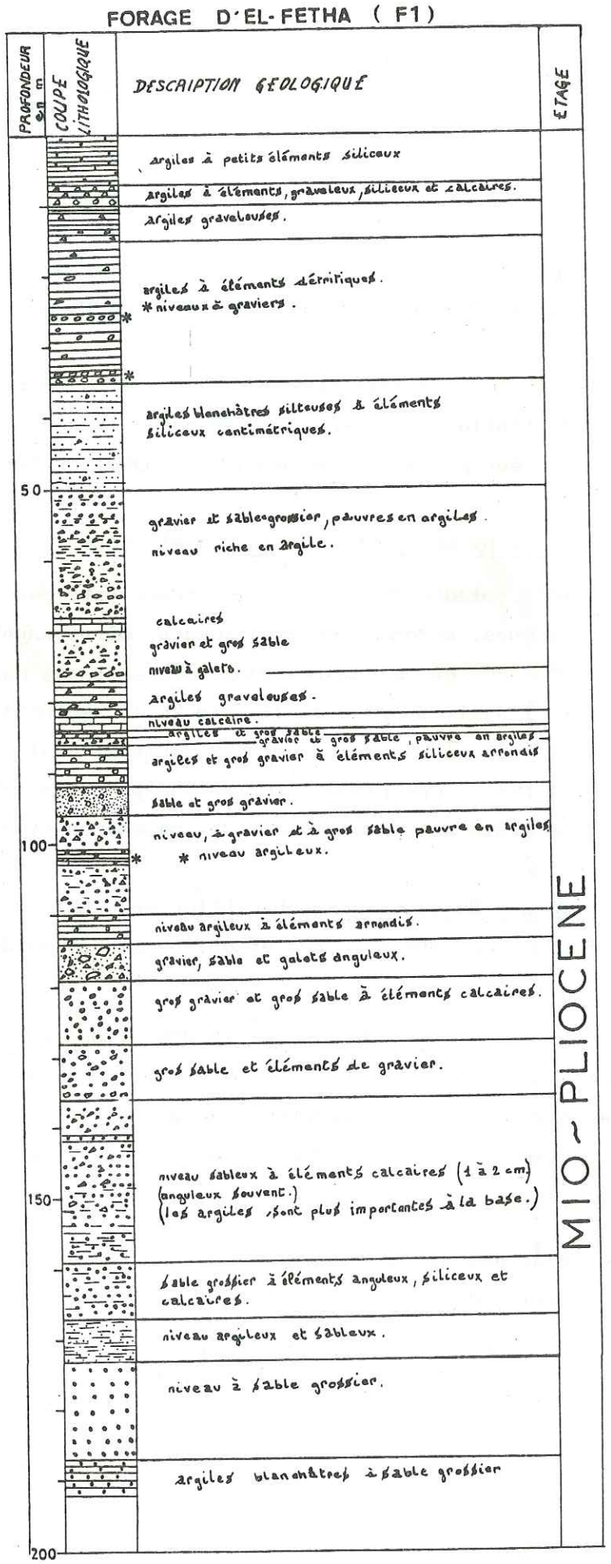
- A Ksar El Hirane, Taouennza, Rass Sidi Saker

1/ Sondage de Ras Sidi Saker (L:1°gr 25'80" E; l:37°gr 62'37" E)

Terrains traversés

0 à 3 m	- alluvions limono-argileuses
3 à 10 m	- grès quartzeux rouge à grains très disséminés
10 à 16 m	- grès quartzeux jaune-rosé, très friable, calcaire et à grains très serrés

Fig: 25



16 à 34 m - grès quartzeux jaunâtre,
34 à 42 m - grès quartzeux rouge, très tendre, à grains très disséminés dans un ciment argileux calcarifère
42 à 93 m - argile rougeâtre à petits nodules calcareux blancs (épaisseur totale 51 m)
93 à 98 m - grès quartzeux rouge, à grains très disséminés
98 à 101 m - calcaire lacustre blanc rosé avec rares et minuscules fragments de calcaire plus dur, blanc grisâtre
101 à 106 m - calcaire lacustre blanc rosé, très tendre et argileux
106 à 115 m - argile bariolée (rouge et verte)
115 à 120 m - argile marneuse jaunâtre rosée
120 à 125 m - argile rouge pure
125 à 128 m - argile rouge à nodules calcareux
128 à 131 m - grès rose, tendre, à ciment argilo-calcaire
131 à 134 m - argile rougeâtre à nodules calcareux
134 à 135 m - calcaire lacustre blanc
135 à 136 m - argile grise rougeâtre à nodule calcareux
136 à 139 m - calcaire blanc (terreux) poreux, très tendre: calcaire lacustre presque pulvérulent

2/ Sondage de Taounza: (L: 0^{gr} 87' 85" E; 1:37^{gr} 60' 42" N)

Terrains traversés

0 à 20 m - alluvions récentes
20 à 127 m - même terrains que ceux du forage de Ras Sidi Saker

3/ Sondage de Ksar-Hirane (fig. n°28) - Pour l'alimentation en eau de ce village l'E.T.H.L.A. (Entreprise des Travaux Hydrauliques de Laghouat) a réalisé en 1979 un forage traversant le Mio-Pliocène sur une épaisseur de 200 m. De bas en haut on distingue:

- 40 m de grès, de sables grossiers et passées d'argiles gréseuses
- 80 m d'argiles gréseuses rouges
- 90 m environ d'assises surtout sableuses, gréseuses et de calcaire gréseux.

Cette coupe de sondage concorde de manière générale avec celle du forage de Taouennza de 1924, dont le suivi des travaux a été assuré par Monsieur SAVORNIN. Dans cette zone du sillon atlasique saharien, nous pouvons penser que les dépôts mio-pliocènes sont représentés dans leur partie supérieure par des assises sableuses, gréseuses d'une centaine de mètres, reposant sur des assises argileuses.

8) LE QUATERNAIRE CONTINENTAL

Ce sont les alluvions quaternaires fluviatiles qui occupent le fond des vallées, d'oueds, et qui s'épanchent sur de grandes aires d'épandage. Je les décrirai en détail dans le chapitre suivant intitulé "Etude du remplissage alluvial"

Fig:26

FORAGE DE L'ABATTOIR DE LAGHOUAT

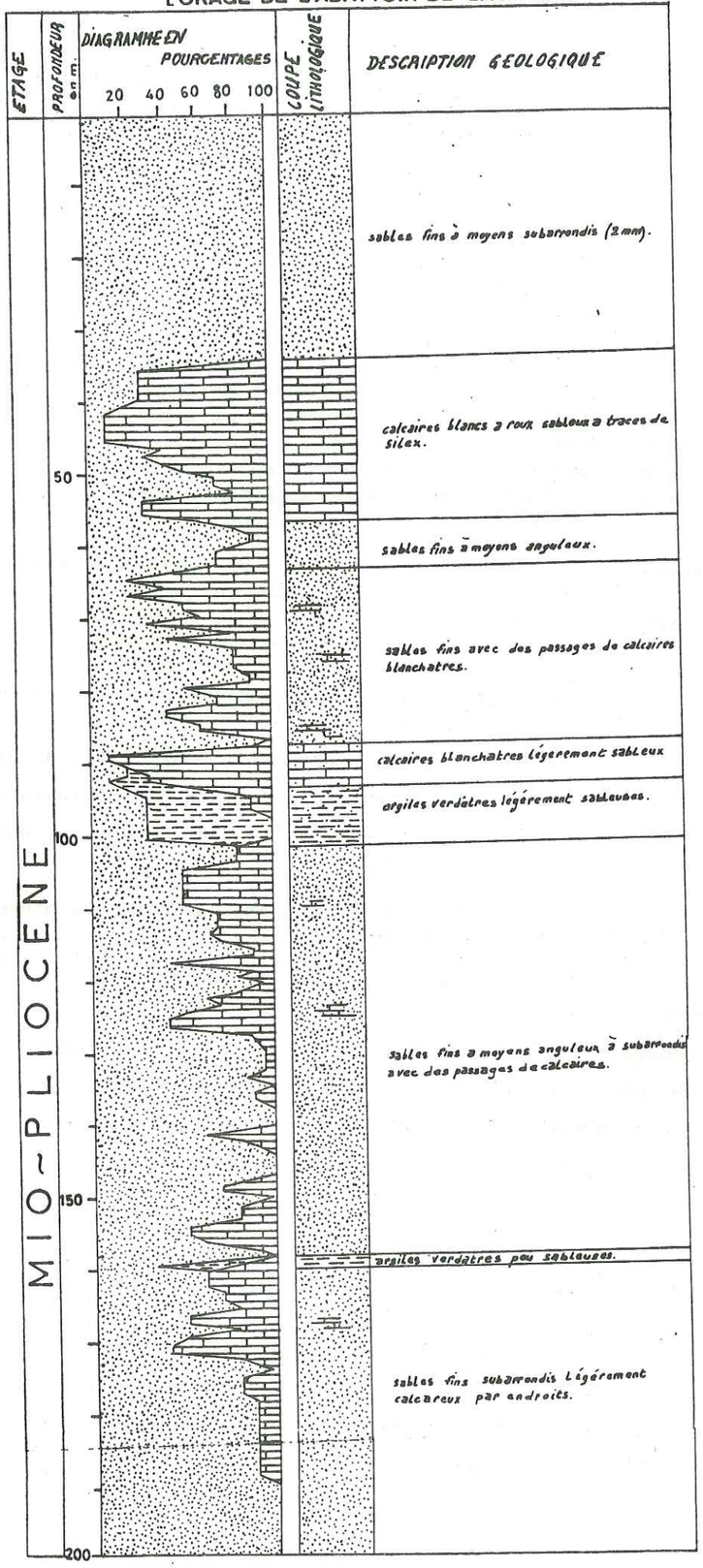
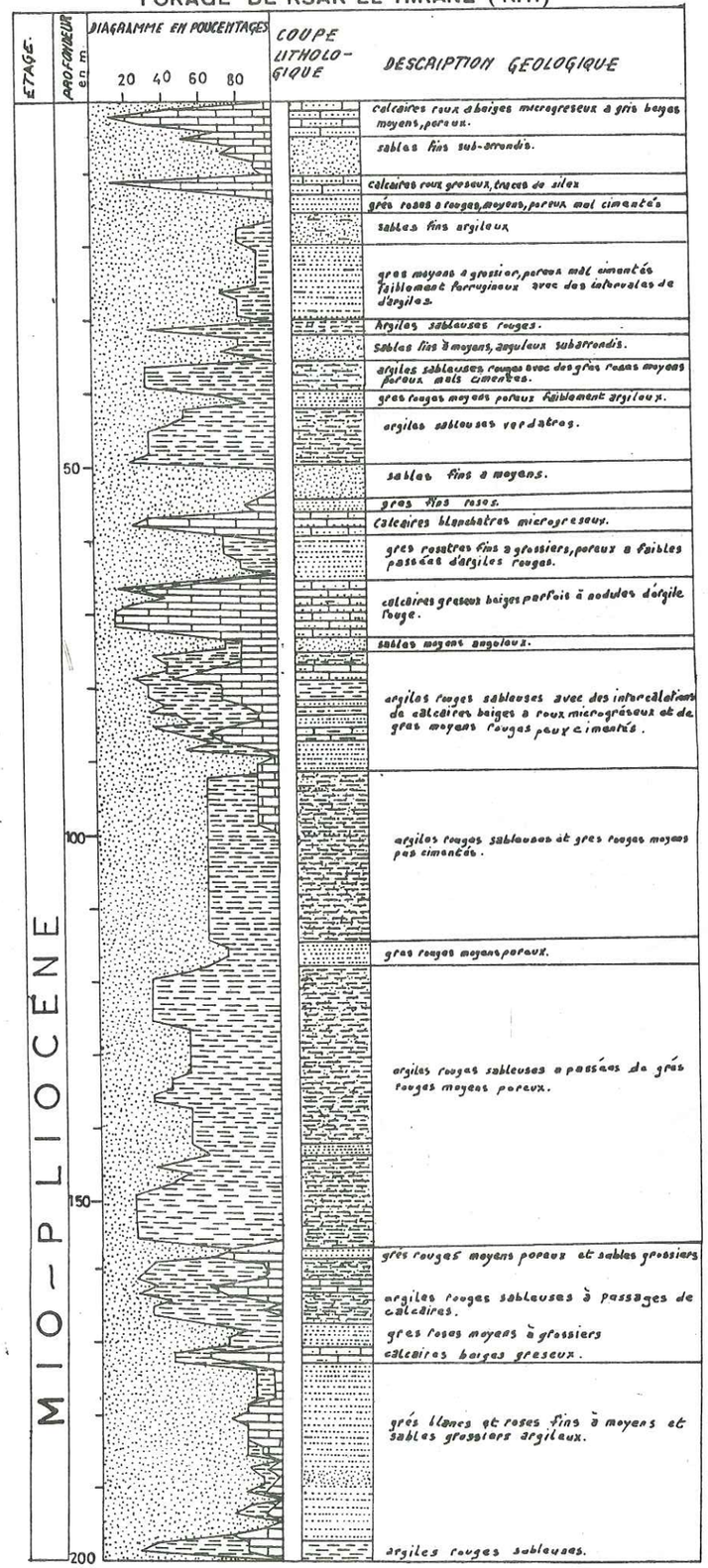
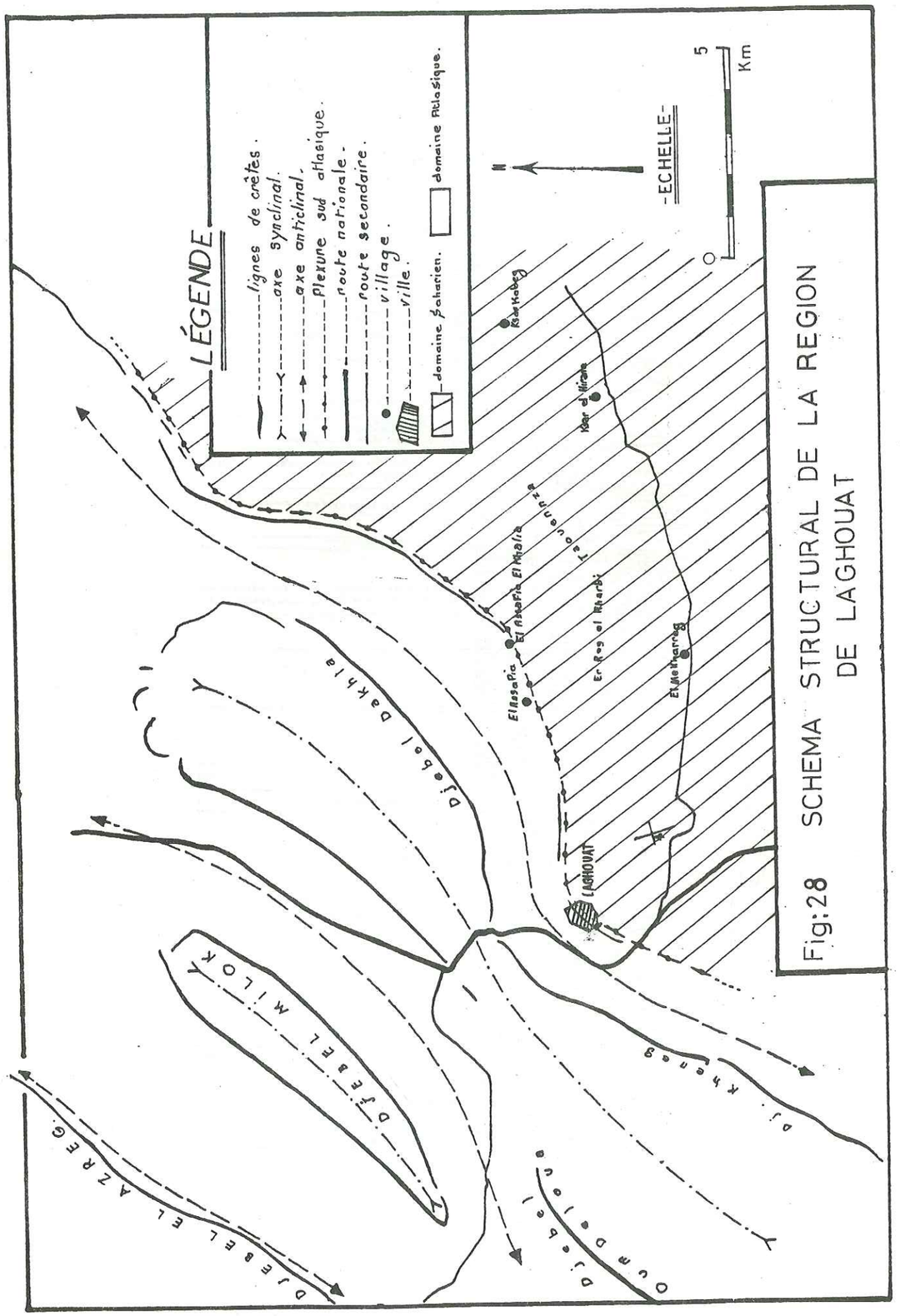


Fig:27

FORAGE DE KSAR EL HIRANE (KH1)





9) LES DUNES DESERTIQUES

Ce sont des accumulations de sable éolien jaune ocre ou rouge. Elles occupent les zones de dépressions des vallées et le flanc des reliefs.

II.2.2. TECTONIQUE ET STRUCTURE DE LA REGION DE LAGHOUAT

La région de Laghouat se subdivise en deux domaines différents par leur tectonique et leur structure (figures n° 28, 29)

- L'atlasique saharien au Nord
- Le saharien au Sud.

1) L'ATLAS SAHARIEN DU CERCLE DE LAGHOUAT

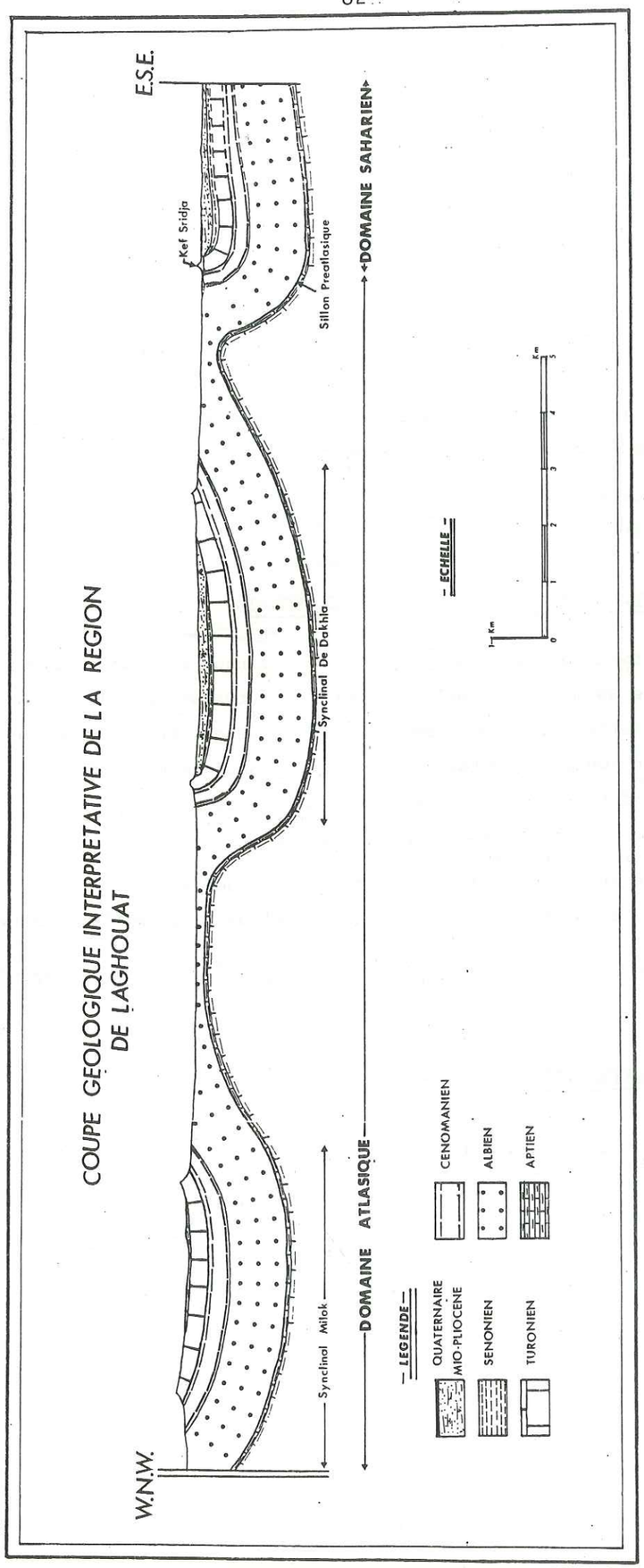
Il est formé par une succession de synclinaux et d'anticlinaux de direction générale SW-NE. Les synclinaux sont caractérisés par leurs corniches calcaires qui ressortent très nettement dans le paysage. Le coeur des anticlinaux est albien (ou continental intercalaire). Seul le coeur du Djebel Azereg est jurassique calcaire. Du Nord au Sud on distingue:

- l'anticlinal du Djebel Azereg à coeur jurassique
- la cuvette synclinale du Djebel Milok
- la première aire anticlinale albienne où coule l'Oued Metlili
- le synclinal de Dakhla matérialisé par le Djebel Dakhla, le Djebel Kheneg et le Djebel Deloua.

Ces chaînes forment un vaste synclinal de direction SW-NE, oblique à l'Oued M'Zi.

2) LA FLEXURE SUD ATLASIQUE

Elle correspond à une limite naturelle (constituée essentiellement par du Turonien calcaréo-dolomitique et un Cénomanien à dominante marneuse) séparant le domaine saharien du domaine atlasique. Elle est matérialisée par les petits reliefs que forment le Kef Seridja, l'El Mabad et le Rocher des Chiens. Les couches crétacées, à cet endroit, plongent à la verticale.



COUPE GEOLOGIQUE INTERPRETATIVE DE LA REGION DE LAGHOUAT

Fig: 29

3) LE DOMAINE SAHARIEN

. Caractères morphologiques de la région - Au Sud de l'Atlas saharien, le pays des Dayas se présente morphologiquement comme de grandes étendues mio-pliocènes, où existent des dépressions peu profondes occupées par une pellicule de limon provenant du lessivage des berges.

. La gouttière de l'Oued M'Zi et de l'Oued Djedi - Entre l'Atlas et le Sahara existe une gouttière collectant les eaux des Monts des Ouled Nail, des ruissellements du Mio-Pliocène, lors de fortes pluies, et périodiquement les crues de l'Oued M'Zi.

. Caractère structural à la lisière nord du Sahara - Au niveau de la flexure, les couches crétacée plongent à la verticale pour réapparaître au Sud et former la Chebka du M'Zab.

Les résultats des travaux géophysiques, de forages exécutés dans la région montrent que les épaisseurs du Mio-Pliocène sont importantes dans la vallée de l'Oued M'Zi (fig. n° 29). Il existe près de la flexure sud-atlasique une gouttière pré-saharienne où se sont accumulés d'importants dépots mio-pliocènes.

II.2.3. CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES DIVERSES FORMATIONS A LAGHOUAT

1) L'ALBIEN est ici, essentiellement détritique, gréseux. Il est assez fracturé. Les intercalations d'argiles sont importantes à la base et au sommet; elles délimitent un ensemble aquifère pouvant donner de gros débits.

2) LE CENOMANIEN est formé de marno-calcaires, de marnes et de calcaires. Les niveaux calcaires se présentent:

. en gros bancs (1 m) individualisés au sein des marnes
. en petits bancs souvent, peu fracturés, colmatés par des sédiments marneux ou gypseux

Ce niveau peut être considéré comme imperméable.

3) LE TURONIEN est essentiellement calcaréo-dolomitique. Il se présente souvent en gros bancs et peut contenir de l'eau dans ses fissures.

4) LE SENONIEN est caractérisé par des dépôts lagunaires (marneux, gypseux, et calcaires sublithographiques) absolument imperméables.

5) LE MIO-PLIOCENE est détritique (argile, sable, grès et calcaire). Les données de forages du sillon préatlasique ont montré qu'il mérite une grande attention et se présente comme un bon aquifère.

6) LES ALLUVIONS QUATERNAIRES - le nombre impressionnant de puits inventoriés en 1978 souligne l'intérêt hydrogéologique de ces dépôts. Ils sont formés de galets, de sables et de graviers.

=-=-=-=-=-=

CHAPITRE TROISIEME - ETUDE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL

=-

INTRODUCTION

III.1. PROSPECTION GÉOPHYSIQUE DE LA VALLÉE DE L'OUED M'ZI
- III.1.1. TRAVAUX REALISES
- III.1.2. PROBLEMES D'INTERPRETATION
- III.1.3. ETALONNAGES DES SONDAGES ELECTRIQUES

III.2. COUPES GÉOÉLECTRIQUES: INTERPRÉTATION ET DESCRIPTION DES ALLUVIONS
- III.2.1. DESCRIPTION DES ALLUVIONS DE LA VALLEE DE L'OUED M'ZI
- III.2.2. EPAISSEUR DES ALLUVIONS DE LA VALLEE DE L'OUED M'ZI (PONT DE LAGHOUAT à KSAR KABEG)
- III.2.3. DESCRIPTION DU SUBSTRATUM, DU REMPLISSAGE ALLUVIAL (LAGHOUAT, KSAR KABEG)
- III.2.4. REMARQUE
- III.2.5. CONCLUSION

INTRODUCTION

Ce sont des formations alluviales, fluviatiles qui occupent les zones déprimées de l'Atlas saharien et du Sahara.

Dans ce qui suivra, il ne s'agira que du remplissage alluvial de la vallée de l'oued M'Zi, entre le pont de Laghouat et Ksar-Kabeg.

Nous allons essayer de faire la synthèse des différentes données dont le but est d'arriver à un modèle de remplissage alluvial.

Ce travail est basé sur:

- les données des forages réalisés dans notre secteur d'étude, notamment le long de la vallée de l'oued M'Zi;
- les résultats de l'étude géophysique de la vallée de l'oued M'Zi, faite en 1975 par Strojexport-Prague - D.E.M.R.H. Alger;
- des observations de terrain (géologie de surface, et coupes dans des puits);
- des mesures, de la résistivité et de la piézométrie des eaux.

=-=-=-=

III.1. PROSPECTION GÉOPHYSIQUE DE LA VALLÉE DE L'OUED M'ZI

Dans le cadre du deuxième plan quadriennal 1974-1977, une étude géophysique a été réalisée par la Société Strojexport - Prague, et supervisée par la D.E.M.R.H. Elle avait pour but de prospecter la vallée de l'oued M'Zi sur une longueur de 50 km, et ceci à des fins hydrogéologiques.

III.1.1. TRAVAUX REALISES

Trois cents sondages électriques ont été effectués avec un dispositif SCHLUMBERGER, avec AB = 1000 m. Les distances entre les sondages électriques sont de 500 m en général, sauf pour les profils 13 à 18 où elles ne sont que de 300 m.

III.1.2. PROBLEMES D'INTERPRETATION

Ils sont de trois types:

1/ Entre les sondages, la distance importante rend délicate toute corrélation. En effet, dans les alluvions, les variations de faciès sont anarchiques et importantes.

2/ Les sédiments tertiaires et quaternaires étant détritiques, de mauvais contrastes de résistivité peuvent exister.

3/ A certains endroits, le pendage des couches complique l'interprétation.

III.1.3. ETALONNAGES DES SONDAGES ELECTRIQUES

Trois sondages électriques, seulement, ont été étalonnés sur des forages de la cluse du pont de Laghouat.

Ces forages se situent dans le domaine atlasique saharien, et de manière ponctuelle par rapport à la zone prospectée.

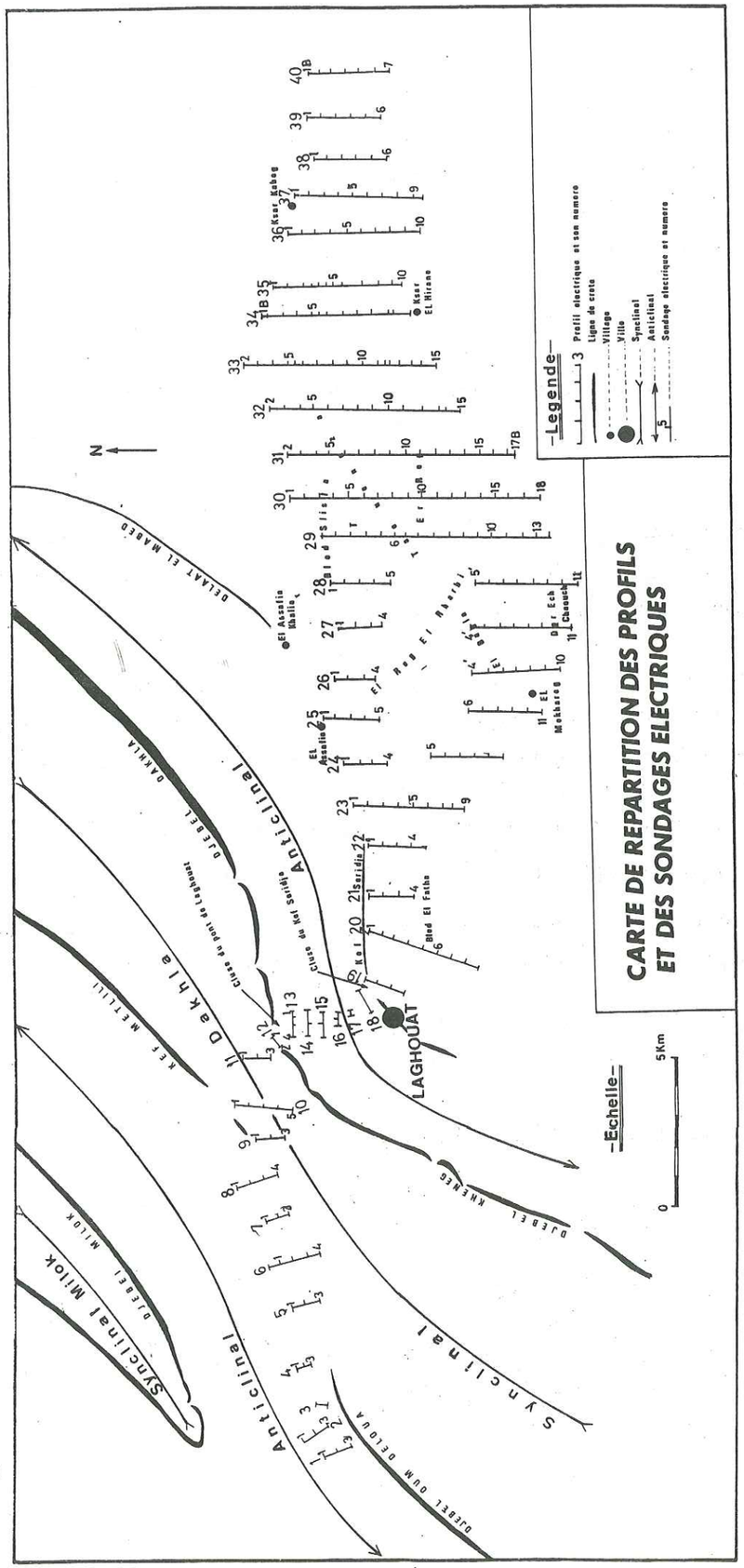


Fig:30

En toute rigueur, ce calage ne saurait donc avoir une valeur générale pour notre région d'étude. L'obtention de données complémentaires par forages et observations sur le terrain s'avère nécessaire, pour permettre la vérification et l'interprétation plus complète des résultats géophysiques présentés sous forme de coupes géoélectriques.

III.2. COUPES GÉOÉLECTRIQUES: INTERPRÉTATION ET DESCRIPTION DES ALLUVIONS

Les sondages électriques ont été éxécutés suivant 40 profils perpendiculaires à la vallée de l'oued M'Zi (fig. n°30) (Rapport : Prospection géophysique de la vallée de l'oued M'Zi Strojexport Prague, D.E.M.R.H. Alger 1975).

L'interprétation et la vérification de ces coupes géoélectriques, ont été rendues possibles par la réalisation de sondages mécaniques. Ainsi 36 piézomètres ont été exécutés, le long de la vallée de l'oued M'Zi par la D.E.M.R.H. entre Février 1979 et Juin 1981, le suivi étant assuré par moi-même. Je noterai aussi l'importance des observations de terrain qui m'ont permis:

- de délimiter superficiellement les alluvions quaternaires du Mio-Pliocène;
- de recueillir des informations (descriptions lithologiques, mesures physico-chimiques, chimiques et piézométriques) dans des puits.

Ainsi, toutes ces données m'ont permis d'établir un modèle du remplissage quaternaire de la vallée de l'oued M'Zi.

III.2.1. DESCRIPTION DES ALLUVIONS DE LA VALLEE DE L'OUED M'ZI

1) DANS LE DOMAINE ATLASIQUE SAHARIEN

a) Djebel Deloua - Pont de Laghouat (coupe de 1 à 11). Je n'ai diposé d'aucune coupe lithologique me permettant de décrire les alluvions quaternaires de cette zone de l'oued. Les résistivités s'échelonnent en moyenne entre 100 et 500 Ω m pour les coupes 1 à 8, et de 45 à 300 Ω m pour les coupes 9 à 11.

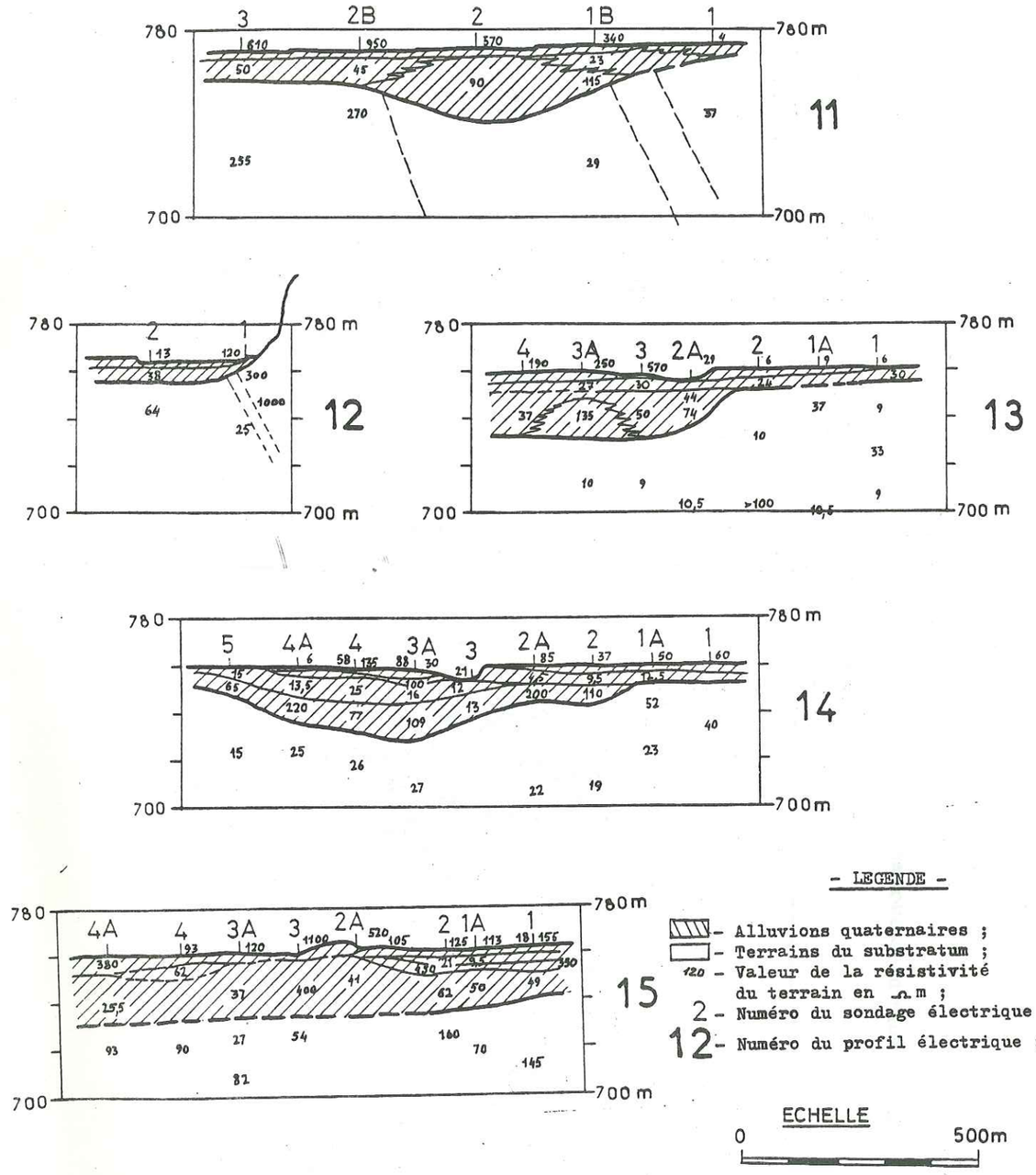


Figure n° 3I : Coupes géoélctriques de la vallée de l'oued M'Zi; (daprés l'étude de la STROJEXPORT, de 1975).

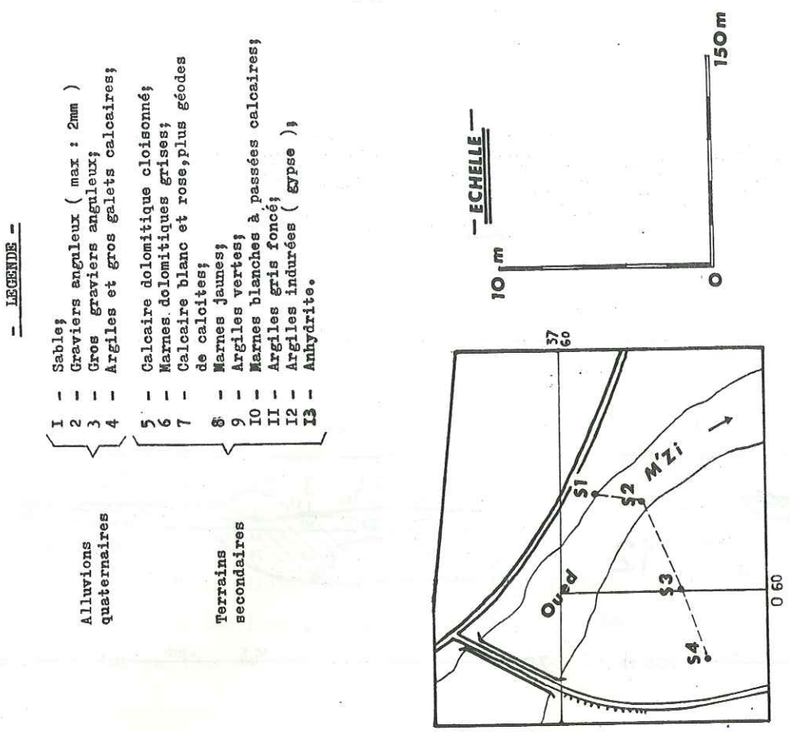
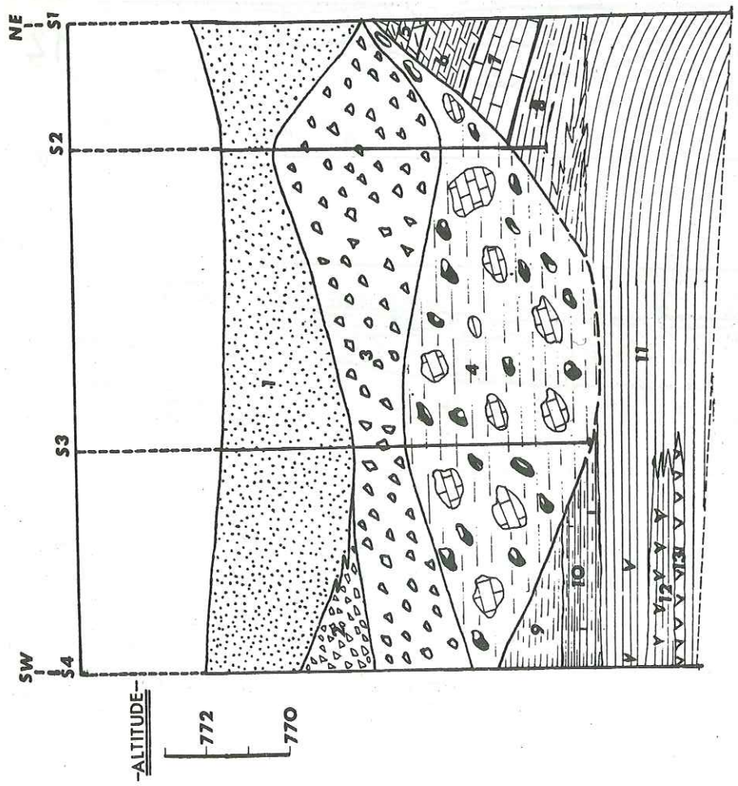


Fig: 32

COUPE GEOLOGIQUE: PONT DE LAGHOUAT



b) Alluvions du Pont de Laghouat - Cluse du Kef Seridja - Rocher des chiens (coupe 12 à 19) (Fig: 31, 32,33)

. Coupe géologique du Pont de Laghouat (fig. n° 32) -

Quatre sondages mécaniques m'ont permis d'esquisser une coupe. De haut en bas on distingue:

- une partie supérieure sableuse;
- de gros graviers et des graviers;
- à la base, des argiles, de gros galets et des blocs de calcaires qui proviendraient d'éboulements du Turonien avoisinant.

. Dans cette partie de la vallée, suivant leurs résistivités les alluvions se subdivisent en trois horizons:

- la partie superficielle est caractérisée par des résistivités comprises entre 5 et 250 Ω m (voir même 1 600 Ω m) correspondant à des sédiments sableux et argileux;
- au dessous vient un niveau dont la résistivité varie entre 27 et 50 Ω m caractérisant probablement des graviers et des galets. Les faibles valeurs peuvent être dues à une matrice argileuse importante ou à la présence d'eau minéralisée;
- le profil 14 montre que le niveau, le plus inférieur, a une résistivité de 100 à 200 Ω m, mais faute de renseignements, nous ne pouvons tirer des conclusions.

2) REMPLISSAGE QUATERNAIRE DU DOMAINE SAHARIEN

a) Dépôts fluviatiles du Bled El Fetha - Kef Seridja

. Résultats des sondages P_6 et P_7 exécutés dans cette partie de la vallée

- Lithologie des échantillons du sondage P7:

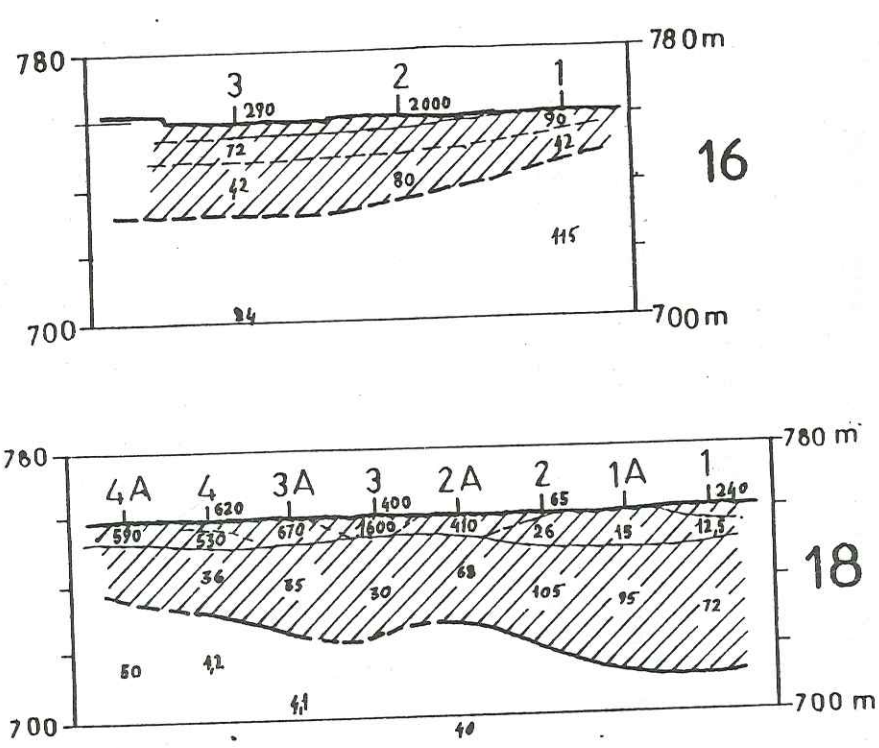
de 0 à 13 m sables essentiellement
de 13 à 18 m graviers (Ø=4mm)
de 18 à 24 m mélange de graviers et de petits galets

- Lithologie des échantillons du sondage P5:

de 0 à 4 m terre sableuse;
de 4 à 20 m graviers et argile, dont le pourcentage est important entre 8 et 14 m.

. Coupe 19 à 22 - Les résistivités sont assez élevées (100 à 300 Ω m). Elles sont surement liées à des matériaux grossiers (graviers). (Fig 33,34)

Figure n° 33 : Coupes géoélectriques de la vallée de l'oued M'Zi;
(daprés l'étude de la STROJEXPORT,de I975).

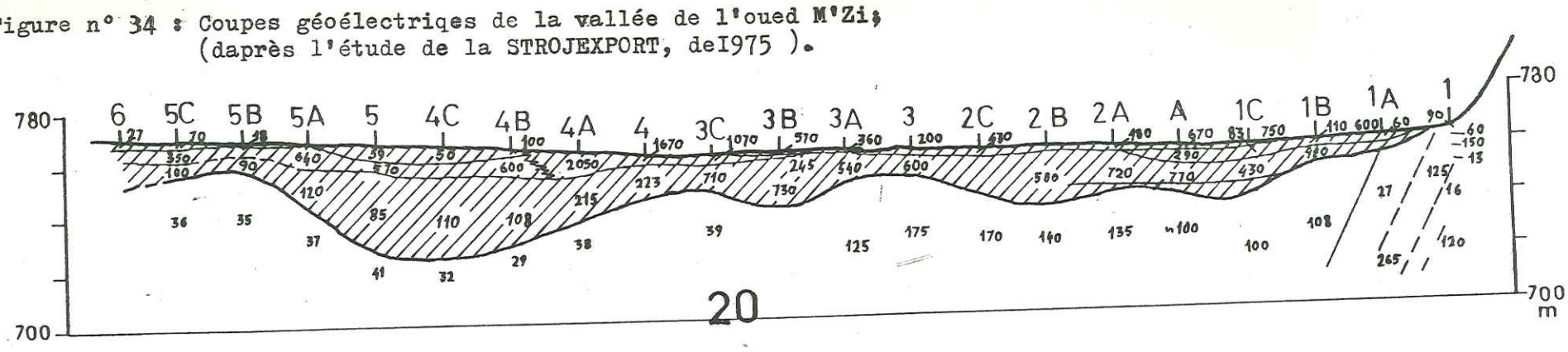


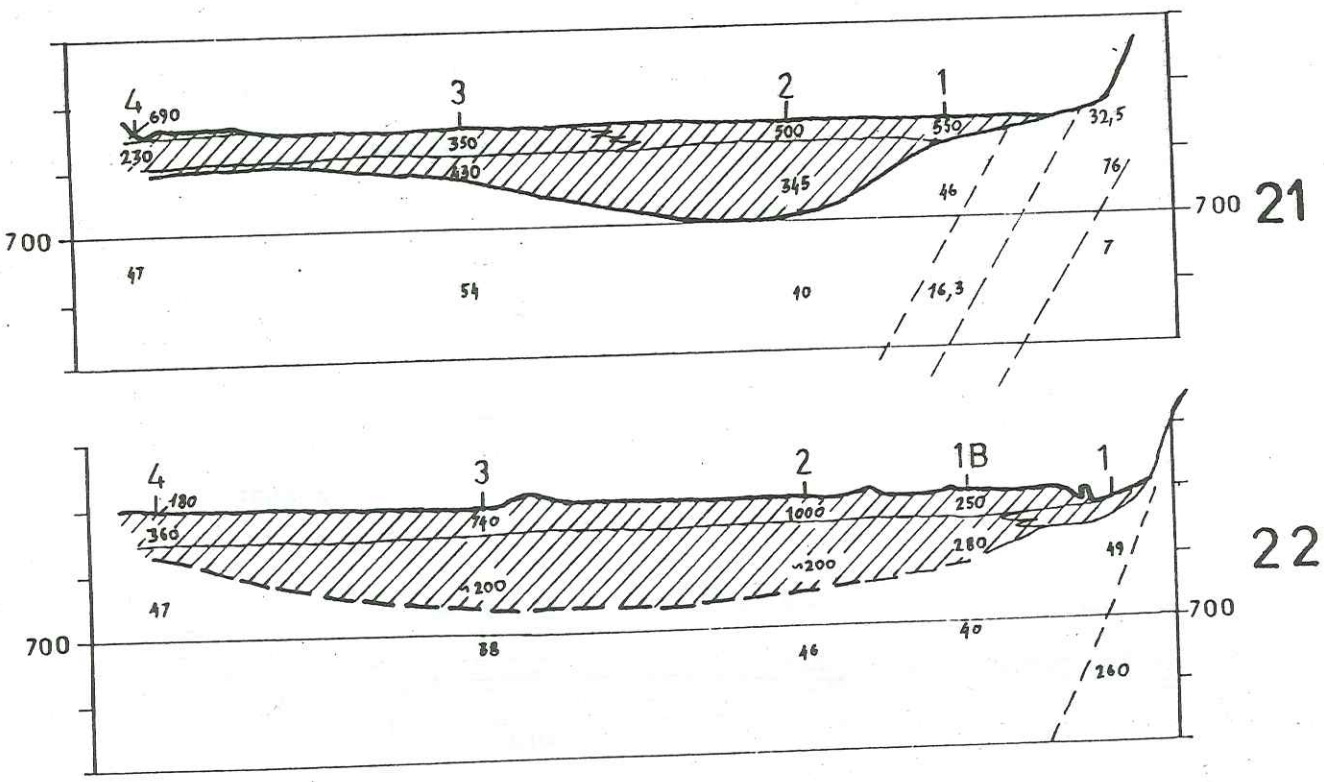
- LEGENDE -

- Alluvions quaternaires ;
- Terrains du substratum ;
- 120 - Valeur de la résistivité du terrain en Ω m ;
- 2 - Numéro du sondage électrique ;
- 12 - Numéro du profil électrique ;

ECHELLE
0 500m

Figure n° 34 : Coupes géoélectriqes de la vallée de l'oued M'Zi;
(daprès l'étude de la STROJEXPORT, deI975).





- LEGENDE -

- Alluvions quaternaires ;
- Terrains du substratum ;
- 120 - Valeur de la résistivité du terrain en Ω m ;
- 2 - Numéro du sondage électrique ;
- 12 - Numéro du profil électrique ;

ECHELLE:
0 500m

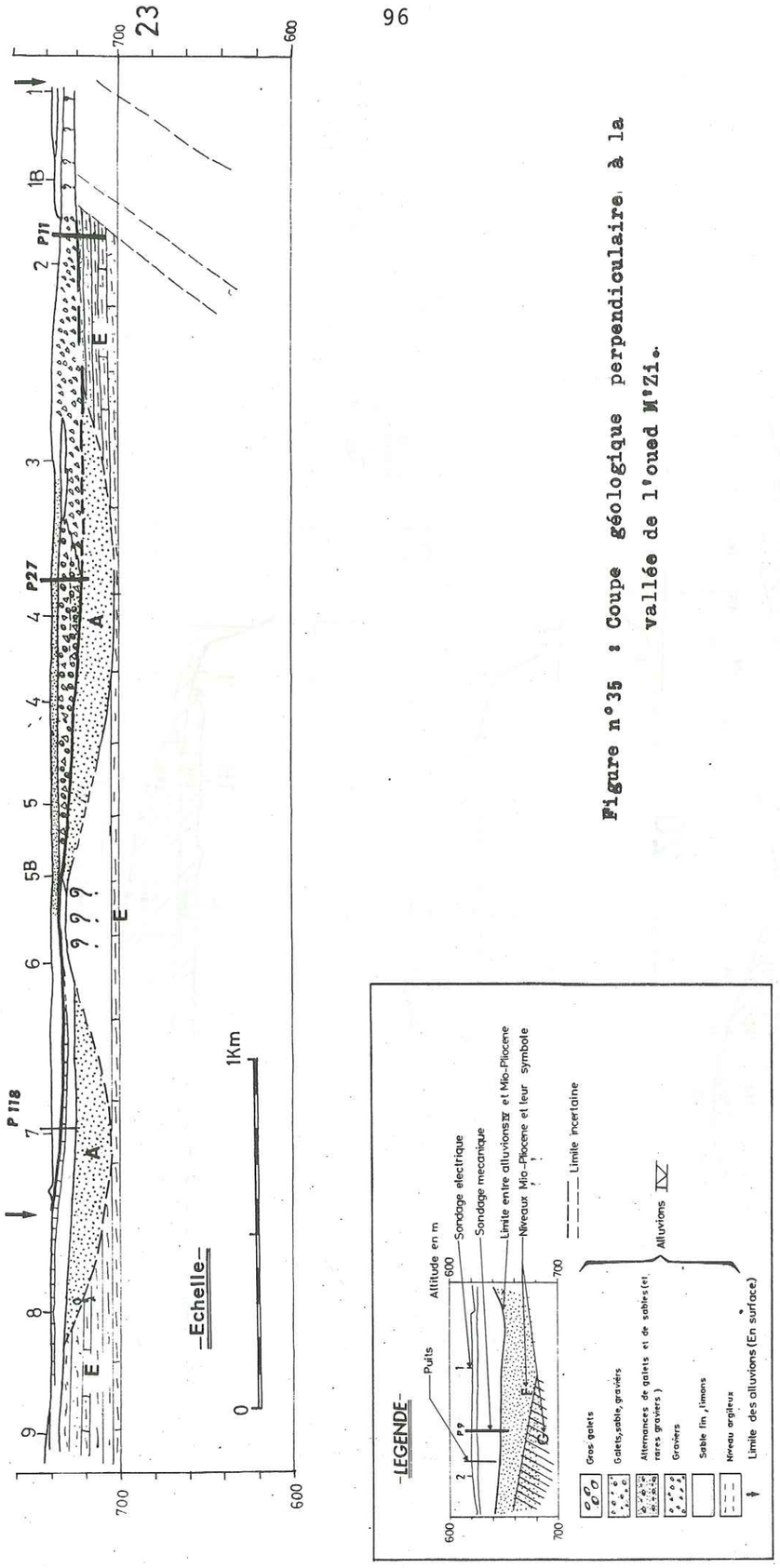


Figure n°35 : Coupe géologique perpendiculaire à la vallée de l'oued M'Zi.

b) Description des alluvions de la partie Kef-Seridja - El-Mekhareg - El Assafia (fig. n° 35 36 37 -coupes 23-29):

Certains niveaux mio-pliocènes ont été interprétés comme des alluvions fluviatiles. L'établissement de coupes lithologiques dans des puits (notamment le 118/478 et le 127/478) m'a permis de nouvelles interprétations.

. Coupe 23 - Les alluvions sont représentées, dans la partie centrale de la vallée par des graviers, des galets et du sable (piézomètre 27) de 120 à 250 Ω m et passent vers le Nord à des graviers de résistivité 470 à 580 Ω m (piézomètre 11).

. Coupes 24 à 25 - Les alluvions sont peu développées, et sont représentées par des dépôts sableux au sommet, de résistivité 23 à 75Ω m en moyenne (pouvant atteindre 1000 Ω m dans les zones dunaires), et des galets à la base, de 225 à 230 Ω m.

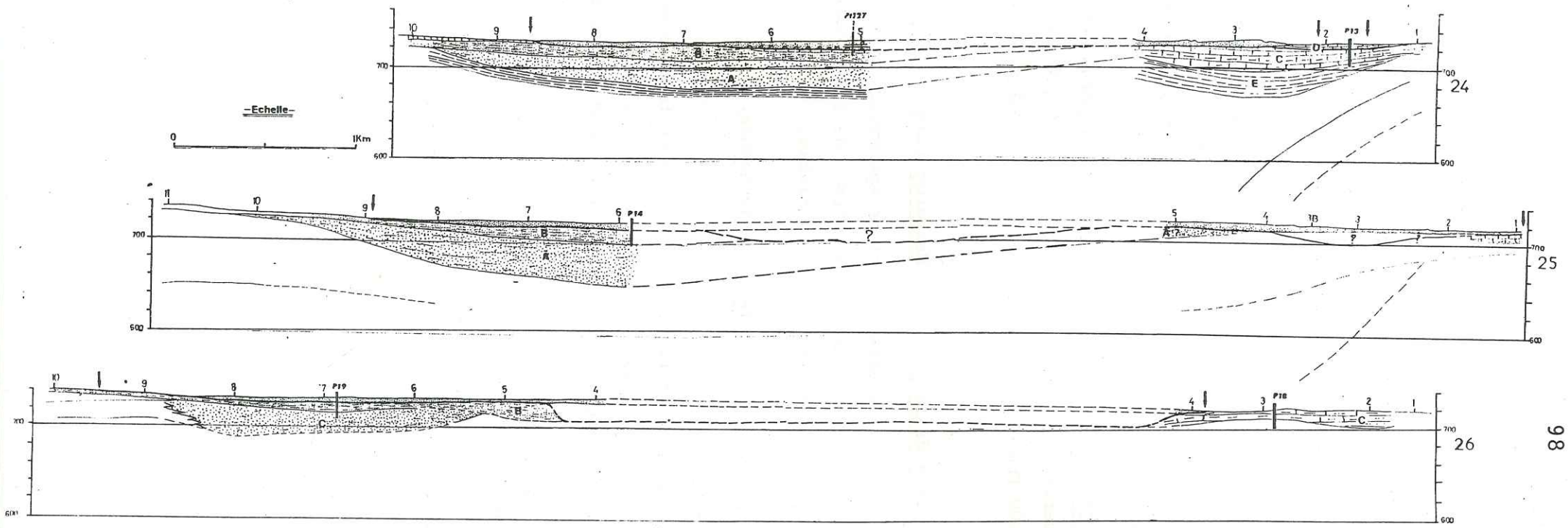
. Dépôts alluviaux de la plaine de Mekhareg (coupes 27 à 29) - Les alluvions y sont plus développées, en extension et en épaisseur. Elles sont grossières (graviers, galets et sable en faibles quantités), de 130 à 260 Ω m. La partie supérieure est sableuse, à résistivité très variable.

c) Description du remplissage alluvial de Taouennza, Ksar El Hirane, Ksar Kabeg

Les résistivités de cette partie de la vallée sont faibles et dépassent rarement 100 Ω m. Il y a des passages de 2,5 à 6Ω m qui correspondraient probablement à des argiles salées (figure n°38 39 coupes 32 à 35).

. Description du remplissage de Er-Reg Taouennza (coupes 30 à 33) - Il est caractérisé, par des graviers, des galets et du sable de résistivité 27 à 180 Ω m, et des alternances de sables grossiers et de galets (figure n° 39 , coupe 33, piézomètre 34) de 13 à 16Ω m, en relation probable avec la minéralisation de l'eau.

. Coupes 34 à 36 - Le remplissage est constitué de graviers plus ou moins sableux à rares galets, de résistivité moyenne 20Ω m.



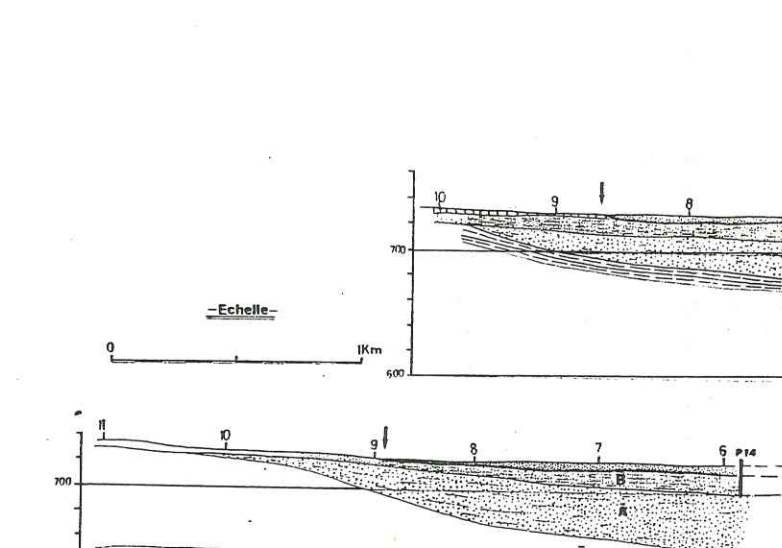
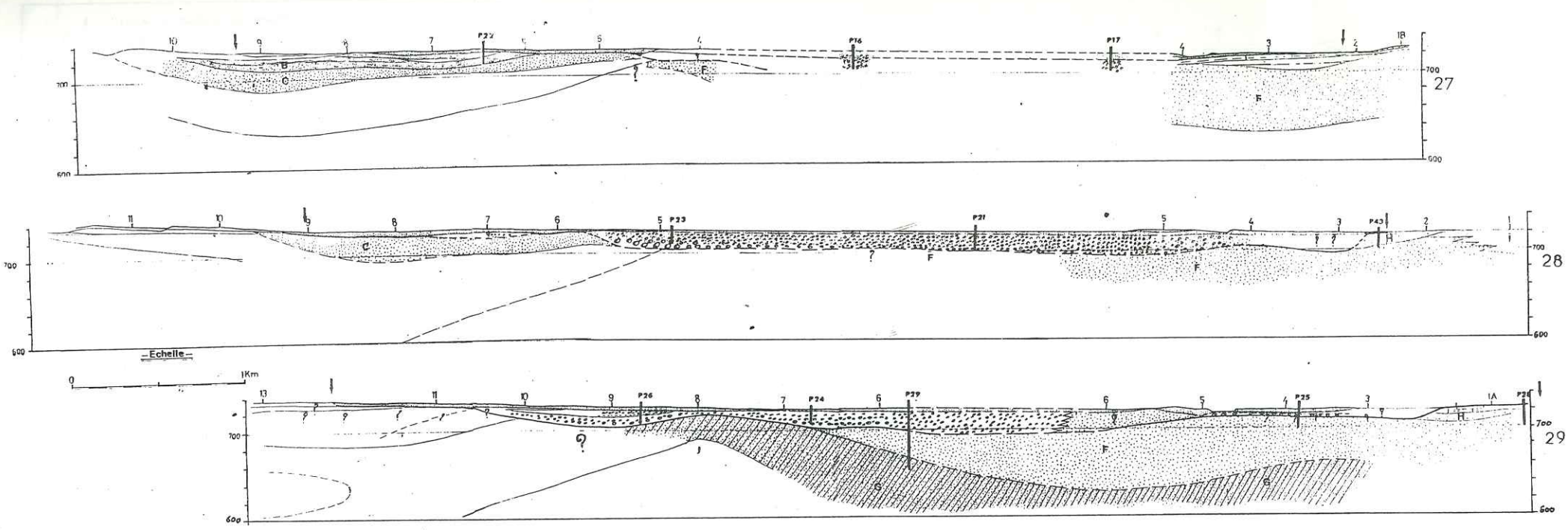


Figure n° 36 : Coupes géologiques perpendiculaires à la vallée de l'oued M'Zi.



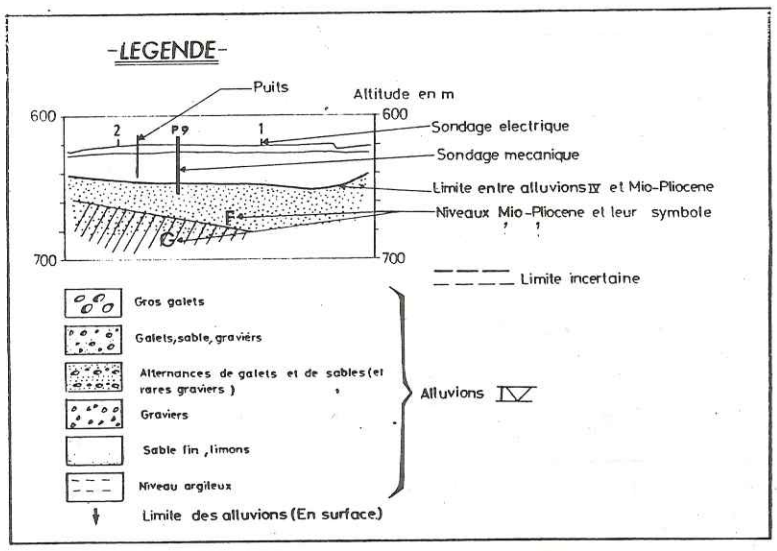


Figure n° 37 : Coupes géologiques perpendiculaires à la vallée de l'oued M'Zi.

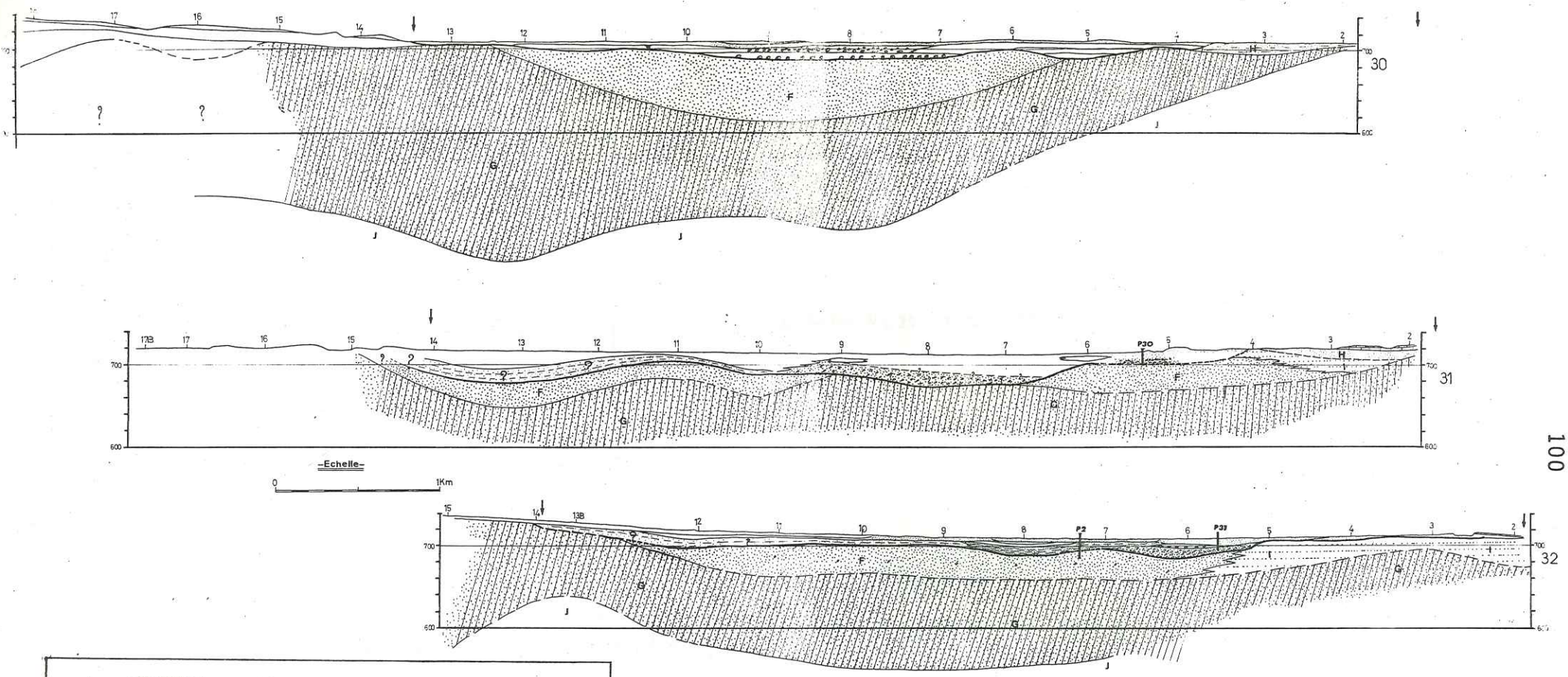
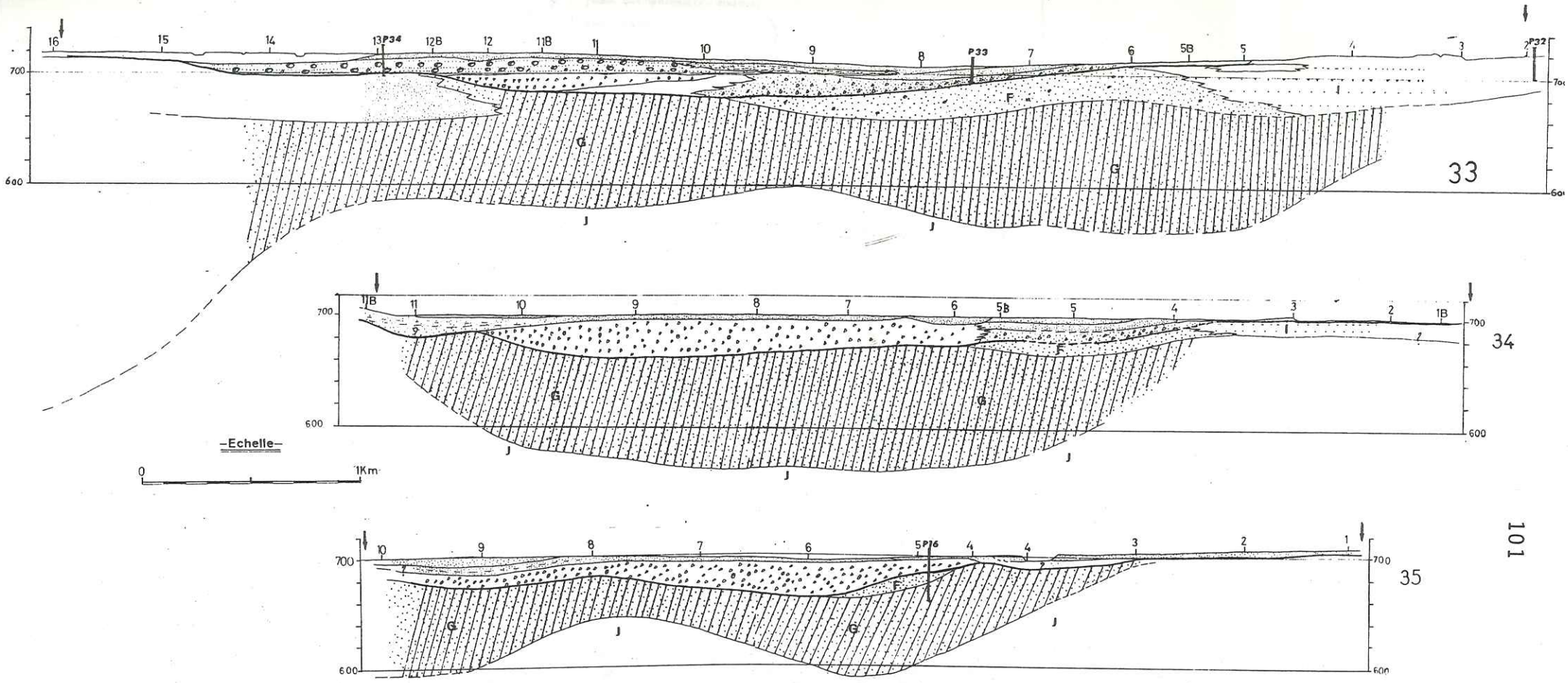


Figure n°38 : Coupes géologiques perpendiculaires à la vallée de l'oued M'Zi.



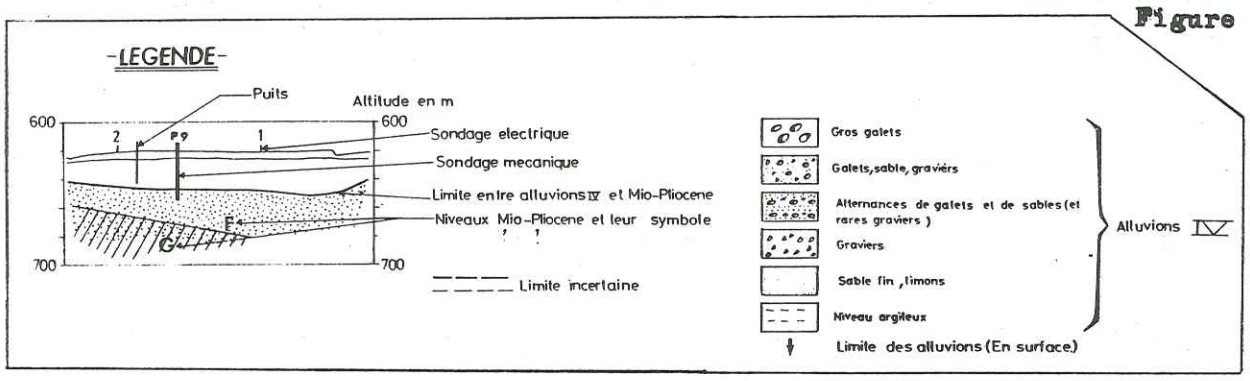


Figure n° 39 : Coupes géologiques perpendiculaires à la vallée de l'oued M'Zi.

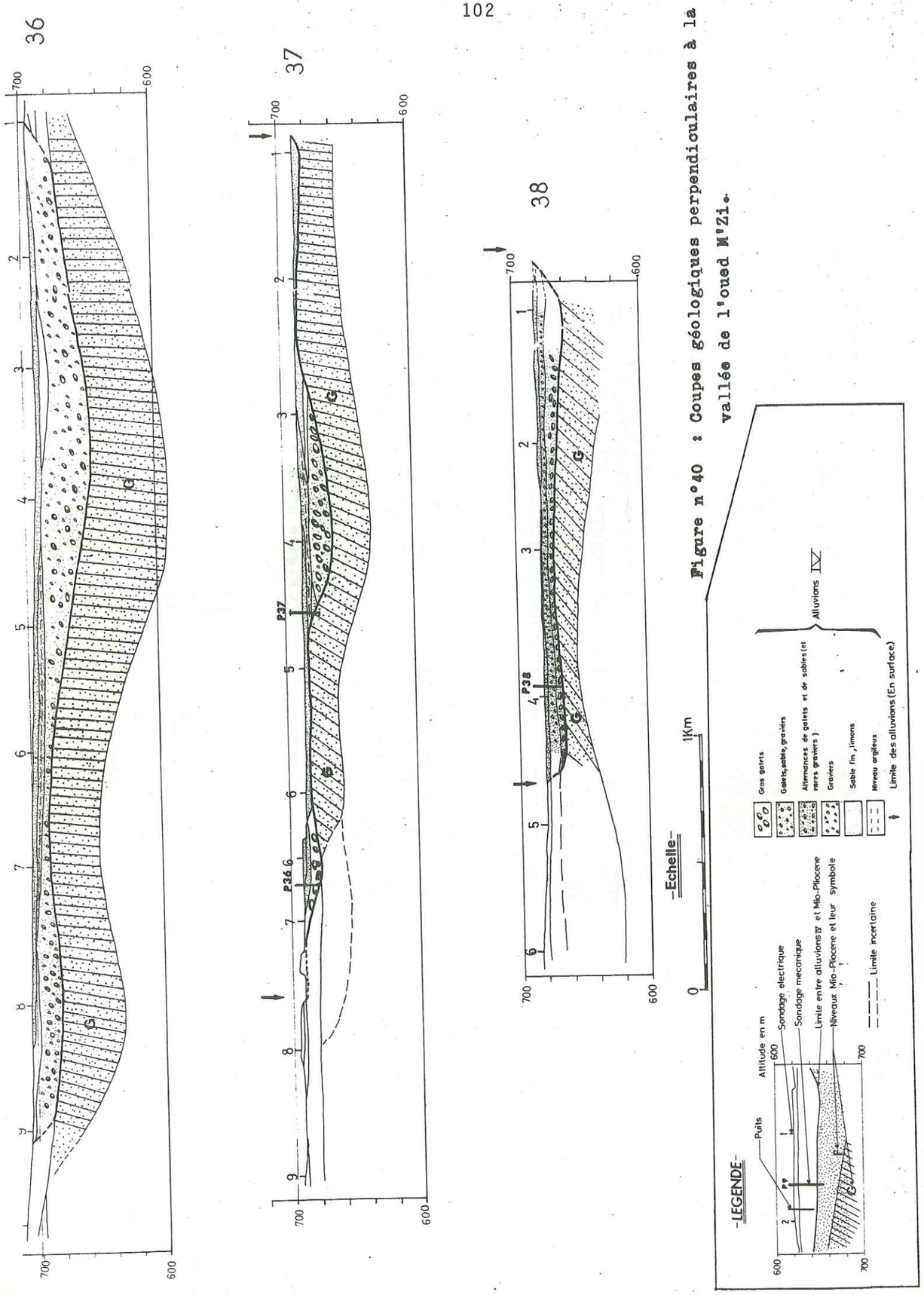


Figure n°40 : Coupes géologiques perpendiculaires à la vallée de l'oued M'Zi.

. A Ksar El Kabeg (figure n° 40 , coupes 37 à 38) - A cet endroit où la vallée présente un maximum de resserrement, les dépôts fluviatiles sont représentés:

- dans leur partie inférieure par des galets avec un peu de sable, de résistivité 35 à 40 Ωm liée surement à la présence d'eau salée;
- dans leur partie supérieure par des dépôts fins argilo-sableux, et sableux de 4 à 11 Ωm (et même 100 Ωm).

III.2.2. EPAISSEUR DES ALLUVIONS DE LA VALLEE DE L'OUED M'ZI (PONT DE LAGHOUAT A KSAR KABEG)

1) REMPLISSAGE DU PONT DE LAGHOUAT AU KEF SERIDJA (coupes 12 à 22)

Dans cette partie de la vallée de l'oued M'Zi, les seuls sondages atteignant le substratum, ont été réalisés au niveau de la cluse du pont de Laghouat. Ailleurs, les épaisseurs avancées à partir de l'étude géophysique ne peuvent avoir une valeur certaine, car il se peut que par manque de contraste de résistivité, du Mio-Pliocène soit interprété comme Quaternaire. Selon les données géophysiques, les épaisseurs seraient:

. De 8 m, au Pont de Laghouat (coupe 12) - elles augmentent vers l'aval jusqu'à 25 m en moyenne (coupes 13, 14, 15, 16) avec un maximum de 45 m sur le profil 18, sondage 1.

. Au Bled El Fetha - Kef Seridja, les épaisseurs varient entre 10 et 40 m (coupes 19 à 22)

2) EPAISSEURS DES ALLUVIONS A EL ASSAFIA, EL MEKHAREG, TAOUENNZA (figures 35 à 38 , coupes 23 à 31)

Sur les coupes 23 à 25, les alluvions sont moins importantes, en extension et en épaisseur (12 à 17 m en moyenne), contrairement aux hypothèses géophysiques, où certains niveaux mio-pliocènes ont été interprétés comme quaternaires. Sous la plaine de Mekhareg, les dépôts fluviatiles sont plus importants et leurs puissances voisinent les 20 à 30 m (piézomètre 29). Plus à l'aval, à Taouennza, (coupe 32, figure n° 38), on assiste à une diminution notable de celles-ci, car elles ne sont plus que de 8 à 18 m.

3) A KSAR EL HIRANE - KSAR KABEG, coupes 33 à 38 figures n° 39,40.

. Coupes 33 à 36

Les alluvions sont relativement importantes et peuvent atteindre 30 à 35 m. Les épaisseurs ont été confirmées uniquement au piézomètre (P 16). Ailleurs, elles paraissent exagérées: il se peut qu'il y ait mauvais contraste de résistivité entre le Quaternaire et le Tertiaire.

. A Ksar Kabeg - coupes 37 à 38 (figure n° 40)

La largeur de la vallée n'est plus que de deux kilomètres (profil 38). Le substratum mio-pliocène est très proche, il a pu être atteint par le sondage P 37 (coupe 37), où il n'est qu'à quelques mètres du sol.

4) CONCLUSION

Les dépôts de la vallée de l'oued M'Zi sont grossiers (graviers, galets, sables), peu développés (15 à 30 m en moyenne). On assiste à des diminutions d'épaisseurs aux cluses du Pont de Laghouat et du Kef Seridja - Rocher des Chiens, et au Ksar Kabeg où le substratum remonte pour former un seuil.

Les dépôts quaternaires sont caractérisés par des résistivités assez élevées dans le secteur de Laghouat - Bled Slisla - El Mekhareg (100 à 260 Ω m) ailleurs (domaine atlasique, et secteur Taouennza - Ksar El Hirane - Ksar Kabeg), elles ne sont plus que de 15 à 50 Ω m en moyenne.

III.2.3. DESCRIPTION DU SUBSTRATUM, DU REMPLISSAGE ALLUVIAL (LAGHOUAT-KSAR KABEG: COUPES 12 à 38

1) DANS LE DOMAINE ATLASIQUE SAHARIEN

Le Quaternaire repose directement sur des terrains secondaires, de 20 à 80 Ω m et probablement et partiellement sur du Mio-Pliocène qui n'a pu être mis en évidence, par manque de contraste de résistivité.

2) DANS LE DOMAINE SAHARIEN

Dans la plaine saharienne, les alluvions reposent sur les dépôts détritiques tertiaires. Selon leurs caractères lithologiques et leurs résistivités, plusieurs niveaux ont été distingués:

. Niveau A (figures 33 à 37 , coupes 19 à 28) - De résistivité 20 à 40 Ω m, et caractérisé par des sables fins, légèrement argileux, ce niveau s'étend, sous la vallée du Kef Seridja (coupe 23) jusqu'à El Mekhareg. Au Bled-El-Fetha, il peut correspondre au niveau gréseux rougeâtre reconnu par le sondage P 9.

. Niveau B (figures 36 , 37 , coupes 24 à 27) - Toujours au-dessus du niveau A, cet horizon de 100 à 200Ω m de résistivité, est gréseux, argileux et plus ou moins calcareux.

. Niveau C (figure n° 36 , coupes 24 à 26) - Il est essentiellement formé de calcaires tendres et blanchâtres, de 60 à 400 Ω m, avec un maximum de 20 m de puissance.

. Niveau D (figure n° 36 , coupes 24) - Au-dessus des calcaires tendres (C) viennent des calcaires détritiques durs et fracturés de 100 à 500 Ω m.

. Niveau E (figures 35, 36 , coupes 23 à 24)- Cet horizon, correspondant à des marnes gréseuses et des calcaires (de 100 à 130 Ω m), a été recoupé par sondage à El Fetha (P 10), à El Assafia (P 11 et P 13) et il semble se poursuivre plus à l'aval à gauche de la vallée jusqu'au Bled Slisla (P 18, P 43, P 28 – figures 36 37 38 , coupes 24 à 30).

. Niveau F et G (figures 36, 37, 38 , coupes 25 à 38) - Ils forment le substratum de la plaine de Mekhareg à Ksar Kabeg, et sont respectivement constitués de niveaux gréseux à intercalations d'argile gréseuse de 50 Ω m, en moyenne et de sables fins plus ou moins salés de 5 à 15 Ω m.

. Niveau H (figures 37, 38, 39 ,coupes 28 à 34 - Il est constitué par des dépôts gréseux rougeâtres de 60 à 140 Ω m.

. Niveau I (figures 37 38 39 , coupes 28 et 31 à 34) - La coupe géologique, levée à partir des cuttings lors de l'exécution du piézomètre p 32, montre que cet horizon est salé, sableux et argileux. Ce terrain, d'après les coupes géophysiques présente des résistivités comprises entre 3 et 10 Ω.m.

. Niveau J (figures 37 à 40 , coupes 29 à 38) - Caractérisé par des résistivités très élevées, ce niveau peut correspondre aux assises situées entre 92 et 174 m de profondeur du forage de Ksar El Hirane.

III.2.4. REMARQUE

Dans cette étude du remplissage alluvial, plusieurs horizons ont été mis en évidence. Il se peut que de petits niveaux sableux, ou calcaires, ou argileux ne soient pas mis en évidence.

De plus, les résistivités des alluvions, relativement faibles dans certaines zones de la vallée, peuvent s'expliquer, par la salinité de l'eau ou la présence d'argile. Un problème se pose pour l'interprétation, dans les zones où nous ne possédons pas de données sur la lithologie, et la résistivité de l'eau plus particulièrement au Reg (coupes 30 à 33) et entre Ksar Hirane et Ksar Kabeg.

III.2.5. CONCLUSION

Le schéma du remplissage alluvial de la vallée de l'oued M'Zi est le résultat de la réinterprétation et de la vérification de l'étude géophysique de 1975. Nous pouvons dire que les alluvions de l'oued M'Zi sont dans leur ensemble, grossières (galets, graviers, sables) et peu développées (15 à 30 m en moyenne). Mais certaines indéterminations subsistent, dans le domaine atlasique (coupes 12 à 18) au Bled El Fetha (coupes 19 à 22). De plus des résistivités relativement faibles ont été rencontrées, elles peuvent s'expliquer par la salinité de l'eau ou la présence d'argile. Le problème se pose dans les zones ou nous ne possédons pas de renseignements (forages, puits, résistivité de l'eau) notamment au Reg (coupes 30 à 36), au Bled El Fetha, et dans le Ksar El Hirane - Ksar El Kabeg (coupes 33 à 36), où il n'existe pas, ou pas suffisament de forages nous permettant de confirmer les épaisseurs des alluvions avancées à la suite de l'étude géophysique. Ces dépôts fluviatiles quaternaires reposent dans le domaine atlasique saharien sur des terrains secondaires (Turonien, Cénomanien et Albien probablement), et dans le domaine saharien sur des horizons détritiques mio-pliocènes, lithologiquement différents, argilo-sableux, sableux et gréseux.

CHAPITRE IV - PIEZOMETRIE

INTRODUCTION

IV.1. INVENTAIRE DES POINTS D'EAU

IV.1.1. CARACTERISTIQUES DES PUITS ET DES FORAGES
IV.1.2. UTILISATIONS DES PUITS
IV.1.3. RESEAU PIEZOMETRIQUE ET NIVELLEMENT

IV.2. PIÉZOMÉTRIE

IV.2.1. EXTENSION DE L'AQUIFERE ALLUVIAL
IV.2.2. PRINCIPALES FORMATIONS ET STRUCTURES GEOLOGIQUES EN RELATION HYDROGEOLOGIQUES AVEC LES ALLUVIONS
IV.2.3. INTERPRETATION DES CARTES PIEZOMETRIQUES
IV.2.4. ECOULEMENT GENERAL DE LA REGION
IV.2.6. FLUCTUATIONS DE LA NAPPE
IV.2.7. PROFONDEUR DES EAUX DANS LE SECTEUR D'ETUDE

IV.3. CONCLUSION

INTRODUCTION

Jusqu'en 1979 une seule carte piézométrique de notre région d'étude existait (S.C.E.T. Coop, 1966). Le réseau, de puits, ayant servi à son établissement, était mal réparti et des lacunes existent, mais néanmoins ce document a permis de dégager les grandes lignes d'une étude piézométrique éventuelle plus récente et plus détaillée. C'est ainsi qu'un inventaire systématique des points d'eau de la vallée de l'Oued M'Zi a été réalisé par la D.E.M.R.H. du mois d'Octobre au 15 Mars 1978. Il a permis de choisir une partie du nouveau réseau de mesure et de le compléter par la réalisation de piézomètres.

-=-=-

IV.1. INVENTAIRE DES POINTS D'EAU

Il fut réalisé par B. IKEZOUHENE.

Le but du recensement, de tous les points d'eau de la vallée de l'Oued M'Zi, est d'établir un premier document de base de l'étude hydrogéologique de 1978 - 1980.

La région prospectée couvre une surface de 500 km^2, soit environ 100 kms de longueur et 5 kms de largeur. Plus de 650 puits ont été dénombrés, et les débits extraits sont estimés à 22 10^6 m^3/an. Les puits, de notre région d'étude, peuvent se regrouper en 4 grandes concentrations:

- Laghouat - Bordj Senoussi
- El Assafia - El Assafia Khalia
- Plaine de Mékhareg
- Taouennza - Ksar Kabeg - Ksar Hirane

IV.1.1. CARACTERISTIQUES DES PUITS ET DES FORAGES

A chaque ouvrage est attribué un numéro, et les caractéristiques sont reportées sur fiche comportant:

. dessin du puits et de son emplacement.
. hauteur de la margelle par rapport au sol.
. profondeur du plan d'eau par rapport à la margelle.
. profondeur totale du puits.
. diamètre intérieur.
. coordonnées.

IV.1.2. UTILISATION DES PUITS

Par l'importance de l'ouvrage, deux types sont à distinguer:

- Les ouvrages profonds (plus de 50 m), qui correspondent aux forages proprement dit. Ils servent généralement à l'A.E.P. (alimentation en eau potable) et/ou à l'A.E.I. (alimentation industrielle). Ils captent en grande partie la nappe du Mio-Pliocène.

- Les ouvrages peu profonds concentrés le long de la vallée (ou puits ordinaires). Nous distinguons, suivant leur appartenance les puits des particuliers et ceux des domaines agricoles. Leur utilisation se résume:

. à l'alimentation des petites agglomérations urbaines.
. à l'alimentation humaine.
. à l'alimentation du bétail.
. à l'irrigation.

Ils captent dans leur grande majorité, le Quaternaire et/ou le Mio-Pliocène.

IV.1.3. RESEAU PIEZOMETRIQUE ET NIVELLEMENT

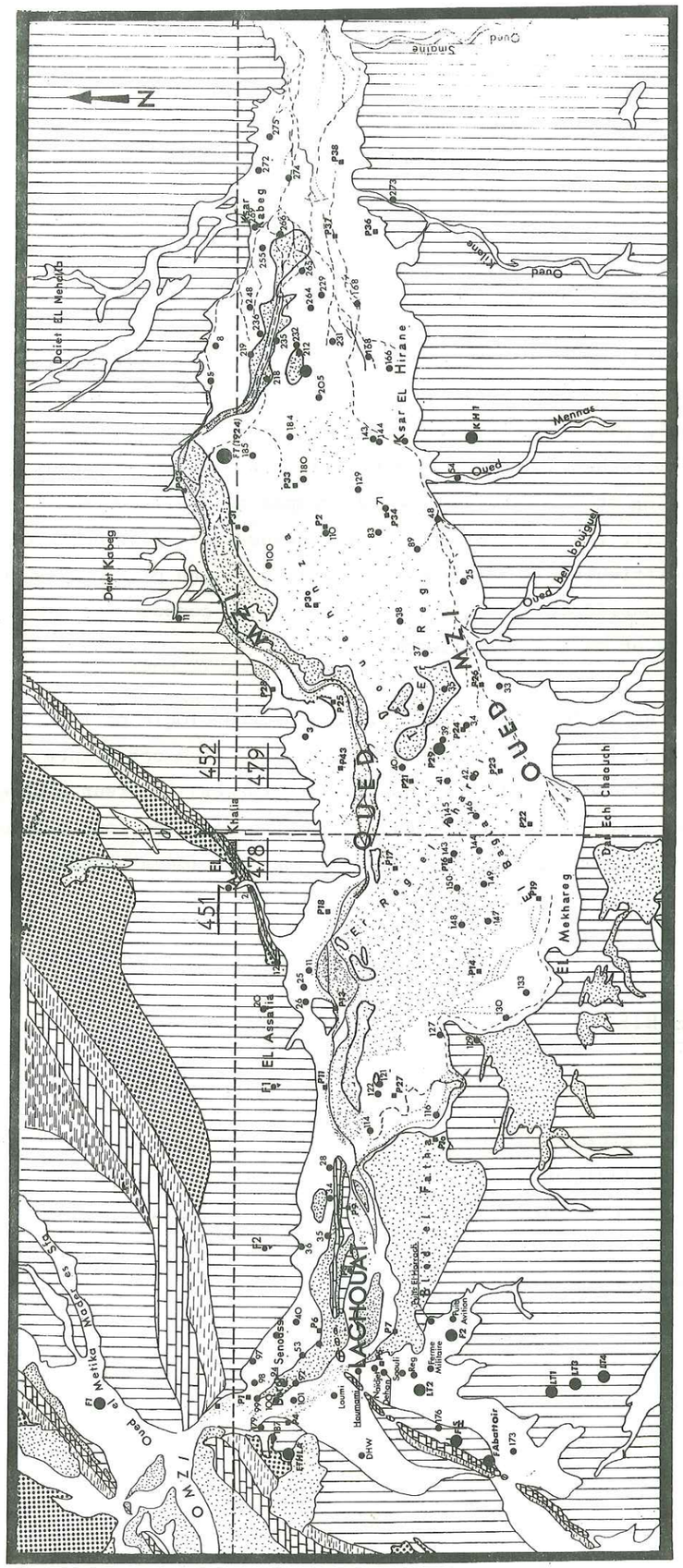
Les résultats, de la campagne de terrain (d'Octobre 1978), ont souligné l'importance d'un complément du réseau piézométrique (qui était jusque là limité), par la réalisation d'ouvrages. L'exécution de 36 piézomètres, dont le but était aussi la description du remplissage alluvial et, la vérification et l'interprétation des coupes géoélectriques (voir Chapitre III), fut alors projetée. Malheureusement, à la suite des retards et des difficultés de réalisation, seuls certains piézomètres ont pu être pris en considération. Le réseau de mesure se compose, en définitive, de 21 piézomètres et de 108 puits (carte 2).

Entre Février et Juin 1980, le Service d'Hydrogéologie de la D.E.M.R.H. a effectué le nivellement systématique de tous ces points d'eau retenus. Il a été procédé par cheminements fermés, l'erreur admise étant de quelques millimètres. Mais néanmoins, afin d'éviter tout quiproquo, des erreurs figurent sur le fond topographique utilisé (déjà signalé dans le rapport de la S.C.E.T. Coop).

IV.2. PIÉZOMÉTRIE

Quatre cartes piézométriques ont été établies à des périodes différentes de l'année hydrogéologique 1979-1980:

. au début de décembre 1979
. du 1er au 15 mars 1980
. du 1er au 15 mai 1980
. du 20 juin au 5 juillet 1980.



Carte n° 2 : Carte de situation des points d'eaux du réseau piézométrique de la vallée de l'oued M'Zi.

Ces cartes hydroisohypses servent à définir le sens d'écoulement de l'eau dans les différentes formations géologiques. La qualité de ces documents sera d'autant meilleure que les points choisis ne seront pas très espacés, et seront bien répartis (ce que nous nous sommes efforcés de faire). L'équidistance entre les courbes isopiezes est de deux mètres.

IV.2.1. EXTENSION DE L'AQUIFERE ALLUVIAL (carte 3)

Afin de rendre compte de l'écoulement souterrain (c'est à dire du sens de circulation des eaux et des échanges possibles, principalement entre les alluvions et le Mio-Pliocène), nous avons cherché à connaître l'extension de la nappe alluviale, en profondeur, tout en prenant en considération les résultats, des mesures piézométriques (profondeur de la nappe par rapport au sol), et de l'étude du remplissage quaternaire (Chapitre II). L'extension, des alluvions en profondeur, varie en effet notablement par rapport à la surface.

Nous remarquerons que l'aquifère quaternaire est relativement plus étalé de la plaine de Mékhareg à Ksar Hirane (4 km de largeur en moyenne). Il est resserré au Ksar Kabeg, et dans les zones à l'amont du Reg Rharbi. Vu la faible extension en surface des alluvions, ce rétrécissement en profondeur se poursuit sans aucun doute au Bled El Fetha, et jusqu'au pont de Laghouat.

Suivant l'extension en profondeur des alluvions saturées d'eau, la vallée de l'Oued M'Zi peut se subdiviser:

- en une zone amont, située entre le pont de Laghouat et la plaine de Mékhareg (de 0,5 à 2 km de largeur);
- et une zone plus étendue de 3 km de large, comprenant la plaine de Mékhareg, de Taouennza, jusqu'à Ksar Kabeg.

IV.2.2. PRINCIPALES FORMATIONS ET STRUCTURES GEOLOGIQUES EN RELATION HYDROGEOLOGIQUES AVEC LES ALLUVIONS

Les cartes piézométriques établies à différentes périodes de l'année 1979-1980 vont permettre de définir l'écoulement souterrain de la vallée de l'Oued M'Zi. La compréhension de la circulation des eaux dans les alluvions est liée aux différentes formations et structures, qui sont en relation avec elles, parmi lesquelles nous distinguons:

- l'Albien gréseux, qui entre Bordj Senoussi et El Assafia est caché sous de faibles recouvrements mio-pliocènes;
- les dépôts mio-pliocènes qui constituent le support principal des alluvions de Laghouat à Ksar Kabeg;
- la flexure sud atlasique (où les couches pendent presque à la verticale) qui délimite les domaines atlasiques et sahariens. Elle est formée de couches turoniennes calcaréo-dolomitiques fracturées et de couches cénomaniennes à dominante marneuse qui assurent certainement une étanchéité à la flexure, sauf là où elle est érodée, comme dans la zone située entre le Kef-Seridja et El-Assafia, et la cluse de Laghouat.
- et la partie anticlinale, entre la cluse du pont de Laghouat et la cluse du Kef Seridja - Rocher des Chiens, où les alluvions sont en contact avec différents terrains secondaires et probablement mio-pliocènes (Chapitre-Etude du remplissage alluvial).

IV.2.3. INTERPRETATION DES CARTES PIEZOMETRIQUES (cartes 3, 4, 5, 6)

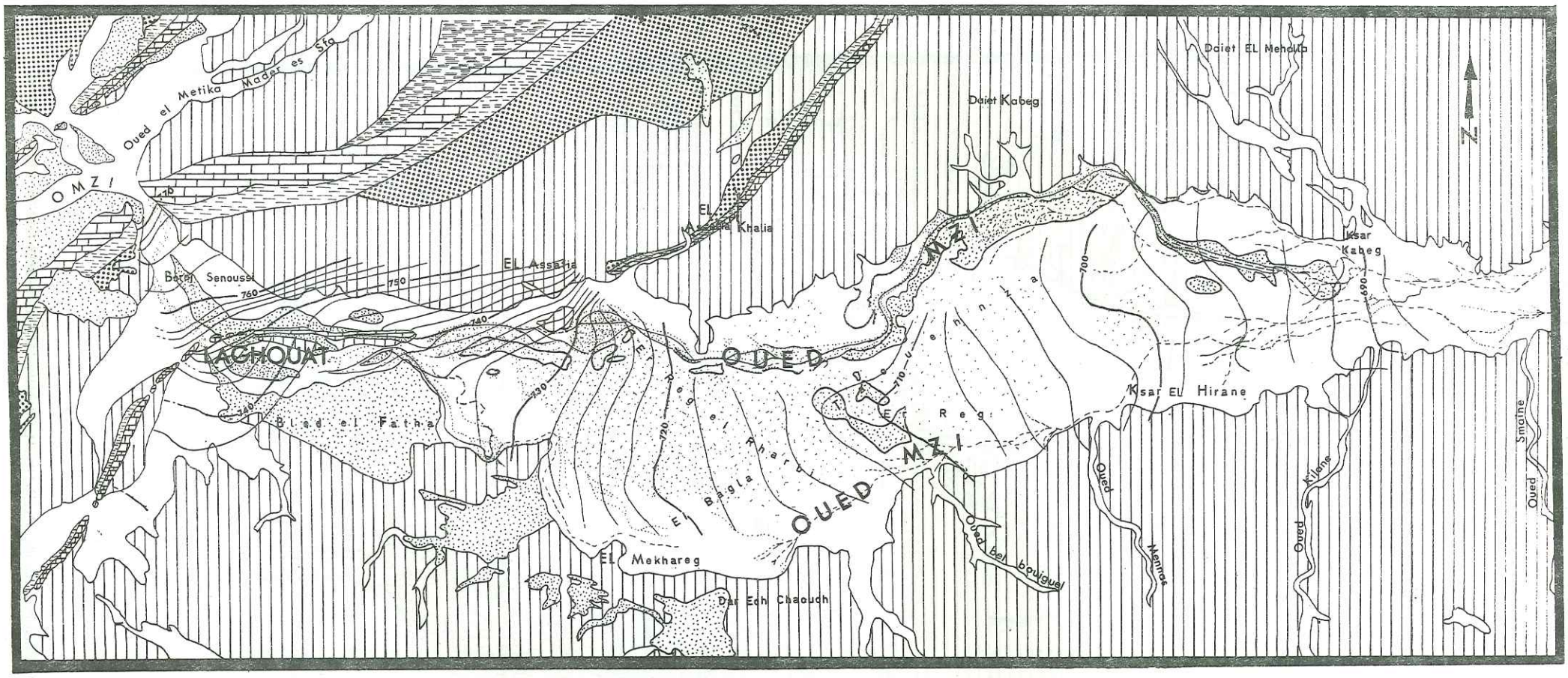
L'écoulement souterrain est déduit de l'interprétation de l'allure des courbes isopièzes. Suivant les conditions géologiques et hydrogéologiques plusieurs zones d'écoulement des eaux sont distinguées:

- la cluse du pont de Laghouat. Elle correspond à une entaille dans les couches turoniennes et cénomaniennes, du versant sud du synclinal de Dakhla sur une longueur de 300 m environ. A cet endroit des écoulements superficiels permanents sont observés, et correspondent à une émergence des eaux de l'Oued M'Zi et vraisemblablement à une alimentation par les calcaires et dolomies turoniennes.

Carte n° 3 : Carte piézométrique de la vallée de l'oued M'Zi.
(période du 1 au 15 / 12 /1979).

Carte n° **4** : Carte piézométrique de la vallée de l'oued M'Zi.

(période du 1 au15 / 03 / 1980).



— LEGENDE —

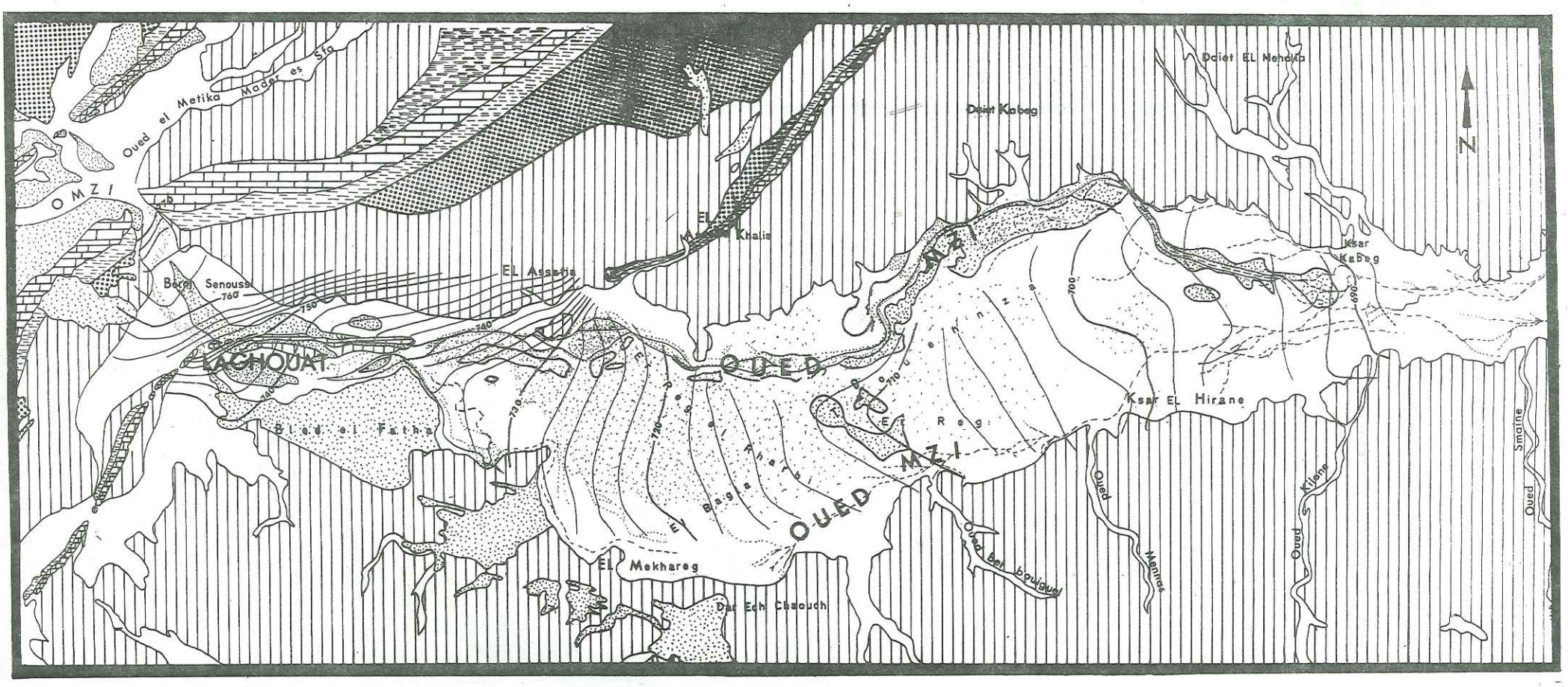
720 Courbes piezomètriques en mètres

— ECHELLE —

0 5Km

Carte n° **5** : Carte piézométrique de la vallée de l'oued M'Zi.

(période du 1 au10 / 05 /1980).

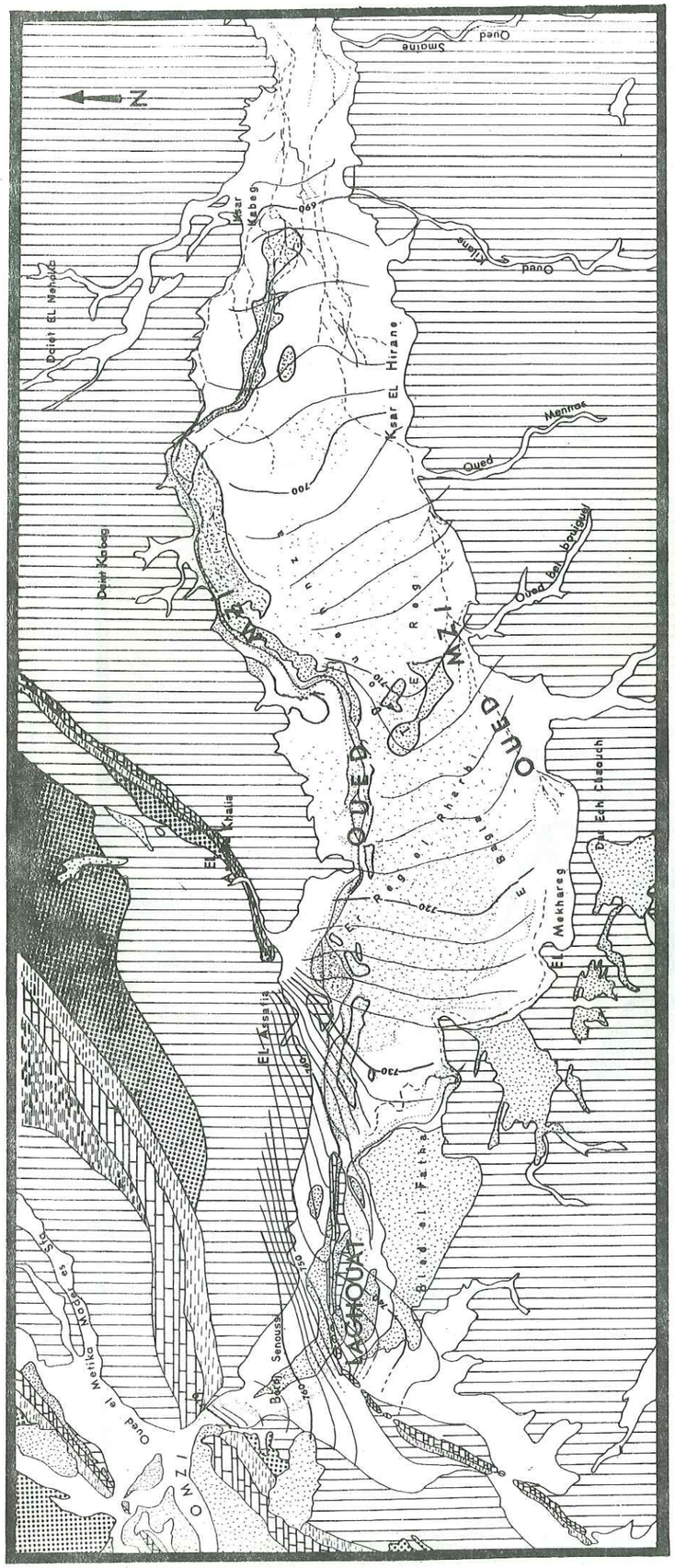


— LEGENDE —

720 Courbes piézomètriques en mètres

— ECHELLE —

0 5Km



ECHELLE
0 5Km

LEGENDE
Courbes piézométriques en mètres

Carte n° 6 : Carte piézométrique de la vallée l'oued M'Zi.
(période du 20 / 06 au 5 /07 /1980)

- Au Nord de la flexure: les écoulements de cette zone anticlinale se font essentiellement dans les formations gréseuses albiennes (au Nord du Kef Seridja) entre le Bordj Senoussi et El-Assafia, et dans les alluvions de l'Oued entre les cluses du pont de Laghouat et du Kef Seridja. Les eaux de cette partie de la région s'écoulent suivant une direction générale NW - SE. A la hauteur de Laghouat, les eaux passent de part et d'autre de la flexure, et l'écoulement devient NE-SW au Nord du Rocher des Chiens.

- Cluse du Kef-Seridja - Rocher des Chiens: elle correspond à une zone très fracturée de la flexure (en liaison surement avec le changement de direction de celle-ci) que l'oued a entaillée. A ce niveau, une partie des eaux franchit la barrière turonienne, et alimente la zone d'El-Fetha en écoulement divergeant d'une part d'Ouest en Est, et d'autre part du Nord-Est vers le Sud-Ouest.

- Zone d'écoulement entre le Kef Seridja et El Assafia: à cet endroit les couches secondaires qui formaient la flexure ont été décapées. Les eaux albiennes, venant du Nord, alimentent les niveaux mio-pliocènes au Sud d'El Assafia (reconnus par les forages P11 et P13), puis les alluvions au N-W et au N de la plaine d'El Mékhareg.

- Zone entre l'Erg Rharbi et Ksar Kabeg : l'écoulement de cette zone se fait de l'Ouest vers l'Est, suivant l'axe de la vallée du M'Zi. On notera une alimentation de l'aquifère alluvial par le Mio-Pliocène du Bled El Fethha, à l'Est de la plaine de Mekhareg .

IV.2.4. ECOULEMENT GENERAL DE LA REGION

Au cours de cette étude piézométrique, nous nous sommes intéressés aux écoulements dans les alluvions et dans les formations géologiques qui sont en relation avec elles. La circulation des eaux se fait suivant deux directions principales qui semblent être liées à deux domaines géologiquement et structuralement différents.

- Dans le domaine atlasique les écoulements sont NW-SE, avec une particularité au SW de Laghouat où ils deviennent NE-SW.

- Dans le domaine saharien, les circulations des eaux souterraines ont une direction EW, suivant l'axe de la vallée. Nous savons que les alluvions de cette partie de notre région d'étude reposent exclusivement sur du Mio-Pliocène

IV.2.5. DETERMINATION DU GRADIENT HYDRAULIQUE

Les gradients hydrauliques, déduits de la pente existant entre les isopièzes, ont été évalués pour différentes zones considérées. Ils sont forts au niveau des zones d'alimentation (cluse du Pont de Laghouat, cluse du Kef Séridja, Rocher des Chiens, et dans la zone d'alimentation entre le Kef Seridja et El Assafia. Le tableau n° 24 résume toutes ces valeurs:

Zones	Cluse Pont Laghouat	Cluse Kef-Serida R. des chiens	Bordj Senoussi	au Nord du Kef Seridja	Kef Seridja El Assafia	Domaine saharien
Gradient hydraulique	0,01	0,008	0,0026	0,006	0,008 à 0,01	0.003 à 0,002

Tableau n° 24 : Valeurs du gradient hydraulique

IV.2.6. FLUCTUATIONS DE LA NAPPE

A partir des mesures piézométriques de l'année 1979-1980, quatre cartes de fluctuation de la nappe, au niveau de la vallée de l'Oued M'Zi ont été tracées. Elles permettent de visualiser les fluctuations piézométriques dans le temps et dans l'espace.

- Carte des fluctuations maximums (carte n°7):- Le tracé de cette carte correspond à la différence des valeurs extrêmes enregistrées au cours des quatre campagnes de mesures piézométriques. Les fluctuations sont comprises en moyenne entre 0,25 et 0,75 m. Elles sont relativement importantes au centre de la vallée (0,5 à 0,75 m), et peuvent atteindre des valeurs relativement plus importantes au Ksar Kabeg (puits 205/479, 143/479 et 236/479), au Sud et à l'Est de la plaine de Mékhareg (P22, 33/479, P14, 148/478 et 150/478), au Sud et au Nord (114/478, P13, 20/478 et 12/478) d'El Assafia et au Bled El-Fetha. Les fluctuations les plus faibles ont été rencontrées à Ksar Kabeg et au Reg en rive droite, et dans la plaine de Mékhareg.

De cette carte d'équibattement maximum, nous retiendrons que les fluctuations ne sont pas très importantes, sauf au Sud d'El Assafia et du Bled El Fetha, où elles peuvent dépasser 2 m (P13 et P7 et P. Houmami) et méritent une attention particulière en raison du rôle possible que peuvent jouer les calcaires et dolomies turoniennes de la flexure (nous y reviendrons au chapitre intitulé "Relations hydrogéologiques entre les alluvions et le substratum".

- Fluctuations de la nappe à différentes périodes de l'année 1979-1980

Trois cartes de battements piézométriques entre différentes périodes de l'année ont été établies:

. de Décembre à Mars
. de Mars à Mai
. de Mai à fin Juin

Ces cartes visualisent, entre deux périodes successives, non pas une évolution du niveau piézométrique, mais des différences entre des périodes bien définies de l'année.

. Carte d'équibattement entre début Décembre 1979 et Mars 1981(carte n°8):

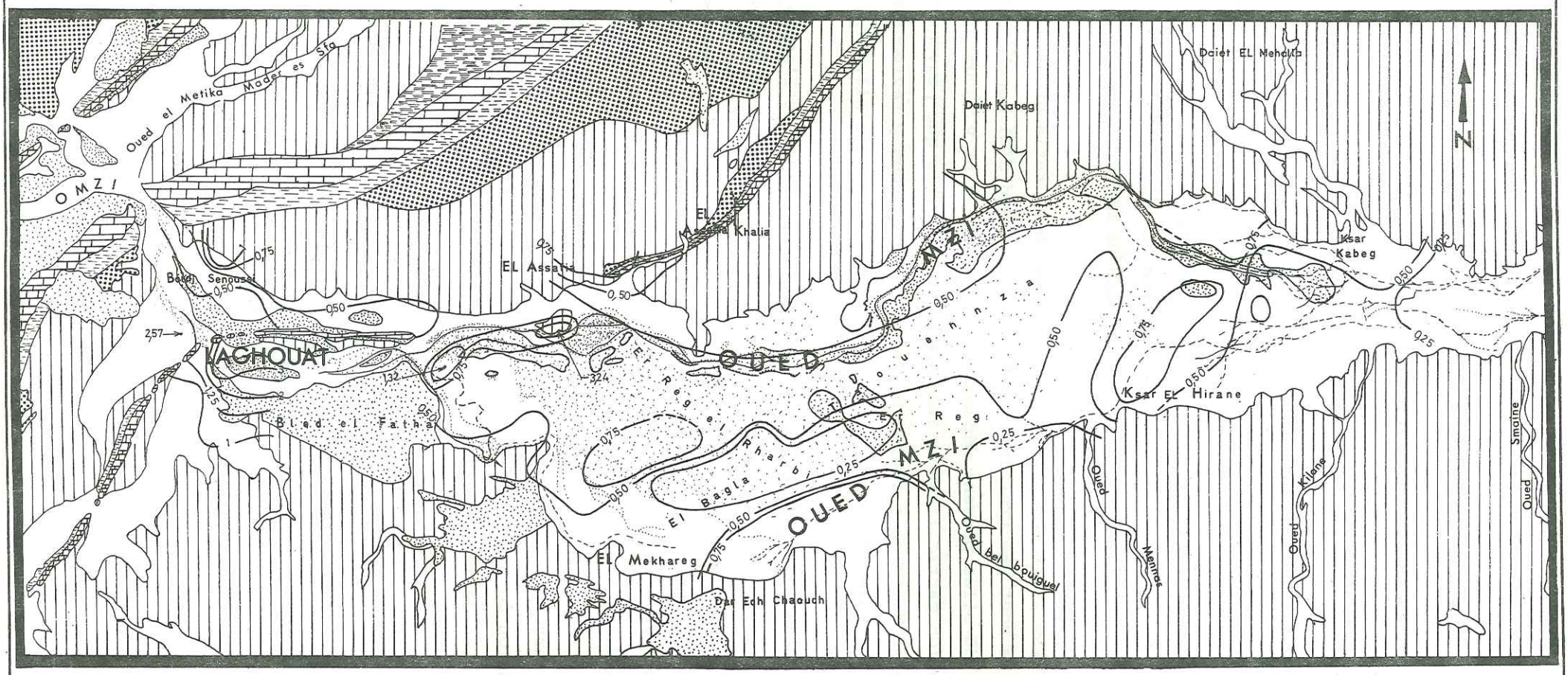
Les fluctuations du niveau piézométrique, le long de la vallée de l'Oued M'Zi, entre ces laps de temps correspondent à des différences entre:

- une période peu pluvieuse du mois de Décembre;
- et une période pluvieuse et d'après crue de Mars.

Carte: 7

OUED M ZI — Carte des équibattements maximums de la nappe

(année hydrogéologique 1979 -1980).



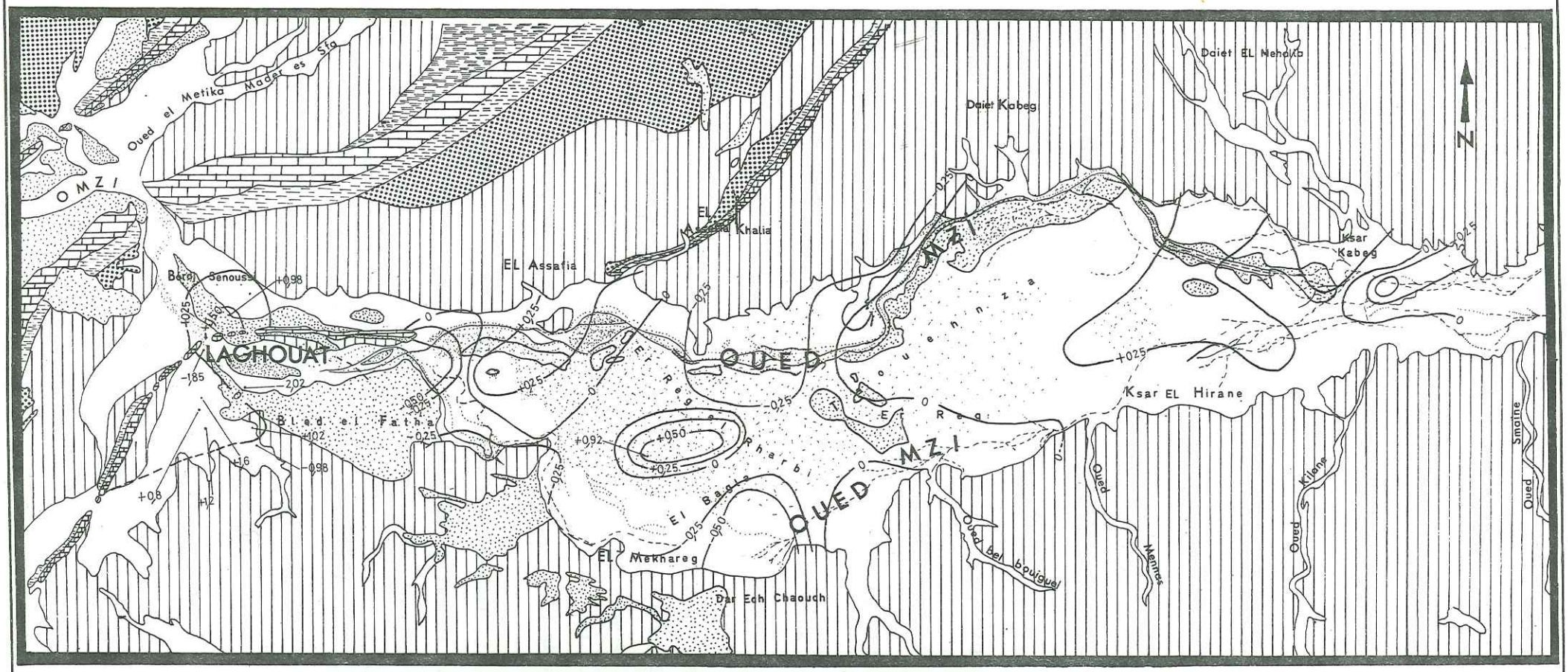
Légende: —0,9— courbe d'egal battement en m

Echelle : 0 — 5 Km

Carte: 8

OUED M ZI

: Carte des équibattements de la nappe entre les periodes de début décembre 1979 et début mars 1980.



Légende: —0,9— courbe d'egal battement en m

Echelle : 0 — 5 Km

Par rapport à Décembre 1979, certaines zones de la vallée ont fluctué de manière positive, parmi lesquelles on distingue:

- toute la partie comprise entre Taouennza et Ksar Kabeg;
- la zone ouest de la plaine de Mékhareg;
- la zone d'El Assafia - El Assafia Khalia et l'Est d'El-Fetha;
- le Bled El Fetha (puits de la ferme militaire, de Reg, de Saouli, et El Harrach);
- et la zone au Nord du Kef Seridja et au niveau de la cluse du Rocher des Chiens et du Kef Séridja;

Ces fluctuations positives sont en général peu importantes (0,5 m) sauf au Sud d'El Assafia (P13) et au Bled El Fetha (puits Reg, fermes militaires) et la zone de la cluse du Kef Séridja - Rocher des Chiens (63/478). Le niveau piézométrique dans certaines zones, entre ces deux périodes de Décembre et de Mars,a au contraire baissé, mais faiblement en général. Deux zones méritent une attention particulière, le Ksar Kabeg (puits 274 et 275) et le Bled El Fetha (P7, puits Houmami, Pg et 114/478).

Il ressort de cette carte, que les fluctuations ne sont pas très importantes en général. Mais certaines zones sont à mettre en évidence:

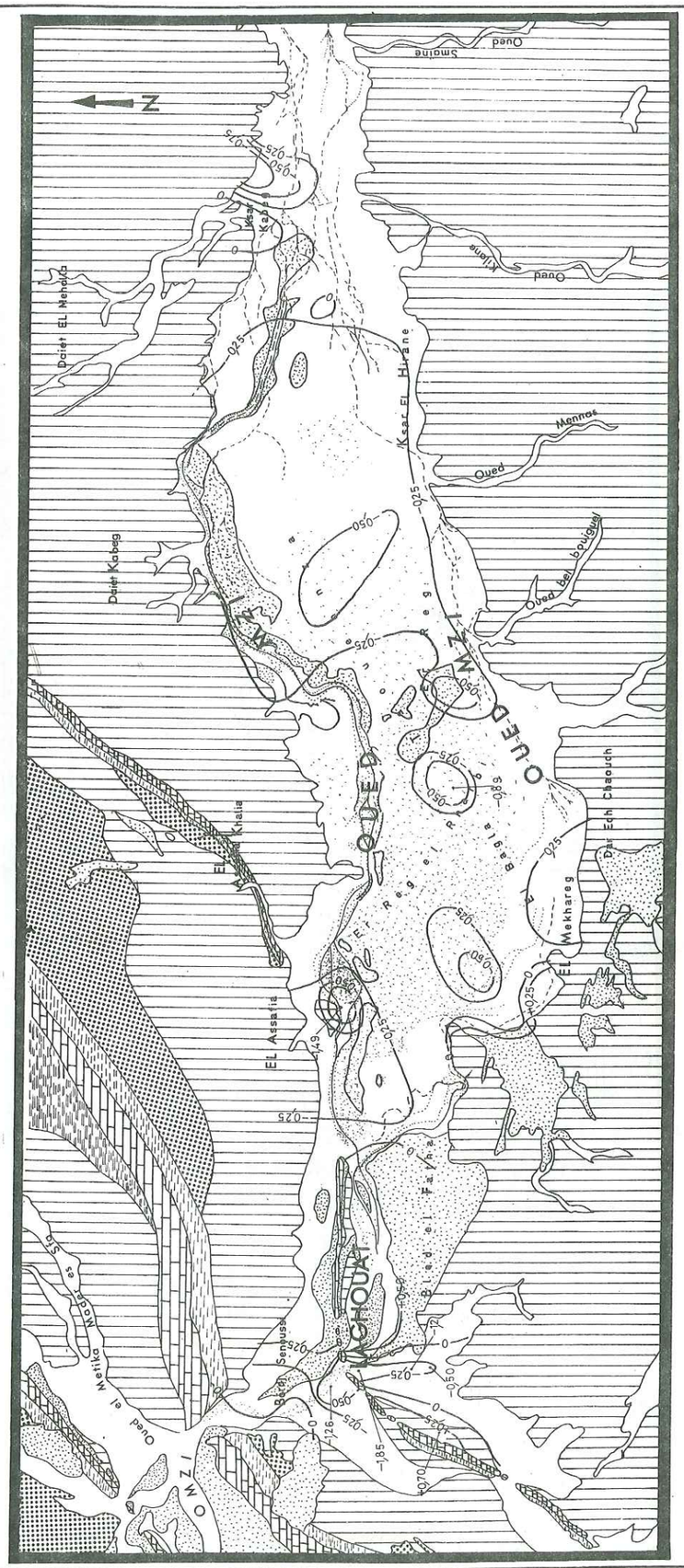
- le Ksar Kabeg,où les puits 274/473 et 275/479 sont les seuls de la zone à avoir fluctué négativement;
- au Sud d'El Assafia,où les fluctuations sont relativement importantes et supérieures à un mètre (P13);
- au Bled El Fetha,où côte à côte des fluctuations positives et négatives de plus d'un mètre ont été mises en évidence.

. Equibattements entre Mars et Mai 1980 (carte n° 9): Entre ces deux périodes le long de la vallée de l'Oued M'Zi, les battements du **niveau** piézométrique ont été négatifs en général; ils varient entre -0,05 et 0,5 m en moyenne et peuvent atteindre des valeurs relativement fortes au Ksar Kabeg (-0,82 m au 272/479) au Sud d'El Assafia (-1,49 m au P13), au niveau de Laghouat (-1,26 m au puits Loumi, et -1,85 m au puits Houmami). Quelques zones ont fluctué positivement,au Ksar Kabeg (+ 0,13 m au 269/479) à l'Est de Mékhareg (puits 133 et 129/478) et au Bled El Fetha.

Carte:9

OUED M ZI

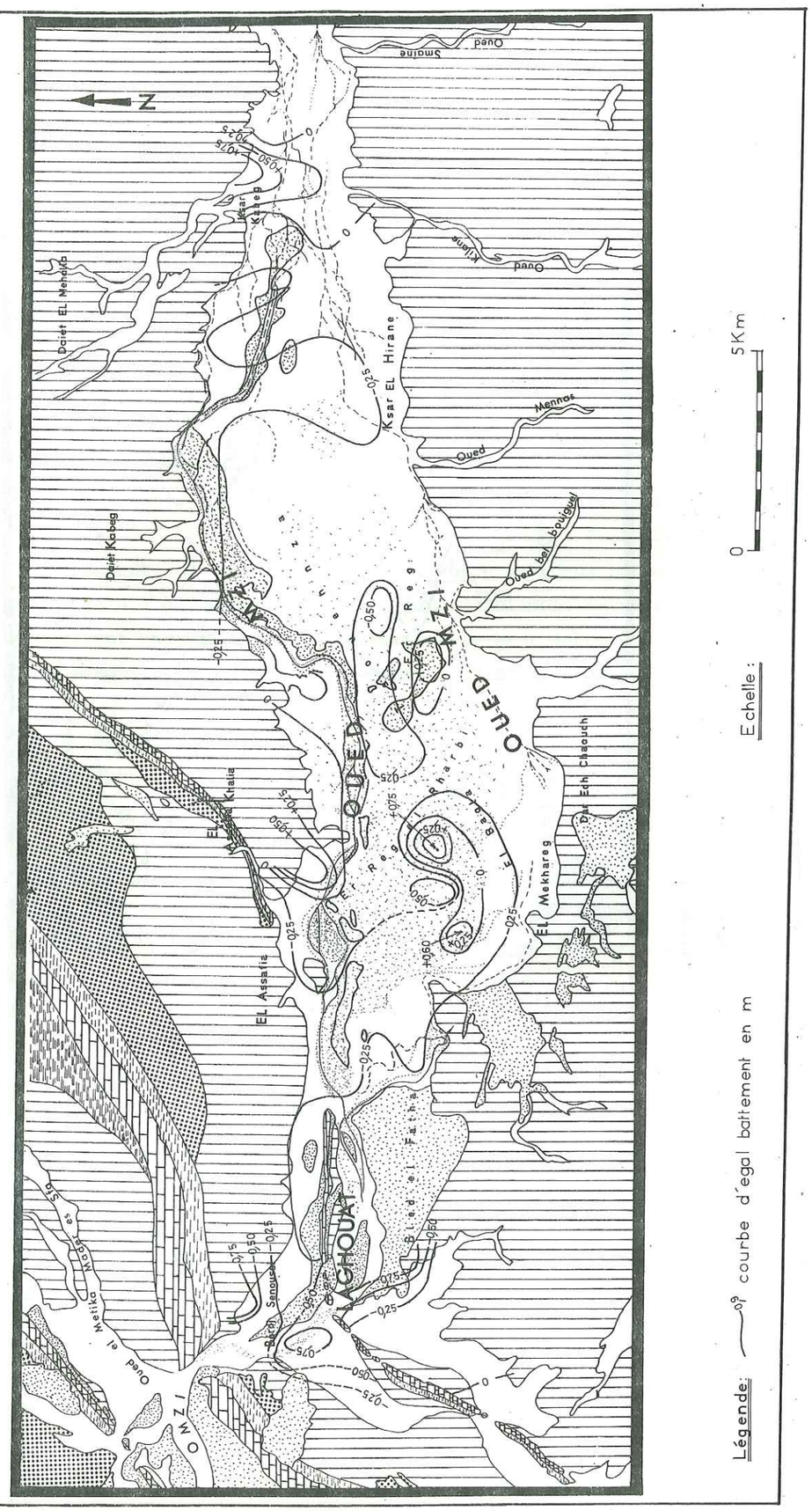
: Carte des équibattements de la nappe entre les périodes de début mars et de début mai de l'année.1980.



Carte:10

OUED M ZI

:Carte des équibattements dela nappe entre les périodes de début mai et de la fin juin l'année 1980).



5 Km

0

Echelle :

Légende: —— courbe d'égal battement en m

. Equibattement entre Mai et fin Juin 1980 (carte n° 10 - Entre ces deux mois, la nappe a dans son ensemble baissé, mais faiblement sauf au Sud d'El Assafia (P13) et au Bled d'El Fetha où les fluctuations peuvent dépasser 75 cm.

Contrairement à ce que l'on pouvait s'attendre, on note des fluctuations positives de la nappe, au Ksar Kabeg dans la plaine de Mékhareg et au Sud d'El Assafia (p 18).

. Comparaison des cartes d'équibattements: ces cartes font ressortir certaines zones ayant fluctuées indépendamment et/ou trop par rapport à l'ensemble de la région, de l'oued M'Zi, parmi lesquelles nous distinguons:

- La zone de Bled El Fetha où les fluctuations sont importantes.

Il est remarquable d'y constater que deux groupes de puits fluctuent différemment au cours de l'année.

- La partie comprise entre El Assafia et le Kef Séridja (plus particulièrement le piézomètre P13);
- La plaine de Mékhareg et la zone situées à l'Est de celle-ci (puits 130/478 - 129/478 - 133/478);
- Le Ksar Kabeg.

Le tableau n° 25 résume toutes ces fluctuations qui paraissent caractéristiques.

Toutes les oscillations dans ces zones apparaissent comme caractéristiques de notre région d'étude, soulignent la complexité piézométrique de la vallée de l'Oued M'Zi, qui peut s'expliquer par l'alimentation par les crues de l'Oued M'Zi et les échanges possibles entre les différents terrains qui forment les berges et le substratum des alluvions.

Nous pouvons évoquer à ce propos, le rôle des différents terrains secondaires (plus particulièrement des calcaires et dolomies turoniennes de la flexure) et mio-pliocènes

Zones	Périodes / Points d'eau / Fluctuations	Décembre 1979 à Mars 1980 +	Décembre 1979 à Mars 1980 -	Mars à Mai 1980 +	Mars à Mai 1980 -	Mai à Juin 1980 +	Mai à Juin 1980 -
Bled El Fetha	Reg	●			●		●
	Ferme militaire	●			●		●
	Saouli	●			●		●
	El Hanach.	●			●		●
	Dehan.		●		●		●
	P7/479		●	●			●
	Houmami		●		●		●
	P9/479		●	●			●
	Puits aviation		●	●			●
	173/479		●		●	●	
El Assafia et Est d'El Fetha	7/451	●			●	●	
	2/451	●			●		●
	20/478	●			●		●
	11/478	●			●		●
	P13/478	●			●		●
	121/478	●			●		●
	122/478	●			●		●
	114/478		●		●		●
	P27/478	●			●		●
	127/478	●			●		●
	116/478		●		●		●
	P10/478		●		●		●
Région de Mékhareg	129/478		●	●			●
	130/478		●		●		●
	133/478		●	●			●
	P14/478		●		●	●	
	148/478	●			●		●
	150/478	●			●	●	
	147/478		●		●		●
	149/478		●		●	●	
	143/478	●			●	●	
	39/478		●		●	●	
	35/478		●		●	●	
	41/478		●		●		●
Ksar Kabeg	255/479	●			●		●
	269/479	●		●			●
	266/479	●			●		●
	P37/479		●		●	●	
	264/479	●		●			●
	229/479	●		●			●
	272/479	●			●	●	
	274/479		●		●	●	
	275/479		●		●		●
	P36/479	●			●		●
	P38/479	●			●	●	

+ fluctuations positives
- fluctuations négatives

Tableau n° 25 : Fluctuations de la nappe

IV.2.7. PROFONDEUR DES EAUX DANS LE SECTEUR D'ETUDE

La profondeur des eaux de notre région varie entre 2 et 20 m. Les valeurs les plus fortes ont été rencontrées à l'amont (au Bled El Fetha), elles diminuent progressivement vers l'aval où elles ne sont plus que de 2 à 3 m en moyenne. Le tableau n° 26 résume quelques valeurs de la profondeur des eaux dans différentes zones de la vallée.

Zones	Profondeurs en m
Domaine atlasique	(0) au pont de Laghouat 4 à 7
Bled El Fetha	18 à 20
El Assafia	12 à 14
Puits 25/478	16,5
Bled Slisla	15 à 16
A l'Est d'El Fetha	14 à 16
Er Reg Rharbi et El Bagla	16 à 16,5
Taouennza et Er Reg	9 à 7,5
Zone entre Ksar Hirane et Ksar Kabeg	2 à 5

Tableau n°26 Profondeur de l'eau par rapport au sol

IV.3. CONCLUSION

L'étude piézométrique a permis d'individualiser deux zones principales d'écoulement, liées à deux domaines géologiquement différents:

- *le domaine atlasique, où les écoulements sont NW - SW;*
- *le domaine saharien, où les écoulements sont de l'Ouest vers l'Est.*

Les fluctuations le long de la vallée de l'oued M'Zi et des zones qui la bordent ne sont pas importantes (0,25 à 0,75 m en moyenne). Les plus importantes ont été rencontrées au Bled El Fetha, au Sud d'El-Assafia (P 13) et dans la plaine de Mékhareg. Au cours de cette année, il est ressorti un caractère important qui est celui du non synchronisme des fluctuations qui traduit certainement des relations entre les alluvions et les autres formations (albiennes, cénomaniennes, turoniennes, mio-pliocènes) et des alimentations par les crues irrégulières et assez réparties dans le temps entre Septembre et Mai.

=-=-=-=-=-=-=

CHAPITRE CINQUIEME - HYDROCHIMIE

INTRODUCTION
V.1. MESURES PHYSICO-CHIMIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX
V.2. PRÉSENTATION DES ANALYSES ET MESURES
V.3. VARIATION DE LA RÉSISTIVITÉ EN FONCTION DE LA SALINITÉ
V.4. INTERPRÉTATION DES CARTES DE LA RÉSISTIVITÉ DES EAUX
V.4.1. COMPARAISON DES CARTES DE LA RESISTIVITE DES EAUX
V.5. CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES
V.5.1. CLASSIFICATION ET FACIES CHIMIQUES DES EAUX
V.6. RELATION ENTRE LA RÉSISTIVITÉ ET LA CHIMIE DES EAUX
V.7. TENEURS EN OXYGÈNE 18 ET TRITIUM DES EAUX
V.7.1. TRACAGE ET UNITE DE MESURE DU TRITIUM
V.7.2. TRACAGE ET UNITE DE MESURE DE L'OXYGENE 18
V.7.3. ANALYSES ET INTERPRETATIONS
V.8. CONCLUSION

INTRODUCTION

Les possibilités d'utilisation des ressources en eau, d'une région, dépendent de leurs capacités à satisfaire les besoins en quantité, mais aussi d'une large part de leurs qualités; c'est-à-dire de leur physico-chimie. Donc, la connaissance de leurs caractères et de leurs évolutions dans le temps et dans l'espace est primordiale pour toute la planification. La qualité exigée d'une eau sera fonction de son utilisation (agricole, industrielle et alimentation en eau potable).

Les données physico-chimiques et chimiques concernent celles mesurées sur le terrain (au cours des quatre campagnes piézométriques de l'année 1979-1980) et les analyses réalisées aux laboratoires de chimie des eaux de la D.E.M.R.H. (Alger) et de Thonon-Les-Bains (analyses isotopiques).

Toutes ces mesures et analyses vont nous permettre d'apprécier la qualité des eaux et de préciser dans la mesure du possible les échanges et les mélanges.

V.1. MESURES PHYSICO-CHIMIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX

Les caractères physico-chimiques et chimiques des eaux sont déduits de mesures directes, sur le terrain et d'analyses réalisées ultérieurement en Laboratoire.

- Les mesures directes concernent essentiellement la résistivité et la température des eaux. Les appareils de mesures sont étalonnés avant chaque campagne de mesure. La température est prise au 1/10 °C;

- les mesures de laboratoire, regroupent les analyses sur les échantillons d'eau recueillis dans les ouvrages, le long de la vallée de l'Oued M'Zi, à différentes périodes, parmi lesquelles nous distinguons:

. celles de l'inventaire 1977-1978 où il a été procédé à l'analyse systématique de tous les points d'eau de notre région d'étude;
. et celles de l'année 1979-1980. Durant cette période, malgrè les renseignements limités, le choix des points de prélèvement n'est pas le fait du hasard. Nous les avons dispersés tout en tenant compte de la géologie.

V.2. PRÉSENTATION DES ANALYSES ET MESURES

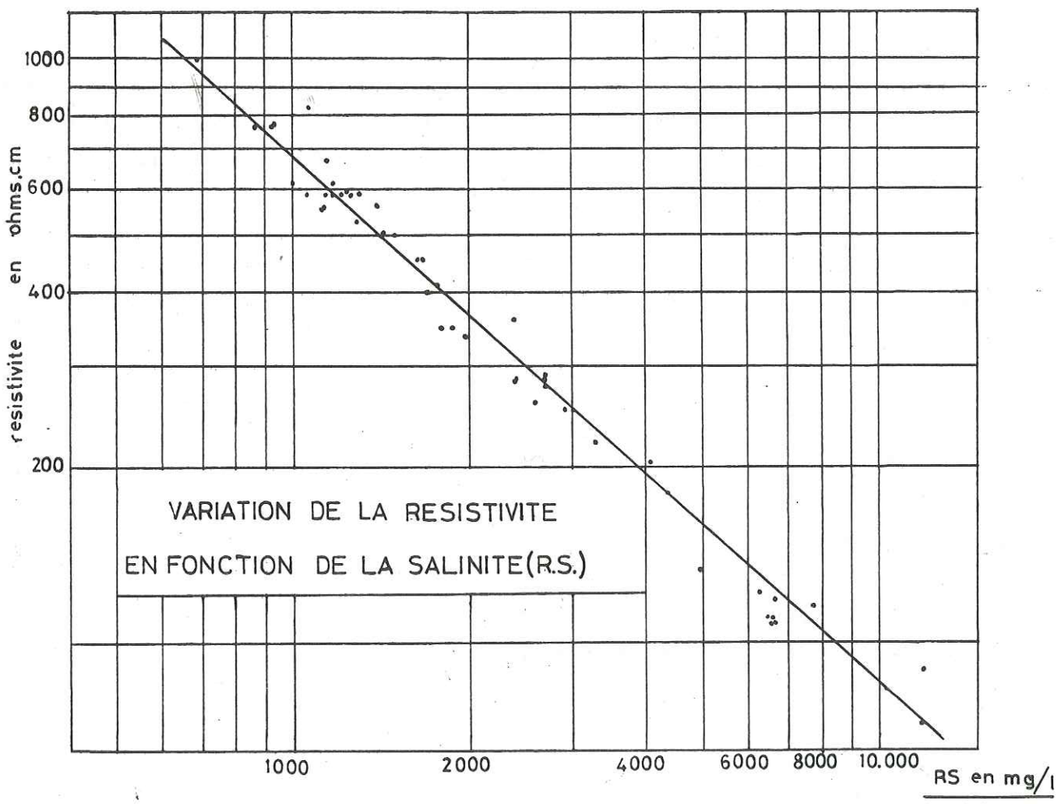
Toutes ces analyses chimiques et physico-chimiques sont répertoriées et classées, au service de chimie des eaux de la D.E.M.R.H. Les caractéristiques de chaque eau analysée sont reportées sur fiches comprenant:

. le numéro d'inventaire du point d'eau
. le numéro du laboratoire
. la conductivité électrique ramenée à 25°C, en 1/10 m.mhos
. le P.H.
. Le résidu sec
. Les teneurs, de chaque anion et cation (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO_4, HCO_3) exprimées en mg/l ou en meq/l.

V.3. VARIATION DE LA RÉSISTIVITÉ EN FONCTION DE LA SALINITÉ

Les analyses chimiques faites lors de l'inventaire des points d'eau de la vallée de l'oued M'Zi, nous ont permis l'établissement, sur papier bi-logarithmique de la droite de la variation de la résistivité en fonction de la salinité (ou résidu sec: R S) (figure n° 41).

Fig 41



A l'aide de ce graphique nous pouvons déduire le résidu sec d'une eau connaissant sa résistivité.

Cette opération rapide nous permet d'apprécier les teneurs en sels dissous d'une eau à partir de la mesure de la résistivité (qui est beaucoup plus facile à obtenir à l'aide d'un résistivimètre).

V.4. INTERPRÉTATION DES CARTES DE LA RÉSISTIVITÉ DES EAUX

La résistivité d'une eau traduit sa teneur en sels dissous. Ces deux caractéristiques physico-chimiques sont en relation inversement proportionnelle, une eau sera d'autant plus chargée en sels, que sa résistivité sera faible. La variation de la concentration d'une eau peut avoir plusieurs causes, parmi lesquelles nous distinguons essentiellement:

- l'évaporation: ce facteur peut être important et dépend de la température, de l'humidité de l'air et du sol, mais aussi de la profondeur de la nappe;

- le recyclage par l'entrainement des sels (qui se sont concentrés dans les premiers mètres du sol par évaporation de la nappe), par les eaux d'infiltration et plus particulièrement pour notre région durant les crues de l'oued;

- les échanges chimiques pouvant se produire entre les eaux et les terrains qu'elles traversent; donc l'interprétation des cartes de la chimie et de la résistivité des eaux doit tenir compte de leurs conditions de gisement c'est-à-dire de la géologie (ensembles lithologiques et structures géologiques);

- et des échanges d'eau entre les différentes formations géologiques.

Quatre cartes de la résistivité de l'eau ont été établies à partir des mesures réalisées sur le terrain, au cours des campagnes de terrain de Décembre, de Mars, de Mai et de Juin de l'année 1979-1980. Les courbes d'isorésistivité sont tracées tous les 100 ohms. cm.

V.4.1. COMPARAISON DES CARTES DE LA RESISTIVITE DES EAUX

(cartes n° 11 12 13 14)

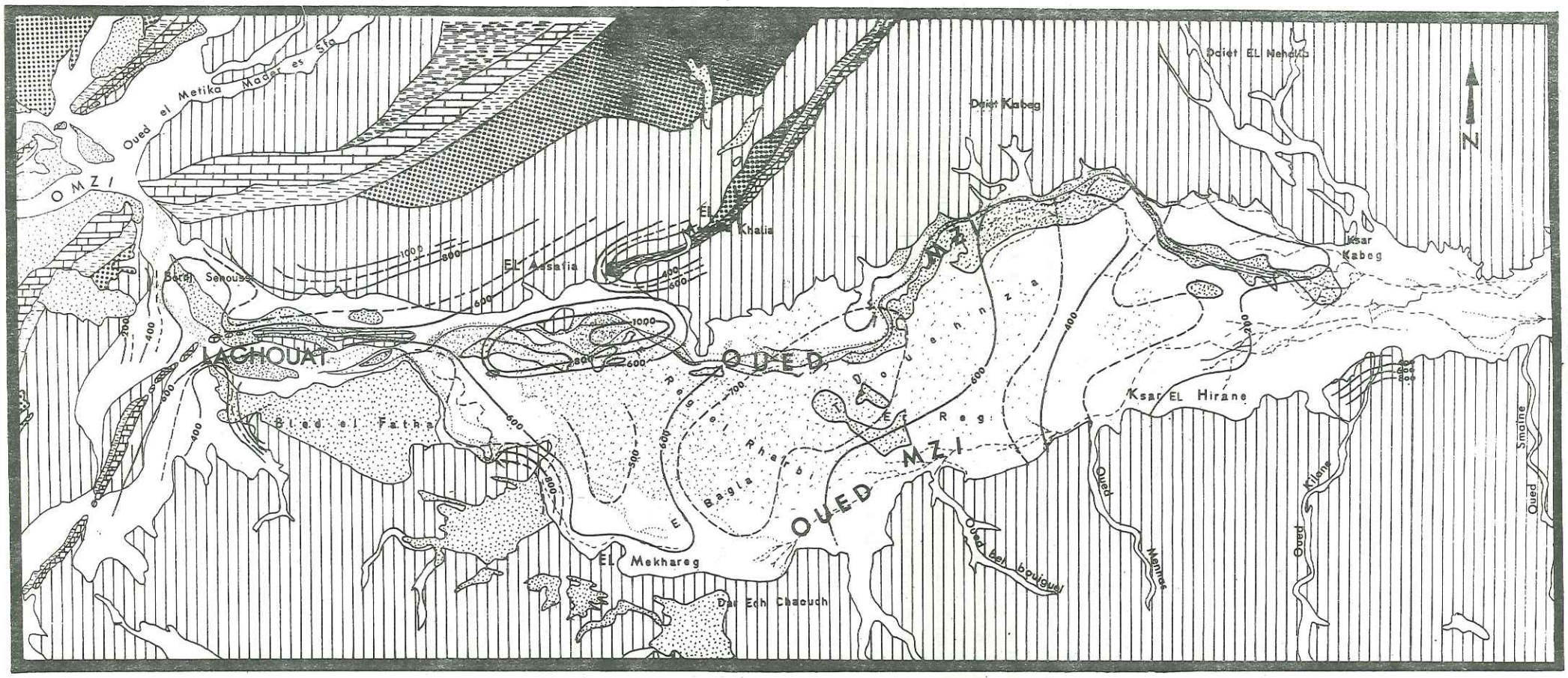
La résistivité des eaux de la région de Laghouat, le long de la vallée de l'oued M'Zi varie entre 100 et 1 000 Ω.cm en moyenne (soit 0,6 à 10 g (1). En général, il est admis que les eaux se chargent en sels dissous au fur et à mesure de leur trajet; cela est valable en terrain lithologiquement homogène. Il apparaît que la répartition de la résistivité des eaux de notre région d'étude n'est pas conforme à cette règle. En effet, sa répartition souligne une certaine complexité pouvant être expliquée en fonction des conditions géologiques (lithologie des terrains et structures) et des différents échanges entre les alluvions et les terrains qui sont en relation hydrogéologiques avec elles. Nous distinguons suivant la répartition de la résistivité, plusieurs zones:

- Au Nord du Kef Seridja, dans les niveaux albiens, les résistivités des eaux atteignent 1 000 Ω.cm (0,65 g/l) et diminuent vers la flexure où elles ne sont plus que de 600 Ω.cm et même voir 400 Ω.cm, en allant vers El Assafia. Cette diminution traduit l'influence des terrains qui forment la flexure, notamment les assises du Cénomanien et probablement du Mio-Pliocène dont l'épaisseur augmente du Nord au Sud.

- Entre les cluses du pont de Laghouat et du Rocher des Chiens - Kef Seridja : les alluvions de l'oued M'Zi sont peu développées en extension et leurs épaisseurs sont mal connues (Chapitre/Etude du remplissage alluvial) Les résistivités des eaux de cette zone s'échelonnent entre 200 et 600 Ω.cm (soit 4 à 1,1 g/l). Les valeurs les plus faibles de la résistivité de cette partie de la vallée du M'Zi ont été rencontrées, légèrement à l'aval du Pont de Laghouat, en rive gauche (200 à 400Ω.cm, soit 2 à 3 g/l); elles sont surement liées aux niveaux cénomaniens de cette zone, et/ou aux niveaux argileux alluvionnaires décrits lors de l'étude du remplissage alluvial .

Carte11

Carte de la résisitivité des eaux de la vallée de l'oued M'Zi
(periode 1 au 15 / 12/1979).



138

-LEGENDE-

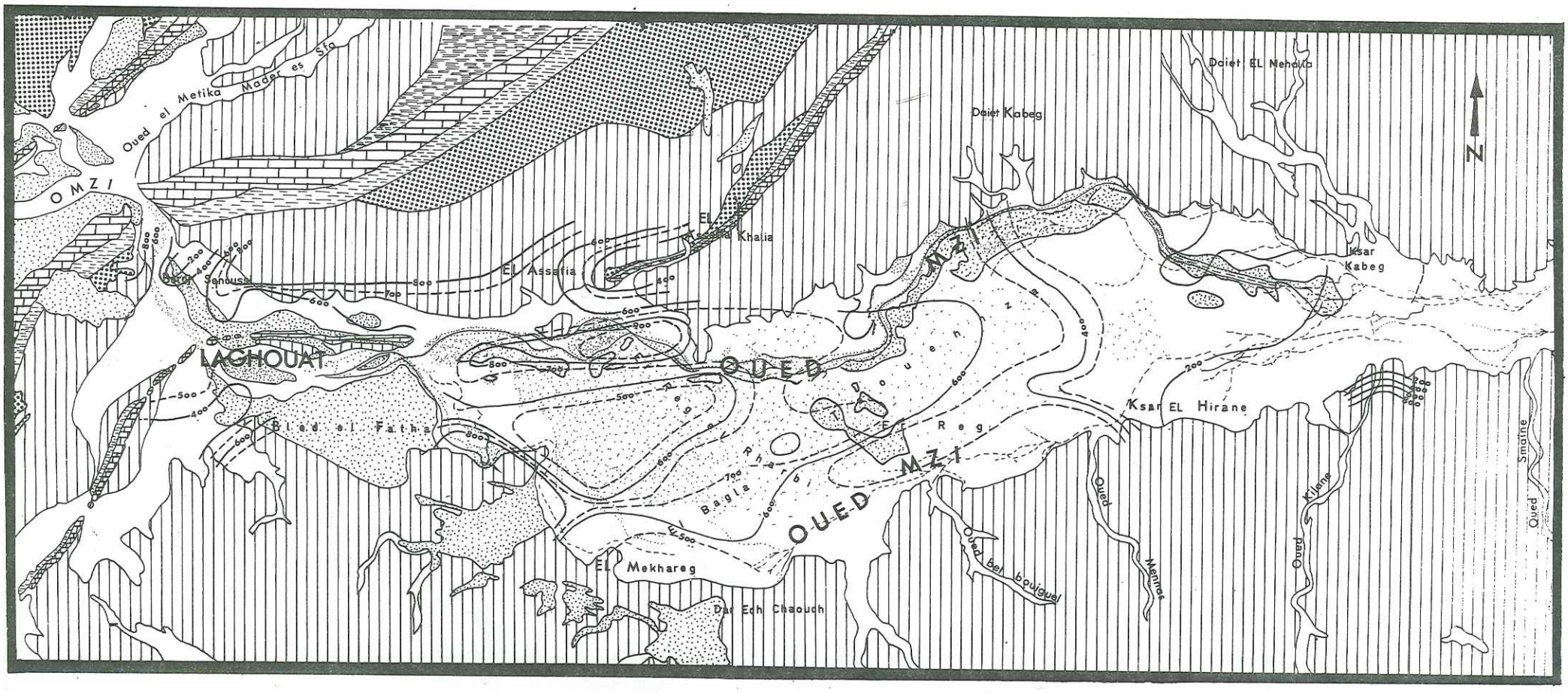
Courbes d'isorésistivite en ohm.cm

-ECHELLE-

0 5Km

Carte 12

:Carte de la résistivité des eaux de la vallée l'oued M'Zi
(périodeddu 1au 15 /03 /1980).



139

-LEGENDE-

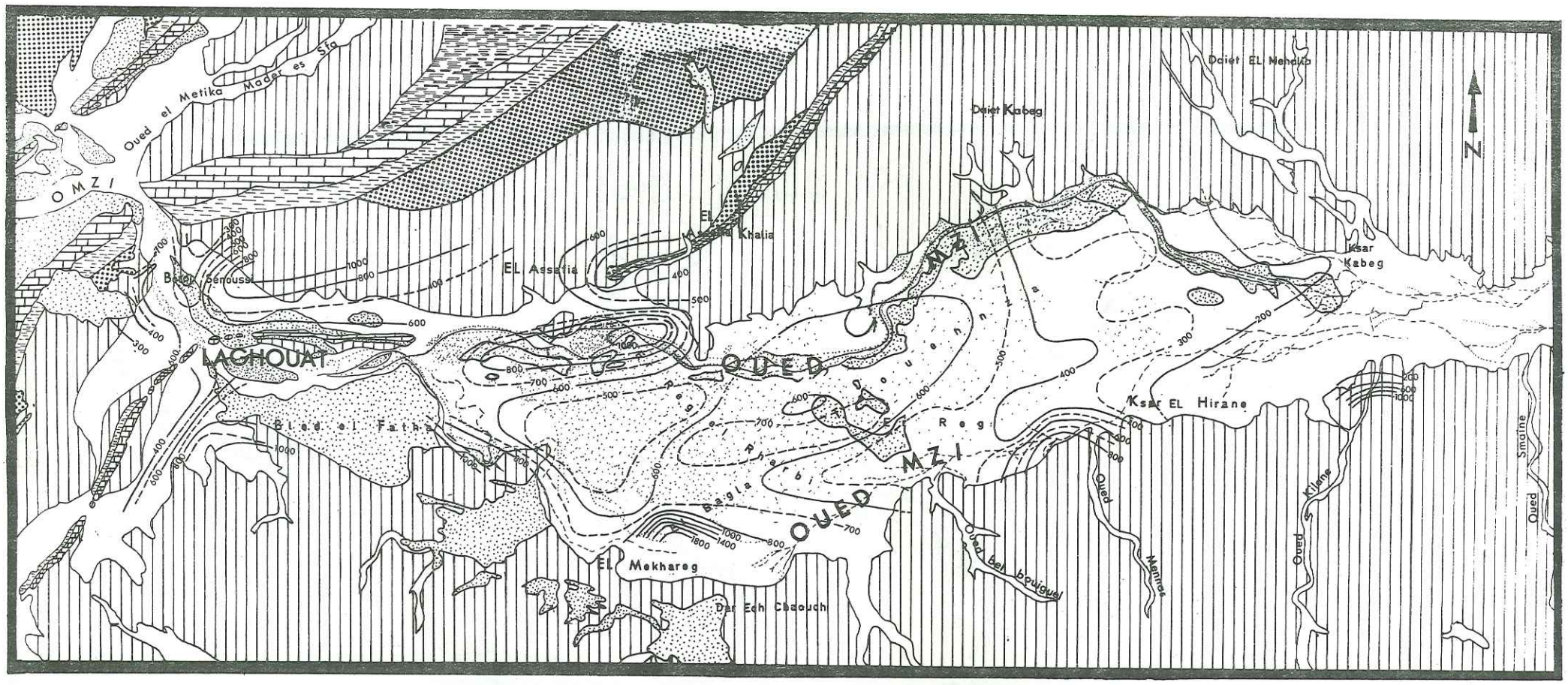
Courbes d'isorésistivité en ohm.cm

-ECHELLE-

0 5Km

Carte 13

:Carte de la résistivité des eaux de la vallée de l'oued M'Zi.
(période du 1 au 10 /05 /1980).



—LEGENDE—

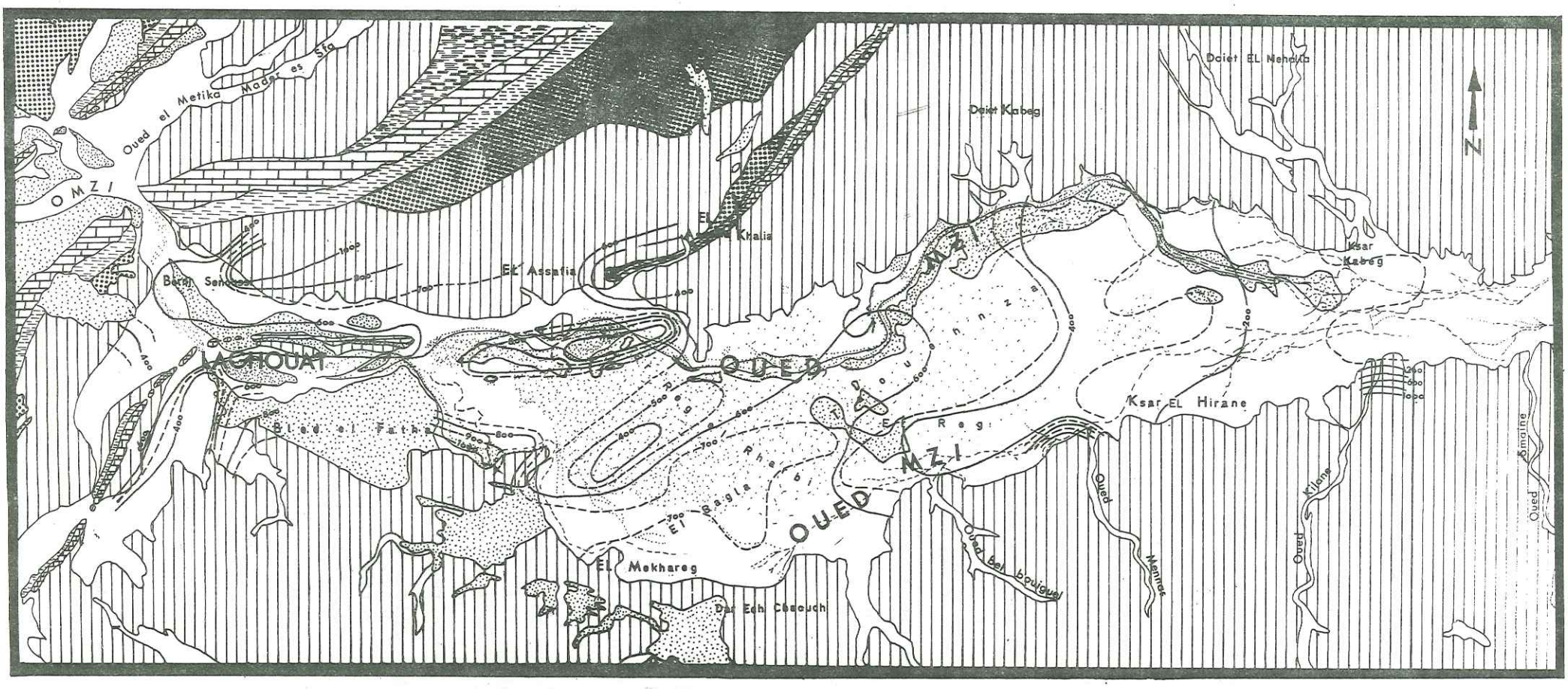
Courbes d'isorésistivité en ohm.cm

—ECHELLE—

0 5Km

Carte 14

: Carte de la résistivité des eaux de la vallée l' oued M'Zi.
(periode du 20 / 06 au 5 /07 / 1980)..



—LEGENDE—

Courbes d'isorésistivité en ohm cm

—ECHELLE—

0 5Km

En rive droite (puits 179/478) de fortes résistivités, 800 à 1 000 Ωcm, ont été rencontrées (0,6 à 0,85 g/l environ); elles caractériseraient les eaux albiennes de cette zone. Une diminution de résistivité de celle-ci est constatée en allant vers le S.W. (puits D.H.W. (300 Ωcm, soit 2,5 g/l); elle peut s'expliquer par la présence d'un recouvrement mio-pliocène plus développé en épaisseur.

- Zone entre le Kef Seridja et El Assafia : les résistivités dans cette aire sont de l'ordre de 700Ω cm (soit 1g/l). A cet endroit les couches secondaires (cénomaniennes et turoniennes) formant la flexure ont été entaillées par la mer mio-pliocène qui a accumulé ses propres dépôts dont l'épaisseur diminue vers le Nord où elle n'est plus que de 1 à 2 m. Les eaux venant du Nord, à partir des niveaux albiens, traversent cette zone dans des terrains mio-pliocènes reposant en partie sur un substratum cénomanien et turonien, dont le rôle hydrogéologique possible a déjà été suggéré. En effet, il est remarquable de constater aussi au Sud d'El Assafia, sur une bonne partie de ce front d'alimentation, située entre le puits 125/478 et P 13, une augmentation de la valeur de la résistivité (800 à 1 000 Ωcm, soit 0,65 à 0,85 g/l. Au niveau de cette zone, les fortes résistivités seraient en relation avec les fluctuations relativement importantes de la nappe.

- Au Bled El Fetha: les résistivités sont comprises entre 400 et 1 000 Ωcm (0,65 à 1,8 g/l). Le tracé des courbes d'isorésistivité a même allure générale, sauf en mars. Dans cette zone de la vallée, des fluctuations importantes, entre groupes de puits, ont été constatées, au cours de l'année 1979-1980 (Chapitre piézométrie); elles sont en relation probable avec ces variations de résistivités; on peut les expliquer par le rôle que peuvent jouer:

. les calcaires et les dolomies turoniennes
. le Mio Pliocène
. l'infiltration des eaux de l'oued, lors des crues.

Tous ces phénomènes peuvent interférer, une difficulté d'interprétation surgit.

- Zone couvrant l'Est d'El Fetha, le Mekhareg et le Reg Rharbi: les résistivités s'échelonnent entre 500 et 1000 Ωcm (soit 0,65 à 1,5 g/l); leurs répartitions font ressortir plusieurs plages; nous distinguons:

. la zone au Nord-Est de Mekhareg (de 500 Ωcm)
. la zone au Nord de Dar Chaouch (de 600 à 700 Ωcm)
. et la partie en rive droite de la vallée, où de fortes valeurs de la résistivité des eaux ont été rencontrées (aux sondages P 10, P 19, P 22), elle peut dépasser 1 000 Ω cm, (< 0,65 g/l).

Au cours de l'année 1979-80, dans cette zone on a noté des variations de la résistivité, notamment:

- au Nord d'El Mekhareg, où la plage à 400 Ωcm est beaucoup moins importante sur la carte de juin 1981, que celle des périodes antérieures;

- au Mékhareg, en rive droite, où les variations sont importantes de 500 à 1 800 Ωcm (de 1,5 à 0,1 g/l).

- Entre le Bled El Bagla et le Ksar Hirane : Au cours de l'année dans cette zone les variations de la résistivités sont traduites par l'évolution de l'allure de la courbe 400 Ωcm, s'incurvant de plus en plus vers l'amont (surtout sur les cartes d'isorésistivités de Juin et de Mai). Cette évolution de la concentration traduit probablement l'influence de circulations dans le substratum et/ou des alimentations par le côté et/ou la présence d'argiles.

Au niveau de l'oued Bennas, les résistivités passent rapidement de 400 à 800 Ωcm, elles correspondent à des eaux dont l'origine est difficile à expliquer. Probablement pourrions nous suggérer qu'il s'agit d'eaux douces récentes ou non, ne se mélangeant pas aux eaux plus profondes et salées.

- Entre Ksar Hirane et Ksar Kabeg: Les valeurs les plus faibles de la résistivité de l'eau appartiennent à cette zone, soit 100 à 200 Ωcm (4 à 8 g/l). Elles diminuent de l'amont vers l'aval et peuvent atteindre des valeurs très faibles 100 Ωcm (> 10 g/l).

En rive droite, en allant vers l'oued Kilane (puits 273/479), les eaux sont relativement plus résistantes; 800 à 1 000 Ω.cm (0,85 à 0,65 g/l).

En ce qui concerne cette partie aval de la vallée, nous avons dans le chapitre "Etude du remplissage" mis en évidence l'existance de formations salées qui correspondent à un substratum très proche de la surface du sol (sondage P37/479), et d'un niveau noté $\hat{I}$ (sondage P 32), dont les rôles respectifs importants ne sont pas à exclure. Les eaux étant proches de la surface (3 m en moyenne), on peut aussi suggérer le rôle de l'évaporation (comme le montrent les taches de sel des terrains superficiels).

Dans cette zone, en Juin des variations de la résistivité de l'eau sont marquées par l'évolution de l'allure de la courbe 200 Ω.cm, et des relations certaines existeraient avec les fluctuations positives (par rapport à la période de début mai) mises en évidence lors de l'étude piézométrique. Ces variations physico-chimiques et piézométriques traduisent une alimentation de cette zone, durant cette période, par les côtés de la vallée et/ou par le substratum.

Les cartes de résistivités des eaux ont montré que le schéma général de la répartition de celle-ci reste le même dans son ensemble, mais quelques variations sont notées au bled El Fetha, au Mékhareg, entre Er Reg et Ksar Hirane, et au Ksar Kabeg. Au Sud d'El Assafia (P 13/478 et 125/478) une zone de fortes résistivités s'observe dans un secteur où les fluctuations de la nappe sont relativement importantes.

Le long de la bordure sud de la vallée de l'oued M'Zi (domaine saharien), les eaux sont peu chargées (<0,8 g/l); plusieurs hypothèses sont possibles quant aux relations pouvant exister entre toutes les eaux du Bled El Fetha, de Mékhareg (oued Kilane et du Ksar Kabeg (oued Mennas); nous suggérons les possibilités suivantes:

. niveaux mio-pliocènes hydrogéologiquement indépendants ou au contraire interdépendants;

. niveaux d'eau peu chargée ne se mélangeant pas avec les eaux plus profondes et plus chargées.

V.5. CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES

Les cartes de la résistivité des eaux souterraines établies à différentes périodes de l'année 1979-1980 ont permis de visualiser l'évolution de la minéralisation globale dans le temps et dans l'espace. Il est fréquent que deux eaux ayant même résistivité, présentent des compositions chimiques différentes. L'intérêt des analyses est de connaître les éléments dissous contenus dans chaque eau.

Les analyses chimiques ont été réalisées, sur les échantillons prélevés à différentes périodes:

- au cours de l'inventaire des points d'eau (1978) (systématiquement sur tous les points d'eau);

- au cours de l'année 1979-1980 durant laquelle il y a eu cinq campagnes de prélèvements d'eau sur 15 puits.

V.5.1. CLASSIFICATION ET FACIES CHIMIQUES DES EAUX

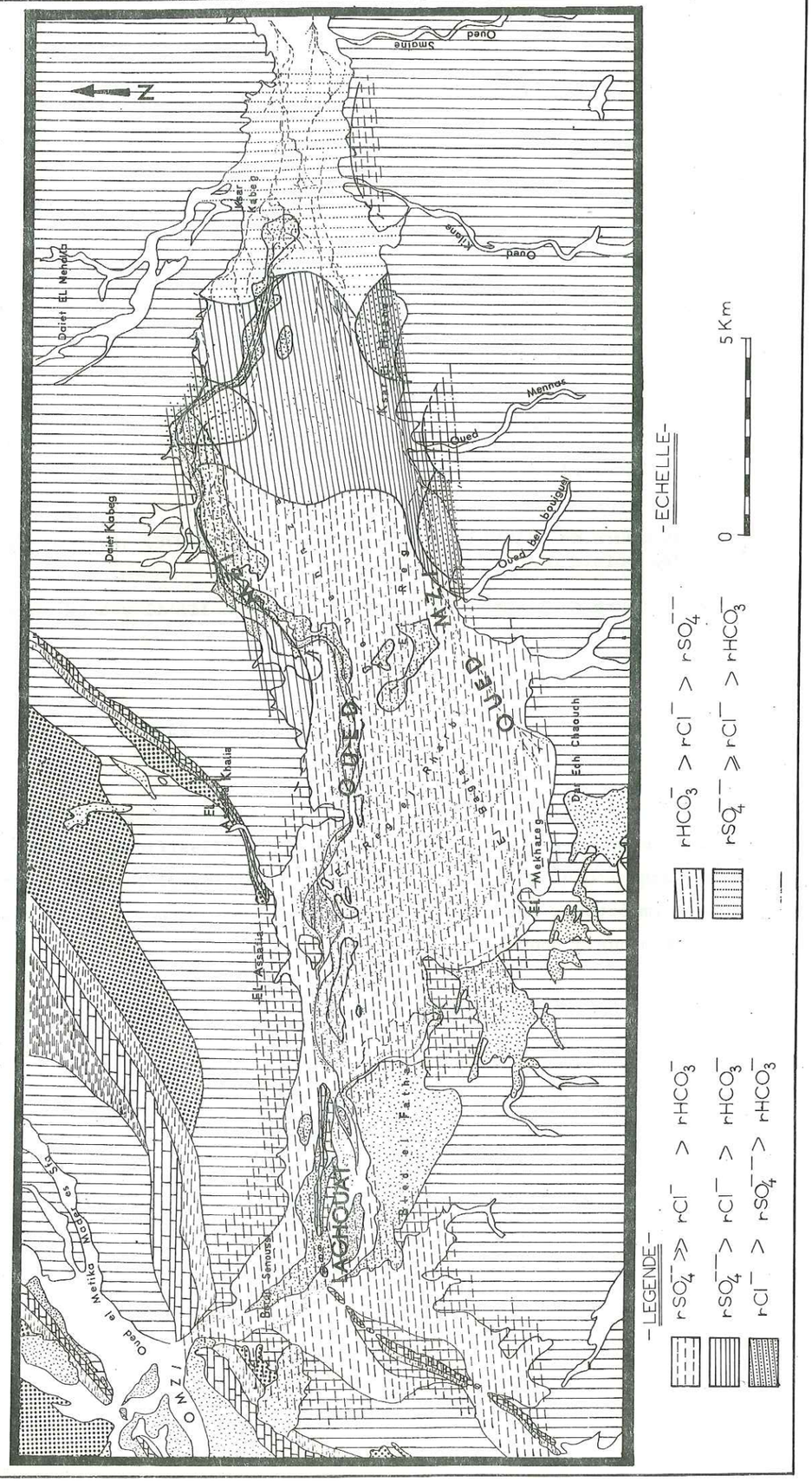
Afin de pouvoir comparer les eaux entre elles, le choix d'une systématique est nécessaire, nous avons choisi la classification SCHOELLER qui figure dans l'ouvrage du même auteur (1962, p 316, 317). Elle tient compte de l'importance des principaux anions et cations qui constituent le faciès chimique d'une eau.

1) Répartition chimique des eaux le long de la vallée de l'oued M'Zi

Nous avons grâce aux résultats des analyses chimiques de l'inventaire général 1978, essayé de dégager des zonalités où se regroupent les mêmes faciès chimiques. Durant cette année, à chaque ouvrage il a été réalisé une seule analyse d'eau, ce qui ne nous permet pas d'apprécier les variations pouvant apparaître au cours du temps. Pour palier à cette lacune, un complément d'analyses a été réalisé sur les prélèvements d'eau de quinze puits seulement

Carte 15

: Carte de la répartition des anions contenus dans les eaux de la vallée de l'oued M'Zi.



répartis le long de la vallée, à différentes périodes de l'année 1979-1980. Mais le nombre peu important de points de prélèvement, ne nous permet pas une étude précise et complète de cette évolution chimique. Compte-tenu de la géologie et plus particulièrement de la lithologie des terrains aquifères, nous pensons dégager les grands traits de la chimie de la vallée de l'oued M'Zi.

A partir des analyses chimiques de 1978, deux cartes ont été tracées, l'une visualisant la répartition des anions, et l'autre celle des cations.

. *Répartition des anions* (*carte n° 15*)

Les eaux de la vallée de l'oued M'Zi sont sulfatées dans leur ensemble; ce caractère s'explique bien par la présence d'Evaporites(gypse) dans de nombreuses formations, entre autres le Cénomanien et le Mio-Pliocène. Vers l'aval, en rive droite du Er Reg à Ksar Hirane, et en rive gauche de la vallée (puits 185/479), les eaux sont chlorurées. De l'eau carbonatée a été rencontrée au puits 54/479.

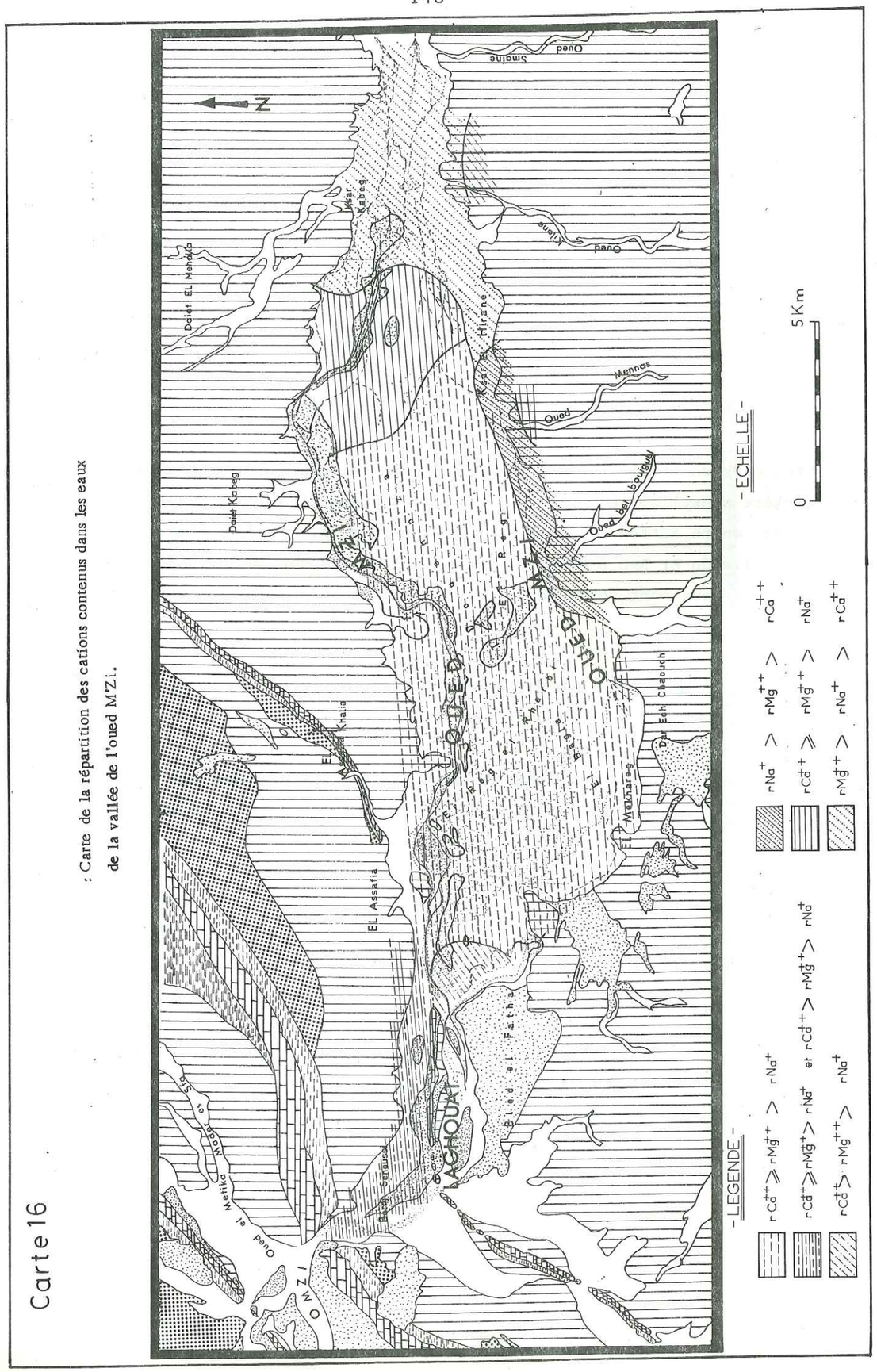
Suivant l'importance des différents anions contenus dansles eaux, notre secteur d'étude se subdivise principalement:

. en une zone, allant du pont de Laghouat à Taouennza- Er Reg, où les eaux sont relativement plus chargées en ions SO_4^{--};

. en une partie, couvrant la zone allant de Taouennza-Er Reg au Ksar Kabeg où les eaux sont caractérisées par l'importance des ions SO_4^{--} et Cl^-.

. *Répartition des cations* (*carte n° 16*)

Sur la majeure partie de la vallée de l'oued M'Zi, les eaux sont essentiellement calciques et magnésiennes. Le caractère sodique est plus marqué à l'extrémité aval de notre secteur d'étude. Entre Ksar Hirane et Er Reg (puits 33, 25, 48, 61, 166 carte 479), les eaux sont sodiques. Au Ksar Hirane (puits 54/479), au Ksar Kabeg en rive droite (puits 273/479) les eaux sont calciques.



Carte 16

: Carte de la répartition des cations contenus dans les eaux de la vallée de l'oued M'Zi.

. Répartition des faciès chimiques des eaux

Les zonalités chimiques (cartes 17 , 18) regroupant les différents types d'eau sont obtenues à partir de la répartition des anions et des cations contenus dans les eaux. Nous distinguons plusieurs types:

- Les eaux sulfatées calciques et magnésiennes: ce type d'eau couvre la majeure partie de la vallée entre le pont de Laghouat et Taouennza-Er Reg. La caractéristique de ces eaux est que les sulfates y sont dominants par rapport aux chlorures et aux carbonates. Le magnésium et le calcium sont dans les mêmes proportions et restent les cations dominants (figures n° 42 43).
La formule caractéristique de ces eaux peut s'écrire:

$$r\,Ca^{++} \geqslant r\,Mg^{++} > r\,Na^{+} \quad \text{avec } r\,SO_4^{--} > r\,Cl^{-} > r\,HCO_3^{-}$$

avec généralement même proportion entre rCa^{++} et rMg^{++}. Il arrive que le caractère calcique soit dominant; c'est le cas du puits 114/479 (figure n° 42).
Les zonalités mises en évidence sur les cartes de la résistivité des eaux ne sont pas apparentes chimiquement.

- Les eaux chlorurées et sulfatées: (figure n° 43) se rencontrent sur la bande située entre Er Reg et Ksar Hirane, et en rive gauche, au puits 185/479. Ces eaux se présentent sous plusieurs faciès chlorurées et sulfatées. Les formules caractéristiques sont les suivantes:

. au puits 25/479: $r\,SO_4^{--} > r\,Cl^{-} > rHCO_3^{-}$ avec $rNa^{+} > rMg^{++} > rCa^{++}$;
. aux puits 48/479 et 61/479: $r\,Cl^{-} > r\,SO_4^{--} > r\,HCO_3^{-}$ avec $rNa^{+} > rMg^{++} > rCa^{++}$
. au puits 166/479: $r\,SO_4^{--} > r\,Cl^{-} > rHCO_3^{-}$ avec $rMg^{++} > rNa^{+} > rCa^{++}$
. au puits 185/479: $r\,Cl^{-} > r\,SO_4^{--} > r\,HCO_3^{+}$ avec $rNa^{+} > rMg^{++} > rCa^{++}$

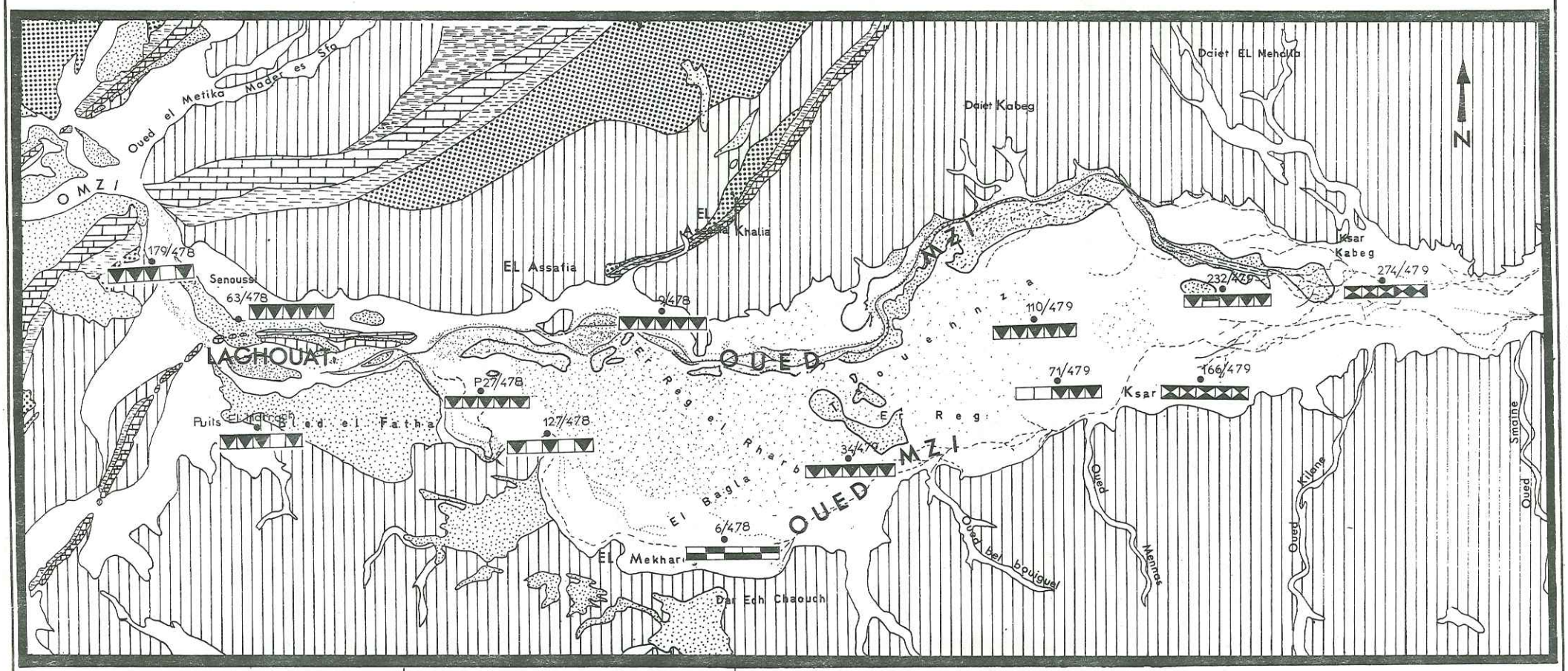
Sur les cartes de la résistivité, cette zone de la vallée est marquée par de faibles valeurs de celle-ci.

- Les eaux bicarbonatées calciques (figure n° 43): ce faciès a été rencontré uniquement au Ksar Hirane, au point d'eau 54/479. La formule caractéristique est la suivante:

$$r\,HCO_3^{-} > rCl^{-} > rSO_4^{--} \quad \text{avec } r\,Ca^{++} > rMg^{++} > rNa^{+}$$

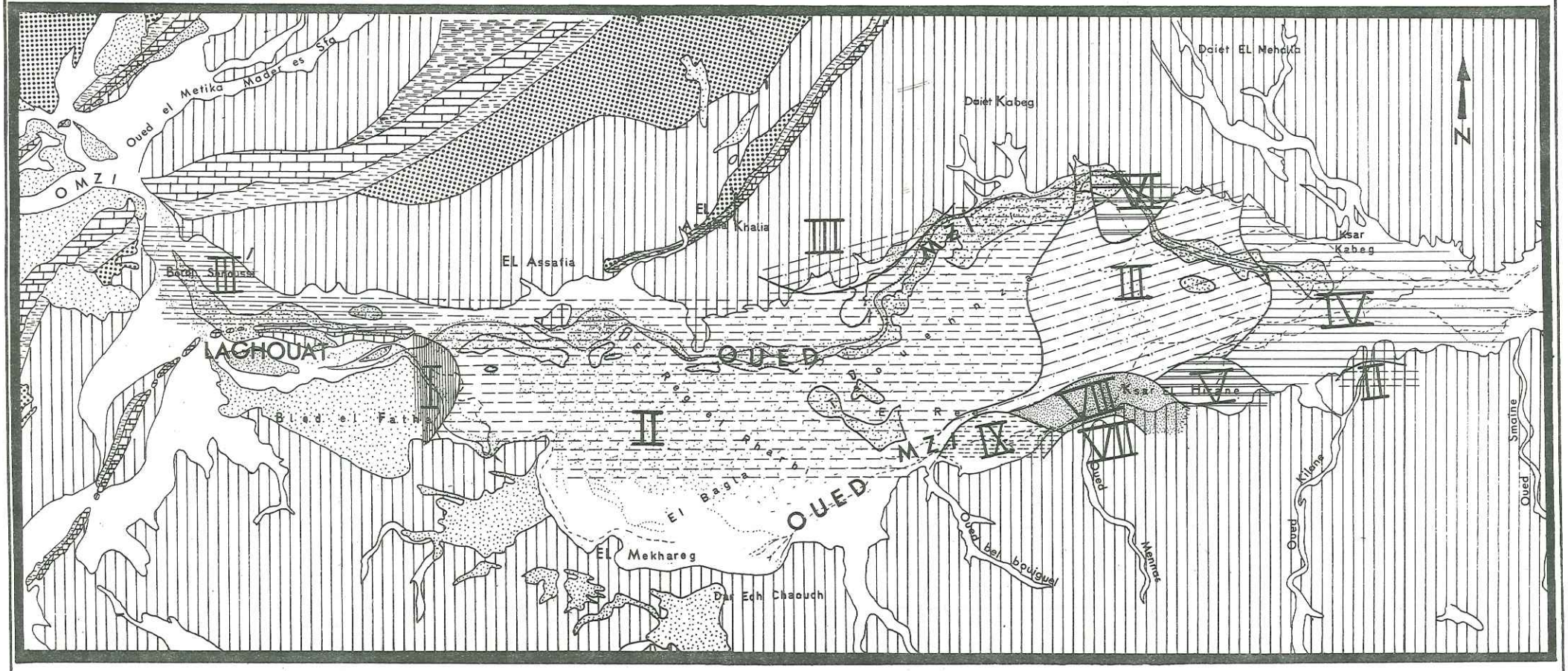
Carte 17

: Carte de l' évolution des faciès chimiques des eaux le long de la vallée de l'oued M'Zi. (année 1979-1980).



Carte 18

Carte de la répartition des facies chimiques des eaux (vallée de l oued M Zi) année 1979-1980



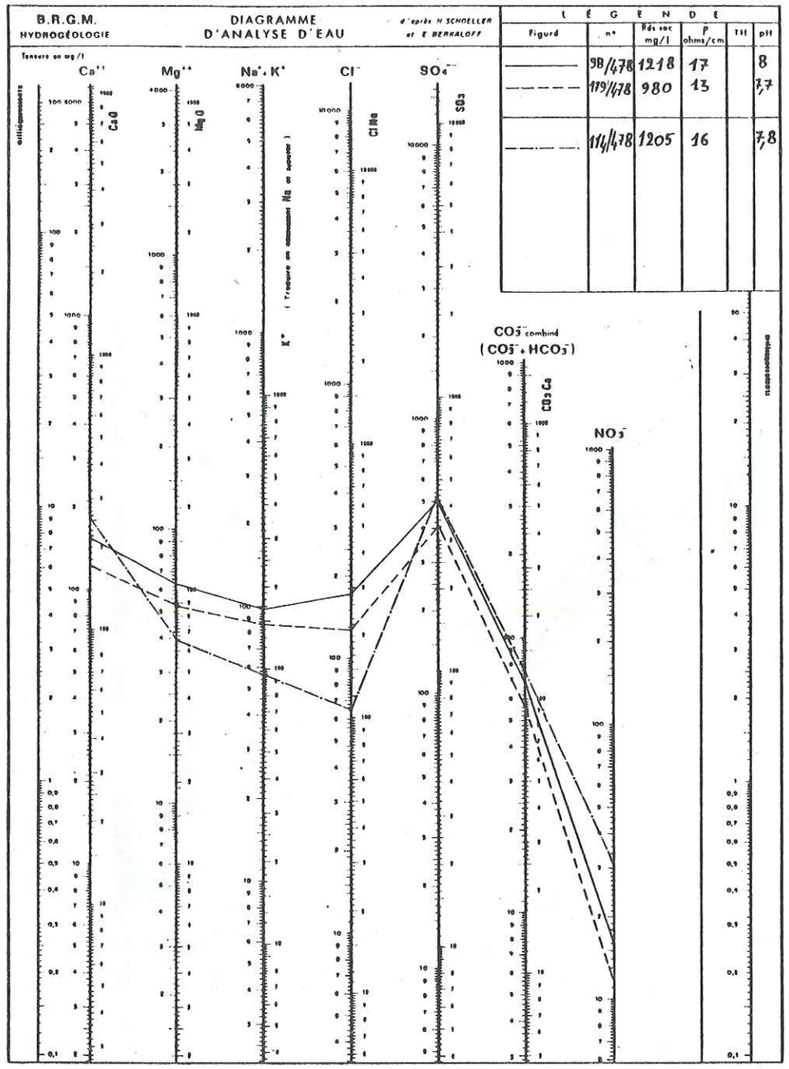


Figure n°42 : Diagrammes logarithmiques des analyses d'eau.

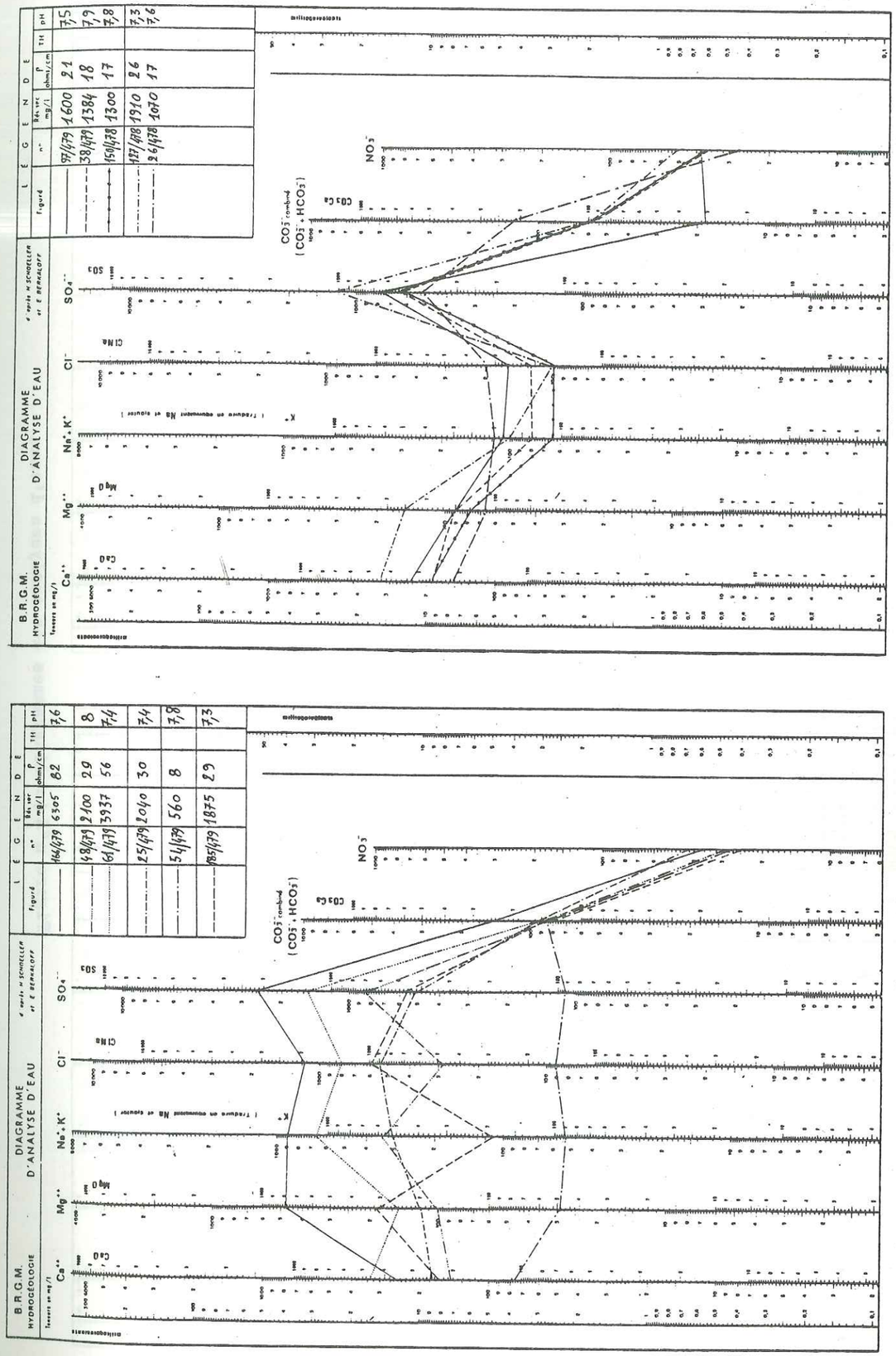
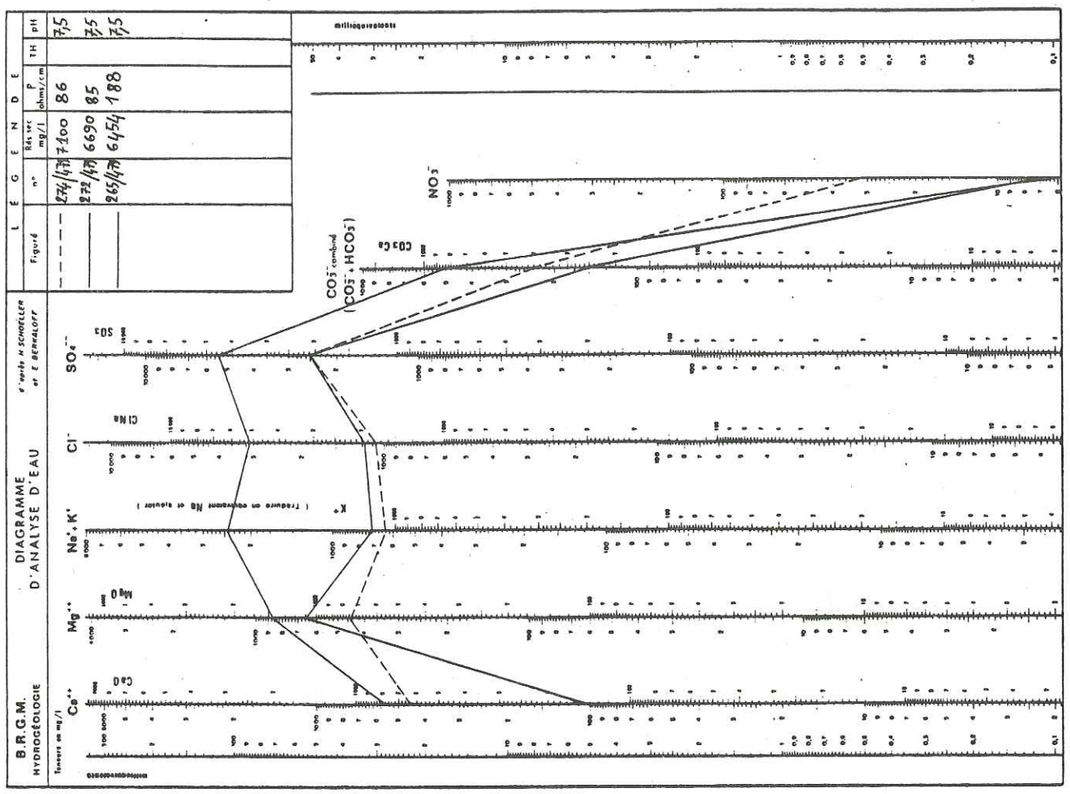


Figure n°43 :Diagrammes logarithmiques des analyses d'eau



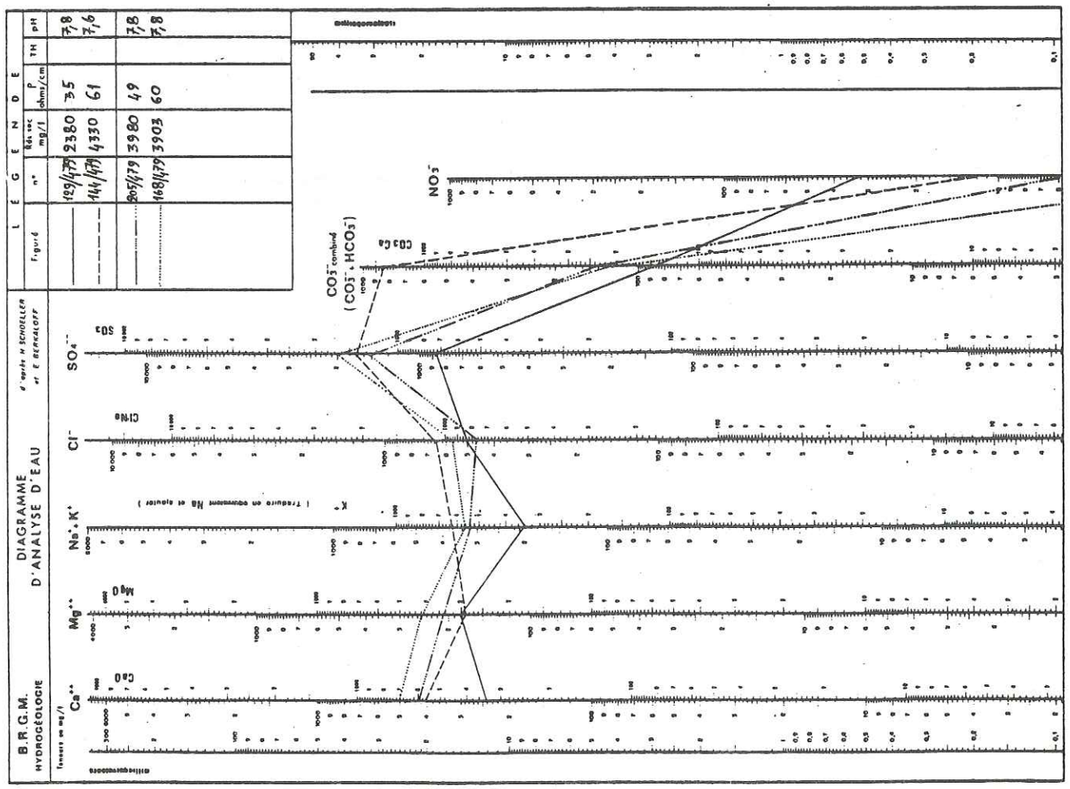


Figure n°44 : diagrammes des analyses d'eau.

V-6 RELATION ENTRE LA RÉSISTIVITÉ ET LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX

Suivant la répartition des faciès chimiques des eaux, notre région se subdivise:

- du pont de Laghouat à Er Reg-Taouennza : les eaux de cette zone, comme nous les avons décrites présentent un caractère sulfaté marqué. Les zonalités qui ressortent sur les cartes de résistivité ne sont pas apparentes chimiquement. Dans cette partie de la vallée, nous pouvons caractériser les eaux par leur résistivité, car elles ont les mêmes faciès chimiques, ($rSO_4^{--} > rCl^- > rHCO_3^-$ avec $rCa^{++} \geqslant rMg^{++} > rNa^+$). Nous pouvons expliquer cette homogénéité de faciès chimique des eaux, par l'étroite relation hydrogéologique existant entre les différentes formations géologiques (albiennes, cénomaniennes, turoniennes et mio-pliocènes) et par la présence de gypse dans de nombreuses formations en particulier du Mio-Pliocène et du Cénomanien.

- au Nord du Kef Seridja: les eaux albiennes venant du Nord se chargent au fur et à mesure de leur trajet, en se rapprochant de la flexure saharienne c'est à dire des zones où les eaux circulent dans le Mio-Pliocène reposant sur les terrains cénomaniens.

- Entre le pont de Laghouat et la cluse du Rocher des Chiens - Kef Séridja, les eaux circulent dans différentes formations (Albiennes, Cénomaniennes, Turoniennes, alluvions quaternaires et mio-pliocènes); nous donnerons à ce sujet plus de détails dans le chapitre intitulé "Relations hydrogéologiques entre les alluvions et le substratum".

- au Bled El Fetha: nous avons constaté des variations de la résistivité des eaux liées probablement aux fluctuations relativement importantes de la nappe. Chimiquement aucune variation n'a pu être décelée, probablement par manque d'analyses.

. En rive droite de la vallée, de fortes résistivités (1 000 Ω cm) ont été décelées; différentes possibilités ont été évoquées lors de la description de celles-ci.

- A l'Est du Bled El Fetha, la zone de faible résistivité des eaux (400 Ω cm en moyenne) peut s'expliquer par le rôle que peut jouer le niveau A, décrit dans son ensemble, comme un sable fin légèrement argileux.

- Dans la partie comprise entre Erg Rharbi et Bled Slisla : les eaux sont moins chargées et les épaisseurs des alluvions sont plus importantes (20 à 30 m). Ces résistivités reflètent probablement l'importance des alluvions dans lesquelles circulent ces eaux, mais des relations avec le substratum ne sont pas impossibles.

- Au Bled Slisla : dans cette zone, en rive droite de la vallée, nous avons montré que les eaux sont caractérisées par des résistivités de 600 Ω cm et un faciès chimique sulfaté et chloruré calcique et magnésien. Ces eaux appartiennent au niveau gréseux rougeâtre (noté H) mis en évidence, précédemment.

- Partie de la vallée à l'Est de Taouennza - Er Reg : les eaux de cette zone contrastent avec celles du reste de la vallée par leurs résistivités généralement faibles, et chimiquement par l'importance relative des chlorures et du sodium dissous. Ces résistivités importantes peuvent s'expliquer:
. par un substratum salé, noté (G), qui remonte progressivement et forme un seuil dont l'influence est certaine;
. par l'évaporation dans cette zone, favorisée par le fait que la nappe est proche du sol (2 à 3 m). Les tâches de sel, blanchâtres trouvées dans les niveaux superficiels des alluvions confirment le rôle de l'évaporation;
. par la composition chimique des alluvions superficielles, très riches en éléments chlorurés sulfatés, magnésiens et sodiques. Ainsi, les eaux d'infiltrations (des crues essentiellement), peuvent se charger en sels minéraux;
. par l'alimentation de la nappe à partir des formations mio-pliocènes formant les deux rives de cette zone.

- Entre Er Reg et Ksar Hirane (en rive droite): nous avons déjà signalé de faibles (48/479, 25/479, 61/479 et 166/479) et de fortes (54/479) résistivités se traduisant chimiquement par des types d'eau différents. Pour les eaux sodiques, nous avons suggéré des relations possibles avec le substratum (niveau G) et/ou avec certains niveaux mio-pliocènes, en rive gauche, mais l'hypothèse de la présence d'argiles, formulée au chapitre III, pourrait expliquer la présence de ces faciès et des faibles résistivités.

- Bordure sud de la vallée de l'oued M'Zi: nous avons mis en évidence, précédemment, en rive droite de fortes résistivités des eaux, pouvant dépasser 1 000 Ω cm. Cela se traduit chimiquement par l'existence de faciès:
. sulfatés calciques et magnésiens au Bled El Fetha et au sondage P_{10}/478;
. sulfatés sodiques, magnésiens et calciques au puits 6/478 où durant l'année des variations de faciès chimiques sont apparues et des eaux très peu chargées (1 800 Ω cm) ont été observées fin Juin;
. bicarbonatés, chlorurés, sulfatés calciques au puits 54/479 (en Er Reg et Ksar Hirane);
. sulfatés calciques à l'embouchure de l'oued Kilane.

La question des relations, qui existent entre toutes ces zones se pose. Vu la lithologie des terrains mio-pliocènes, nous pensons qu'hydrogéologiquement des relations peuvent exister, entre tous ces différents types d'eau de faibles minéralisations. Compte-tenu de la longueur de la vallée, il est très peu probable que ces eaux appartiennent à un même niveau mio-pliocène, comme semble l'indiquer la répartition des différents faciès chimiques rencontrés. Ces faciès sont en effet plus ou moins liés à la lithologiede détail des terrains mio-pliocènes qui les contiennent. Nous formulons, en particulier, l'hypothèse qu'il existe des eaux superficielles, peu chargées en sels dissous, ne se mélangeant pas ou peu avec des eaux relativement plus chargées et plus profondes. Ces eaux peu chargées ont probablement pour origine, pour leur plus grande part les pluies torrentielles. Cette explication n'est point en contradiction avec les observations faites, le long de cette zone, où durant les fortes pluies nous avons noté de petites crues des oueds le long de la vallée principale en rive gauche. Les eaux des pluies qui s'infiltrent dans ces zones mio-pliocènes, sont alors surement responsables des faibles minéralisations de ces eaux.

V-7 - TENEURS EN OXYGÈNE 18 ET EN TRITIUM DES EAUX

L'utilisation des isotopes en hydrogéologie est de plus en plus importante. L'interprétation de leur répartition permet une meilleure compréhension des écoulements (âges, mélanges, sens d'écoulement, etc.). Les isotopes utilisés sont nombreux; notre choix s'est porté sur les mesures des teneurs en oxygène 18 et en tritium.

V.7.1. TRACAGE ET UNITE DE MESURE DU TRITIUM

Le tritium est un élément radio-actif de période T = 12,26 ans. Il résulte de l'action de la composante neutronique du rayonnement cosmique sur les constituants gazeux de l'atmosphère ($^{14}N + n \longrightarrow {}^{3}H + {}^{12}_{2}C$). Il existe à l'état naturel sous forme de trace dans l'atmosphère (5 à 20 U.T. avant 1952). L'unité tritium (U.T.) correspond à une teneur d'un atome de tritium pour 10^{18} atomes d'hydrogène. Depuis 1952, les essais thermonucléaires ont contribué à un enrichissement considérable de l'atmosphère en tritium artificiel se traduisant par 1 marquage des précipitations pouvant atteindre plusieurs centaines U.T.. Un maximum est observé en 1963, 6 000 à 10 000 U.T., avec une décroissance progressive jusqu'en 1975-1976 ou la teneur en tritium, dans les précipitations, s'est stabilisée autour de 100 U.T., pour l'hémisphère nord, et de 50 U.T. pour l'hémisphère sud.

V.7.2. TRACAGE ET UNITE DE MESURE DE L'OXYGENE 18

Les molécules d'eau contenant l'oxygène 18 sont plus lourdes que celles contenant l'oxygène 16. On conçoit aisément qu'un fractionnement isotopique survient lors du passage de la phase liquide à la phase gazeuse, où la vapeur d'eau, s'élevant au-dessus du réservoir qui lui a donné naissance, s'appauvrit en isotopes lourds. On est alors amené à étudier le rapport $R = {}^{18}_{O}/{}^{16}_{O}$.

H. GRAY (1961) a établi un rapport de référence (ou S.M.O.W. = standard mean ocean water) représentant la composition isotopique des eaux des océans.

Considérant que les océans sont les points de départ et d'aboutissement de tout cycle hydrogéologique, on est amené à comparer les eaux de pluie, de ruissellement ou souterraines à celles du réservoir d'origine. Les résultats seront exprimés en δ

$$\delta = \frac{R \text{ échantillon} - R \text{ standard}}{R \text{ standard}} \times 1\,000$$

Il est évident que le $\delta \text{‰}\,{}^{18}_{O}$ des océans est égal à zéro. Le fractionnement est fonction inverse de la température, il s'ensuit un effet de continentalité, d'altitude, de latitude et saisonnier.

V.7.3. ANALYSES ET INTERPRETATION

L'interprétation des teneurs isotopiques des eaux, nécessite la disposition de nombreux résultats d'analyses. Les données, en notre possession, sont peu nombreuses. Seuls quatre échantillons ont été analysés au Centre de Recherches Géodynamiques de THONON.

Ces analyses ont porté sur les teneurs en ^{18}O et en tritium des prélèvements des eaux (tableau n°) provenant des alluvions (puits 39/479, 40/479, 274/479) et du mio-pliocène (274/479).

Localité	Points d'eau	dates	Tritium (U.T.)	^{18}O	Aquifère
Mékhareg	40/479	31/8/1979	37 ± 2	- 7,41	alluvions quaternaires
	39/479	30/6/1980	59 ± 2	- 7,48	
	274/479	31/8/1979	82 ± 2	- 6,51	
Ksar Kabeg	P29/479	30/6/1980	31 ± 2	- 7,58	Mio-Pliocène

Tableau n° 27 : Teneurs en Tritium et en ^{18}O des eaux

- Interprétation des teneurs en oxygène 18 des eaux

Les teneurs en oxygène 18, voisines de celles mesurées sur les eaux de la nappe albienne (R. GONFIANTINI, G. CONRAD, J. Ch. FONTES, G. SAUZAY et B.R. PAYNE, 1974 - Etude isotopique de la nappe du continental intercalaire et ses relations avec les autres nappes du Sahara septentrional),

confirment l'importance de la contribution de cette nappe, à l'alimentation en eau souterraine de la plaine de Mekhareg. Il est toutefois probable que des apports d'eau transitant dans l'oued ou au travers des formations mio-pliocènes, et provenant de zones un peu moins hautes que celles qui alimentent la nappe albienne, viennent se mélanger avec les eaux provenant de la nappe albienne.

En ce qui concerne la valeur $\delta\,‰ = -6,5$ observée à Ksar Kabeg, il est vraisemblable qu'elle correspond soit à des précipitations à des altitudes plus basses que celles des précipitations qui alimentent la nappe albienne, soit à des eaux relativement superficielles précipitées en période plus chaude, soit enfin à des eaux comparables à l'origine aux autres eaux, mais ayant subi une légère évaporation avant ou après l'infiltration. Il n'est pas possible de trancher définitivement entre ces trois hypothèses au seul vu des résultats d'analyses des teneurs en oxygène 18, mais l'étude des teneurs en tritium devrait permettre de mieux comprendre l'origine de ces eaux.

- Interprétation des teneurs en tritium des eaux

En ce qui concerne les teneurs en tritium des eaux, on constate que l'échantillon (274/479) qui présente une teneur de 80 U.T. correspond bien à une eau récente, et par conséquent aux hypothèses qui résultaient de l'étude hydrochimique et de celle des teneurs en oxygène 18. La teneur faible en tritium (31 U.T.) des eaux prélevées dans le Mio-Pliocène nous semble devoir être attribuée à un mélange entre des eaux sans tritium provenant vraisemblablement de la nappe albienne avec des eaux infiltrées beaucoup plus récemment. Il semble en être de même dans la plaine de Mekhareg, mais les deux mesures réalisées montrent des teneurs en tritium différentes, ce qui peut signifier, soit que les eaux ne proviennent pas du même aquifère, soit qu'aux deux points considérés les mélanges entre eaux anciennes et eaux récentes ne sont pas dans les mêmes proportions.

En conclusion, il semble que les eaux souterraines rencontrées dans notre région d'étude proviennent pour leur grande part de mélanges entre eaux profondes et anciennes transitant dans le continental intercalaire, avec des proportions plus ou moins importantes d'eau superficielle récente, pouvant dans certains cas subir une certaines évaporation avant ou après infiltration.

V-8 - CONCLUSION

La résistivité des eaux de la vallée de l'oued M'Zi, varie entre 100 et 1 000 Ωcm, en moyenne (soit 10 g/l à 0,65). La répartition des concentrations, en sels dissous, traduite à partir des cartes de la résistivité des eaux, montre que le schéma général, dans son ensemble reste très stable.

Les résultats d'analyses chimiques ont permis de subdiviser la vallée en zones regroupant les mêmes faciès chimiques. Nous avons distingué:

- la partie de la vallée allant du pont de Laghouat à Taouennza-Er Reg, où les eaux sont nettement sulfatées calciques et magnésiennes. Les zonalités resssortant sur les cartes des résistivités des eaux ne sont pas apparentes; parmi ces zones on peut distinguer:

  . le bled El Fetha où la résistivité varie entre 400 et 1 000 Ωcm
  . la partie au Sud de El Assafia caractérisée par de fortes résistivités (800 à 1 000 Ωcm), soit 0,65 à 0,85 g/l.
  . la zone à l'Est d'El Fetha, avec ses faibles résistivités des des eaux de 400 Ωcm, soit 1, 8 g/l;
  . la zone au Nord du Dar Chaouch caractérisée par des résistivités de 600 à 700 Ωcm.

- La bande située en rive droite de la vallée entre Er-Reg et Ksar Hirane où les eaux présentent un caractère sodique bien marqué. Cette zone ressort sur les cartes de résistivité. Des variations nettes de la résistivité de 400 à 800 Ωcm (soit 1,8 g/l à 0,75 g/l) sont soulignées par des changements de l'allure des courbes d'isorésistivité.

- La partie de la vallée, au Nord de Ksar Hirane, caractérisée par un faciès sulfaté et chloruré calcique et magnésien.

Nous avons considéré ce faciès comme intermédiaire entre les faciès des eaux observés plus à l'amont et plus à l'aval. On le retrouve aussi au bled Slisla.

- Entre Ksar Hirane et le Ksar Kabeg - les eaux de cette partie la plus aval, de notre région, sont sulfatées et chlorurées, magnésiennes et sodiques. Elles sont chargées (4 à 8 g/l): 100 à 200 Ω cm).

- Toute la partie en rive droite, entre Bled El Fetha et Ksar Kabeg où de fortes résistivités ont été mises en évidence 1 000Ω cm.

Il ressort de notre étude, des relations étroites entre l'aquifère alluvial et les différents terrains (secondaires et mio-pliocènes) formant les berges et le substratum de la vallée et nous avons souligné:

. le rôle des calcaires et des dolomies turoniennes de la flexure saharienne;
. le rôle des terrains formant les côtés de la vallée;
. et le rôle du substratum, notamment au Ksar Hirane-Ksar Kabeg, dans l'hydrogéologie de la région.

Les résultats des mesures des teneurs en tritium et en oxygène 18 montrent d'ailleurs que les eaux de notre région d'étude, résultent d'un mélange en proportions plus ou moins importantes entre des eaux récentes infiltrées depuis les oueds ou lors des pluies et eaux anciennes ayant circulé lentement dans diverses formations crétacées ou mio-pliocènes.

=-=-=-=-=-=-=-=-=

CHAPITRE SIXIEME

RELATIONS HYDROGEOLOGIQUES ENTRE LES ALLUVIONS ET LEUR SUBSTRATUM

INTRODUCTION

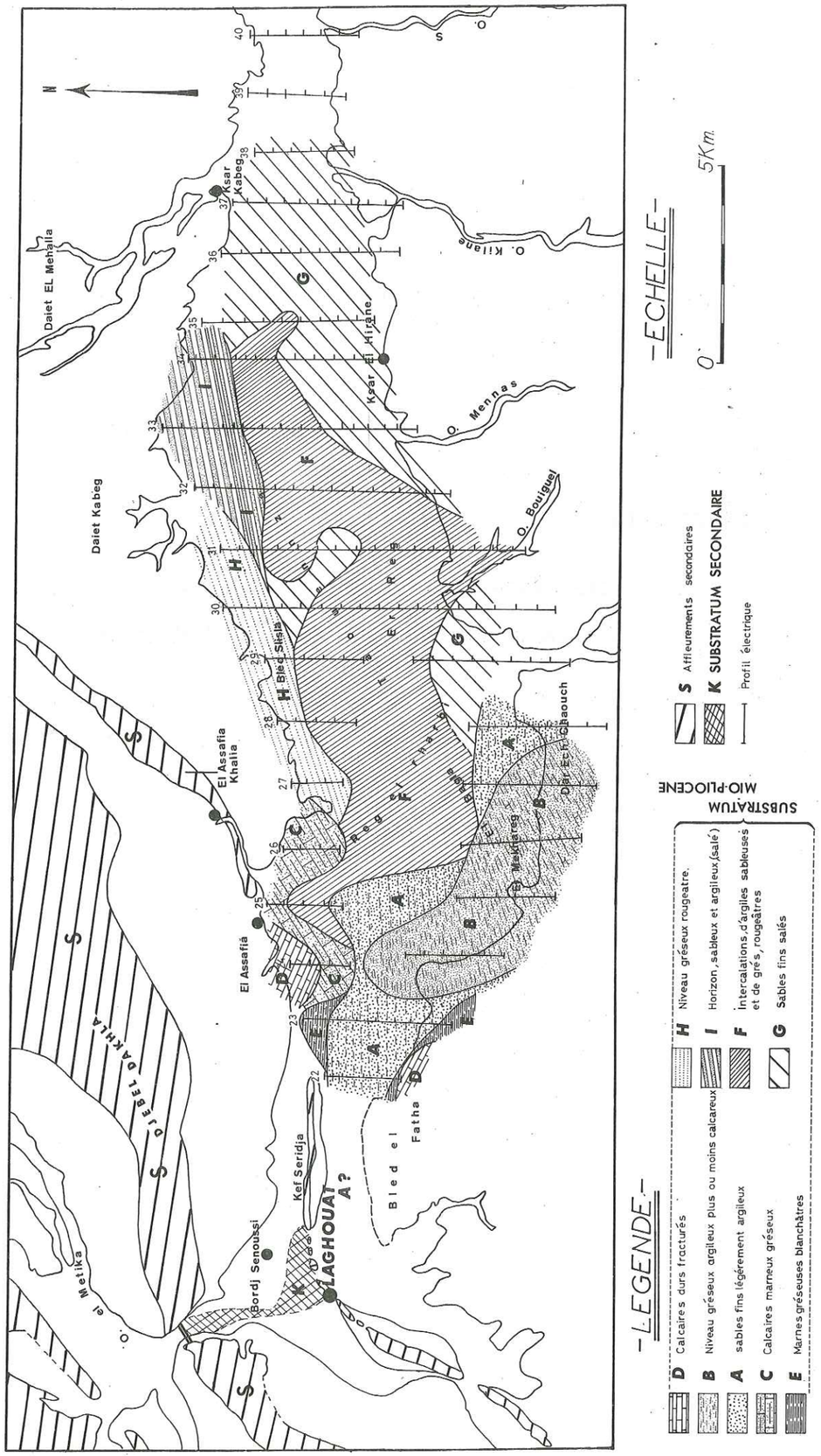
VI.1. ANALOGIES ENTRE LA RÉPARTITION DES FACIÈS GÉOLOGIQUES DU SUBSTRATUM ET CELLE DE LA RÉSISTIVITÉ DES EAUX

VI.2. CIRCULATION DES EAUX ET RELATIONS HYDROGÉOLOGIQUES ENTRE LES ALLUVIONS ET LES TERRAINS SUR LESQUELS ELLES REPOSENT

VI.3. CONCLUSION

Carte 19

Carte du substratum du remplissage alluvial



CHAPITRE SIXIEME

RELATIONS HYDROGEOLOGIQUES ENTRE LES ALLUVIONS ET LEUR SUBSTRATUM

INTRODUCTION

Les résultats obtenus à partir des différentes études du remplissage alluvial, de la piézométrie, de la chimie des eaux, ont montré des possibilités de relations hydrodynamiques très étroites entre les alluvions et les différentes formations secondaires et tertiaires, sur lesquelles elles reposent. A partir de la synthèse de tous ces résultats, nous nous proposons de préciser dans la mesure du possible ces relations hydrogéologiques et d'établir le schéma de circulation des eaux de notre région.

VI.1. ANALOGIES ENTRE LA RÉPARTITION DES FACIÈS GÉOLOGIQUES DU SUBSTRATUM ET CELLE DE LA RÉSISTIVITÉ DES EAUX

A partir des coupes géologiques réalisées le long de la vallée du M'Zi (Chapitre étude du remplissage alluvial), nous avons établi une carte du substratum permettant de mieux visualiser la répartition lithologique des différents terrains qui le composent (carte n°19). Cependant, nous avons vu qu'il existe des incertitudes dans le domaine atlasique, au bled El Fetha, entre Mékhareg et Ksar Hirane, et sur une bonne partie de la zone comprise entre Ksar Hirane et Ksar Kabeg. Afin de mieux comprendre les relations entre les alluvions et les autres terrains, nous avons tenu compte de l'extension, en profondeur de l'aquifère alluvial saturé en eau.

La comparaison de la répartition de la résistivité des eaux et de la répartition des différents terrains du substratum mis en évidence, fait apparaître certaines similitudes traduisant l'influence, ou les relations

hydrogéologiques entre les alluvions et les formations sur lesquelles elles reposent, dont les possibilités aquifères sont liées à la lithologie.

. Entre le pont de Laghouat et la cluse du Kef Séridja - Rocher des Chiens: des incertitudes subsistent quant à la connaissance des alluvions, et de leurs épaisseurs, et aussi de l'extension des différents terrains (secondaires et peut-être mio-pliocènes) formant le substratum. Néanmoins, d'après la lithologie de tous ces terrains (des alluvions et du substratum), il est logique de penser que des relations hydrologiques existent entre eux. Parmi les terrains du substratum, favorables à ces échanges, nous distinguons le Turonien et l'Albien essentiellement.

Dans cette zone, les résistivités des eaux varient entre 300 et 1 000 Ω cm.

De part et d'autre de la vallée, nous avons rencontré des eaux à forte résistivité caractérisant les niveaux albiens gréseux. Au niveau des alluvions, les faibles résistivités des eaux rencontrées peuvent s'expliquer par la présence d'argile et/ou par l'influence des terrains cénomaniens.

Vis à vis des terrains du substratum, la répartition de la résistivité des eaux ne laisse apparaître aucune similitude, et toute interprétation nous paraît impossible, et ceci pour plusieurs causes;

- mauvaise connaissance de la répartition des terrains du substratum et du remplissage alluvial;
- mais aussi, étroitesse de la vallée qui constitue une zone d'échanges (comme le laisse apparaître les écoulements sur les cartes piézométriques)

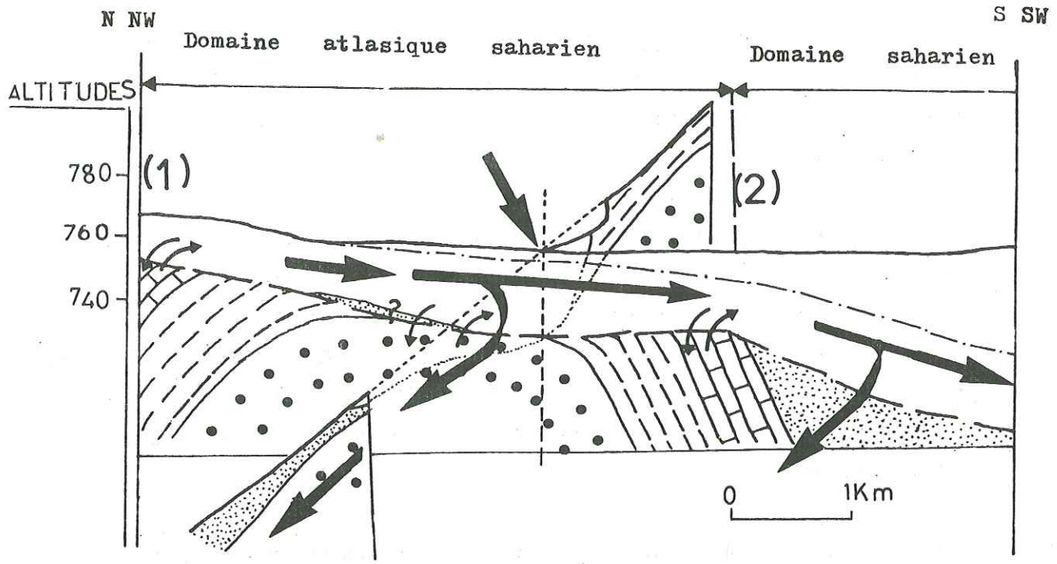
. Le Bled El Fetha, constitue aussi une zone où les alluvions sont mal connues tant lithologiquement qu'en épaisseur; le substratum sur lequel elles reposent n'a pas été atteint par forage; par corrélation avec la partie de la vallée qui se situe à l'Est de cette zone, nous pensons qu'il s'agit de l'équivalent du niveau à sables fins légèrement argileux, noté A. Quant aux résistivités des eaux dans les alluvions, elles ne sont connues qu'au sondage P7; ailleurs elles n'ont pas pu être mesurées, et ce par l'inexistance d'autres points d'eau.

. Nord de la vallée, en rive gauche entre Mékhareg et Ksar-Kabeg: les valeurs de la résistivité des eaux comprises entre 600 et 800 Ωcm, caractérisent respectivement, les niveaux notés H (gréseux rougeâtres) et I (sableux et argileux salés).

. Entre El Fetha et Ksar Hirane: les faciès lithologiques du substratum sont nombreux; la répartition de la résistivité des eaux ne reflète pas tout à fait celle des terrains du substratum. Les faibles résistivités (500 Ωcm) seraient liées à la présence du niveau des sables fins légèrement argileux et les fortes résistivités (700 à 800 Ωcm) caractériseraient le milieu aquifère alluvial assez développé en épaisseur de la plaine de Mékhareg-Reg Rharbi.

. Vers l'aval, à partir de Ksar Hirane, le substratum très proche de la surface du sol est formé de niveaux de sables fins salés (noté G). Le substratum formé par ce niveau correspond d'une manière générale aux zones de faibles résistivités des eaux (100 à 200 Ω cm); il serait alors logique de penser qu'elles sont dues pour une grande part à la présence de ce niveau G.

. En résumé, malgré des lacunes quant à la connaissance des terrains qui forment le substratum, notamment entre le pont de Laghouat et la cluse de Kef Séridja - Rocher des Chiens et la zone d'El Fetha, nous avons montré l'existence de certaines relations hydrologiques entre tous les terrains aquifères. D'ailleurs les similitudes éxistant entre la répartition de la résistivité des eaux des alluvions et celle de certains terrains du substratum, laisse apparaître des relations hydrodynamiques entre eux: nous citerons à ce sujet la zone la plus à l'aval de notre secteur d'étude.



- LEGENDE -

(1) -Cluse du pont de Laghouat;
(2) -Cluse du Kef Seridja;
-Alluvions quaternaires;
-Mio-Pliocène;
-Turonien;
-Cénomanien;
-Albien;
-Echanges possibles entre les alluvions et le substratum (alimentations et drainances).
-Sens principaux des écoulements superficiels;
-Niveau piézométrique.

Figure n° 45 : Schéma hydrogéologique visualisant les écoulements de la zone atlasique se situant entre la cluse du pont de Laghouat et la cluse du Kef Seridja - Rocher des Chiens. (Domaine atlasique saharien).

VI.2. CIRCULATION DES EAUX ET RELATIONS HYDROGÉOLOGIQUES ENTRE LES ALLUVIONS ET LES TERRAINS SUR LESQUELS ELLES REPOSENT

D'après les résultats des études faites le long de la vallée de l'oued M'Zi, nous allons établir le schéma de circulation des eaux de notre région et poser les problèmes qui restent en suspens, que nous n'avons pas pu résoudre.

. Entre le pont de Laghouat et la cluse du Kef Séridja - Rocher des Chiens (figure n°45): à ce niveau, la vallée de l'oued M'Zi est large de 500 m au maximum, elle traverse une zone anticlinale formée par des terrains secondaires (turoniens, cénomaniens, albiens) et probablement mio-pliocènes que l'on n'a pas pu mettre en évidence par la géophysique, et ce par manque de contraste de résistivité avec les alluvions. Vu les affleurements rencontrés de part et d'autre de la vallée, en surface et à faible profondeur, il apparaît, dans ce secteur du domaine atlasique que les alluvions reposent en grande partie sur des terrains du Cénomanien et de l'Albien, formant le coeur de l'anticlinal. D'autres incertitudes subsistent notamment au sujet de la profondeur du substratum estimée par géophysique qui n'a pas pu être vérifiée par forage.

Malgrè ces lacunes, il semblerait que le schéma hydrogéologique soit le suivant:

. Au niveau du pont de Laghouat, les eaux souterraines correspondent à celles venant des zones situées plus à l'amont, et circulant dans les alluvions mais aussi à une alimentation par les calcaires et dolomies turoniennes, que l'existence d'écoulements permanents en surface tout au long de l'année semble confirmer. Il n'est pas exclus non plus que ces calcaires et dolomies jouent un rôle de drainance. Les écoulements de surface et souterrains (dans les alluvions), sont estimés à 20 l/s au niveau du pont. La circulation des eaux entre le pont de Laghouat et la cluse du Kef Séridja - Rocher des Chiens se fait d'une manière générale

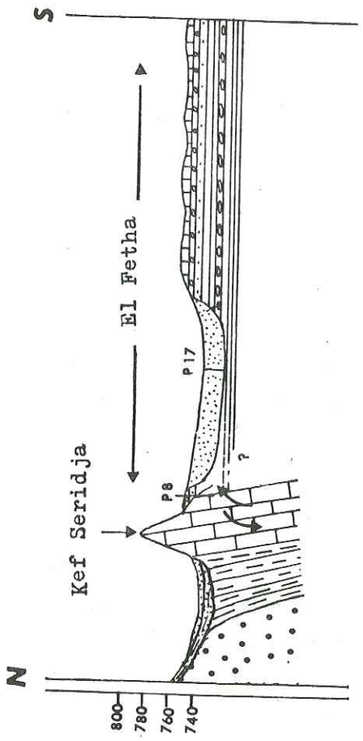


Figure n°46 : Schéma hydrogéologique visualisant les écoulements de la zone d'El Fetha (domaine saharien).

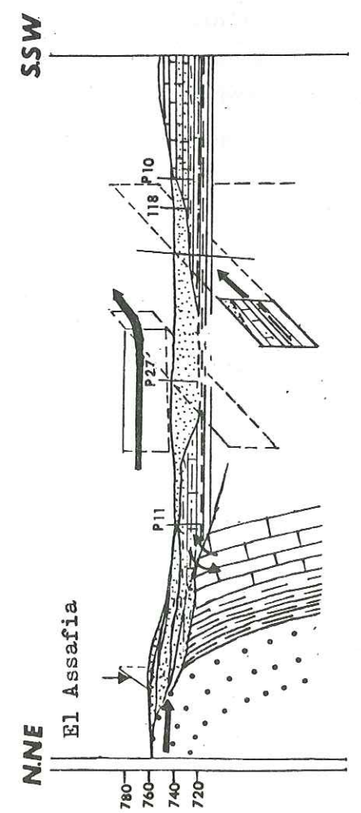


Figure n°47 : Schéma hydrogéologique visualisant les écoulements de la zone se situant à l'Est d'El Fetha (domaine saharien).

- ECHELLE -

100 m — 0 — 1 Km

- LEGENDE -

ALLUVIONS Q IV
MIO-PLIOCENE
TURONIEN
CENOMANIEN
ALBIEN

- Sens principaux des écoulements;
- Echanges hydrogéologiques possibles entre les différentes formations géologiques.

suivant le sens de la vallée (du NW vers le SE). Une partie des eaux s'écoule vers le SW suivant l'axe anticlinal, vers une zone où les dépôts mio-pliocènes sont plus importants en épaisseur. L'autre partie des eaux franchit la cluse se situant près de Laghouat, pour alimenter la zone d'El-Fetha. Notons aussi les rôles probables d'alimentation et de drainance que peuvent jouer les calcaires et les dolomies turoniennes de la flexure. Il apparaît donc dans ce secteur du domaine atlasique étudié, que les alluvions reposent en grande partie sur des terrains cénomaniens, et vraisemblablement sur de l'Albien formant le coeur de l'anticlinal de cette zone. Suivant la lithologie de ces ensembles géologiques, et donc leurs perméabilités ou leurs imperméabilités, des relations hydrogéologiques (drainances et alimentations) sont possibles entre les alluvions et les parties de ce substratum formées du Turonien (calcaires et dolomies) et de l'Albien (grès). En ce qui concerne les relations par les bords de la vallée, elles sont prouvées par les écoulements, en rive droite de l'Albien, vers les alluvions.

. Le Bled El-Fetha: (figure n°46) constitue la zone la plus mal connue de notre secteur d'étude. Les épaisseurs des alluvions que l'on a interprétées comme grossières, (graviers en général) ne sont pas connues. Le substratum, des alluvions de cette zone, est supposé formé de sables fin légèrement argileux, correspondant au niveau noté A. En ce qui concerne les bordures de la vallée, elles sont formées par du Mio-Pliocène représenté par des sables, graviers, argiles et calcaires (forages F_2, P_8 et P_9). Compte-tenu de la lithologie des terrains mio-pliocènes et des alluvions qu'ils supportent, des échanges hydrogéologiques, entre eux, sont quasi certains. D'ailleurs, nous avons remarqué à ce sujet, lors des crues, que des variations piézométriques pouvaient avoir lieu dans les alluvions et le mio-pliocène (fait confirmé oralement par les paysans) du moins pour la partie d'El-Fetha la plus à l'Ouest, où nous avons des puits d'observation . Les écoulements dans cette zone d'El Fetha se font de l'Ouest vers l'Est avec une particularité au niveau de la cluse se situant près de Laghouat, où une partie des eaux s'écoule vers le SW. Dans cette zone nous avons mis en évidence des fluctuations importantes expliquées vraisemblablement par les relations existant lors des crues entre les alluvions et le Mio-Pliocène, et/ou les calcaires et dolomies turoniennes.

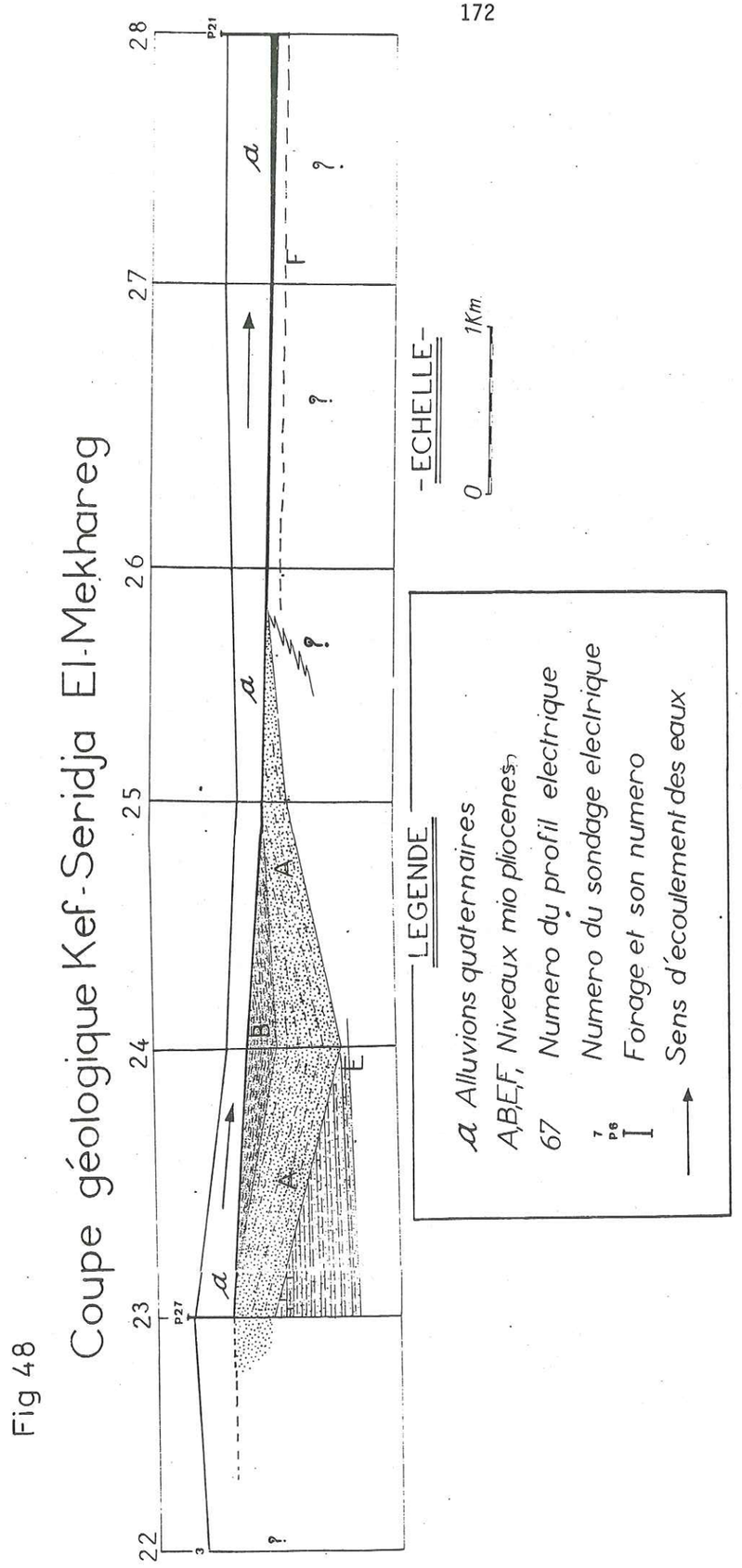


Fig 48

. A l'Est d'El Fetha: (figures 47,48) les alluvions en profondeur ont une extension moindre qu'en surface; elles reposent essentiellement sur du Mio-Pliocène représenté par les niveaux notés A et B respectivement formés par des sables fins légèrement argileux, et des niveaux gréseux argileux plus ou moins calcareux. D'après la lithologie de ces terrains, des relations hydrogéologiques sont certaines avec les alluvions. A ce sujet, cette zone bénéficie de deux alimentations d'une part par le Nord, sur tout le front situé entre le Kef-Séridja et El Assafia, et d'autre part par la zone d'El Fetha. L'alimentation par le Nord concerne les eaux s'écoulant depuis les niveaux albiens gréseux, mais aussi celles pouvant provenir des calcaires et dolomies turoniennes et/ou celles du Mio-Pliocène. Nous avons à ce sujet insisté sur le rôle hydrologique de cette zone (chapitres Piézométrie et Chimie des eaux), l'alimentation par la zone d'El Fetha se fait essentiellement à partir des niveaux mio-pliocènes (sondage P10).

Les niveaux notés A et B reposent sur des marnes gréseuses blanchâtres (notées E), qui au niveau de cette zone forment vraisemblablement le substratum hydrogéologique proprement dit. Son extension au niveau de la vallée, semble se limiter à la partie ouest de la plaine de Mékhareg et du Reg Rharbi (profil électrique n° 24), car on ne l'a pas rencontré au sondage P_{29}.
Deux explications sont possibles:
. soit que cette formation ait été érodée à l'emplacement de la vallée;
. soit qu'il y ait passage latéral de faciès.

. Dans la partie de la vallée comprise entre Reg Rharbi - El Mékhareg et Ksar Kabeg (figures 48,49) les alluvions saturées d'eau sont relativement plus étendues (4 km). Leur substratum est essentiellement formé par des niveaux mio-pliocènes notés F (intercalations d'argiles sableuses et de grès rougeâtres) et G (sables fins salés). Les possibilités de relations hydrogéologiques sont liées à la lithologie de ces terrains; il apparaît à cet effet, pour les parties du substratum alluvial formé par les niveaux notés G des relations hydrodynamiques certaines. Pour les zones où le substratum du remplissage alluvial est formé par les niveaux notés F, des problèmes se posent au niveau de la plaine de Mékhareg et de Reg Rharbi où le substratum a été décrit comme formé d'argiles dans le rapport de I. KOSSEV (1975, alimentation en eau potable de la ville de Laghouat:

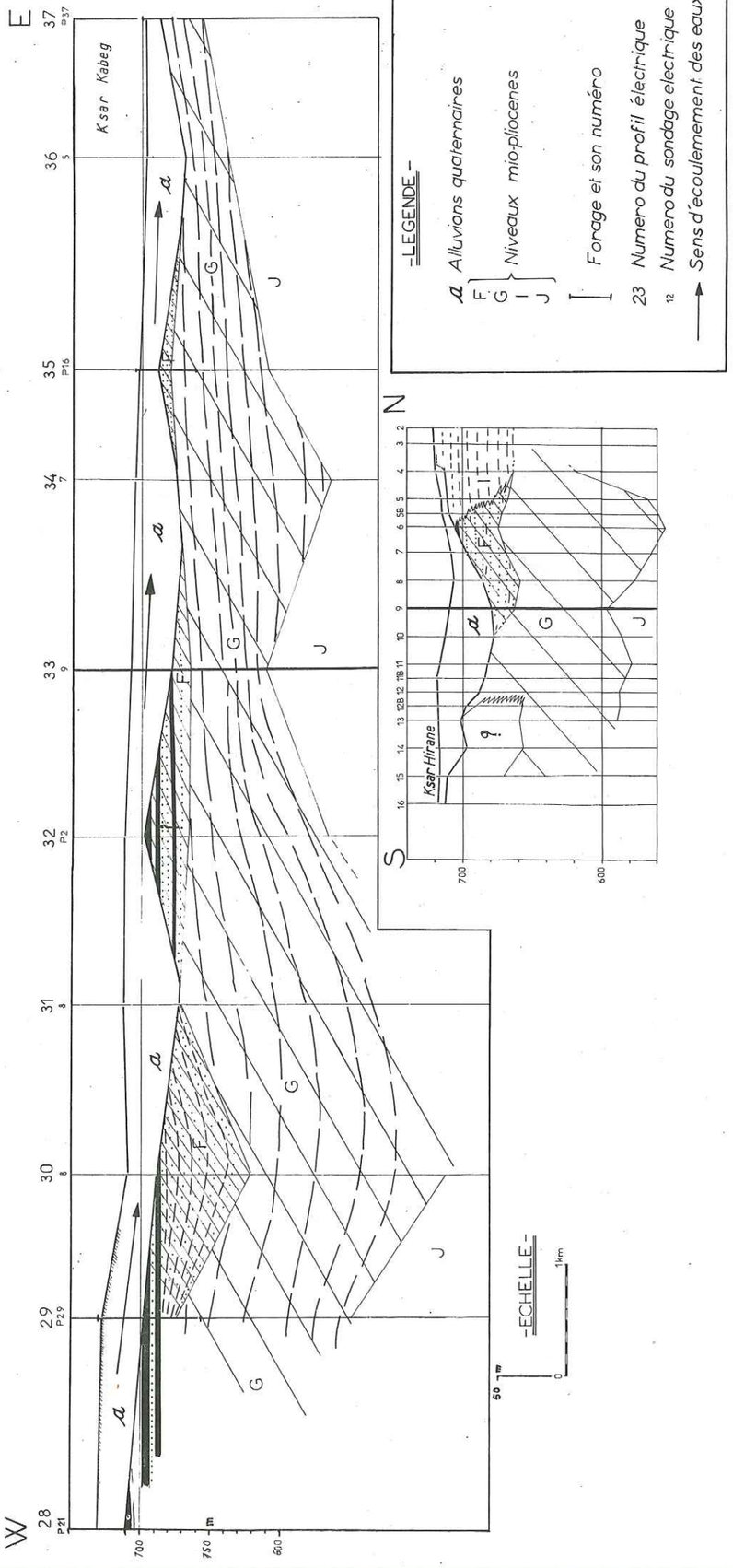


Fig 49

Coupe géologique: El Mekhareg - Ksar Kabeg

Etude hydrogéologique sur les possibilités de l'alimentation en eau de la ville). Nous avons effectivement rencontré toutes ces argiles "tapissant" le substratum des alluvions aux forages P_{29}, P_{21} et P'_{16}. A ce sujet, deux possibilités s'offrent à nous; ces argiles peuvent correspondre à des niveaux différents comme le montre l'alternance d'argiles sableuses et de grès rougeâtres du niveau F (sondage P_{29}). Dans ce cas, des relations hydrodynamiques sont possibles avec les alluvions . Mais, dans le cas où ces argiles formeraient un horizon continu, les échanges entre le remplissage alluvial et le substratum seraient inexistants, et alors la partie de la vallée, plaine de Mékhareg - Er Rharbi, constituerait la seule zone où il n'y aurait pas d'échange substratum - alluvions.

En ce qui concerne les écoulements dans cette zone de la vallée (entre la plaine de Mékhareg - Reg Rharbi et le Ksar Kabeg) ils se font d' Ouest en Est. Les alimentations ou échanges ne sont pas apparents sur les cartes piézométriques (sauf au niveau de l'oued Kilane), peut-être par manque de points de mesure ou bien parce que les sens des écoulements sont les mêmes dans les alluvions et dans le Mio-Pliocène, ce qui serait très probable. Néanmoins, la lithologie des terrains qui forment les côtés de la vallée, notamment les niveaux notés H (gréseux rougeâtres), I (sableux argileux rougeâtres), B (gréseux argileux plus ou moins calcareux), A (sables fins légèrement argileux) et les terrains rencontrés au forage de Ksar Hirane (gréseux généralement) montre qu'hydrogéologiquement des liens peuvent exister entre les formations mio-pliocènes et les alluvions.

. En résumé : il apparaît que la vallée correspond à l'emplacement d'un creusement fluviatile où se sont accumulés des dépôts fluviaux et éoliens qui reposent sur des formations secondaires du domaine atlasique et mio-pliocènes du domaine saharien. Hydrogéologiquement, on ne saurait différencier l'aquifère alluvial de ceux sur lesquels il repose et avec lesquels il est en relation, surtout dans le domaine saharien (avec le Mio-Pliocène); cela veut dire que l'on peut considérer l'aquifère alluvial comme partie intégrante de la grande nappe mio-pliocène de cette partie nord du Sahara.

VI.3. CONCLUSION

La vallée de l'oued M'Zi correspond à l'emplacement d'une gouttière où se sont accumulés des dépôts fluvio-éoliens et fluviatils. Contrairement à ce qui a toujours été admis des relations hydrogéologiques très étroites existent entre les alluvions et les terrains sur lesquels elles reposent. Ces relations sont favorisées par la lithologie des terrains qui composent le substratum, qui sont représentés dans le domaine atlasique par les calcaires et dolomies turoniennes, et l'Albien gréseux, et dans le domaine saharien, par des niveaux souvent sableux, argilo-sableux et gréseux. Dans la partie saharienne de notre région, vu les relations étroites existant entre les alluvions et le Mio-Pliocène, ces deux aquifères contiennent une même nappe caractéristique dans cette partie de l'extrême nord du Sahara.

==========

CHAPITRE SEPTIEME

DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES ET DIFFICULTES DE REALISATION D'UN BILAN HYDROGEOLOGIQUE

INTRODUCTION

VII.1. DÉFINITION DES CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

VII.2. DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES PAR ESSAI DE POMPAGE

- VII.2.1. METHODE DE THEIS
- VII.2.2. METHODE DE JACOB
- VII.2.3. METHODE DE LA REMONTEE DE THEIS
- VII.2.4. METHODE DE CHOW (1952)

VII.3. DÉTERMINATION DE LA POROSITÉ UTILE PAR LA MÉTHODE D'ARCHIE

VII.4. DISCUSSION DES VALEURS DE T ET DE S

VII.5. MESURE DE LA VITESSE D'INFILTRATION

- VII.5.1. DISCUSSIONS ET VALEURS DES PERMEABILITES VERTICALES

VII.6. ESTIMATION ET PROBLEME D'ETABLISSEMENT D'UN BILAN

VII.7. CONCLUSION

INTRODUCTION

Les principales caractéristiques étudiées au cours de cette étude se résument à la transmissivité, au coefficient d'emmagasinement et à la perméabilité verticale. Elles sont importantes dans l'étude quantitative des eaux souterraines. Au cours de cette étude, nous préciserons la valeur exacte à accorder à toutes ces caractéristiques.

VII.1. DÉFINITION DES CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

-Le coefficient d'emmagasinement S est égal au volume d'eau libéré par un prisme vertical de terrain aquifère, pour un abaissement unitaire du niveau piézométrique de la nappe. C'est un nombre sans dimension. Dans les zones captives d'une nappe, il reste lié à l'élasticité de la roche et de l'eau; dans les nappes libres, il équivaut en pratique à la porosité efficace de l'aquifère (l'élasticité de la roche et de l'eau étant négligeable).

-La transmissivité est le produit du coefficient de perméabilité par l'épaisseur de l'horizon aquifère; il s'exprime en m^2/s.

-La perméabilité verticale ou vitesse d'infiltration exprime le débit pouvant être recueilli par unité de surface d'un sol, sous un gradient hydraulique égal à 1. Elle s'exprime en m/s.

VII.2. DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES PAR ESSAIS DE POMPAGE

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour le calcul de T et de S.

VII.2.1. METHODE DE THEIS

Les formules de DUPUIT existant avant celle de THEIS ne tiennent pas compte de la compressibilité de l'eau et du temps de pompage, et de plus à débit constant, même avec un temps long, le rayon d'action tend seulement vers une limite, ou régime de pseudo-équilibre.. Il faudrait, au moins dans le cas d'une nappe captive, trouver une autre formulation, tenant compte du temps de pompage et de la compressibilité de l'eau. THEIS en 1935 fut le premier à développer les formules en régime de non équilibre, en comparant en milieu isotrope et en régime de non équilibre l'écoulement des eaux souterraines à la propagation de la chaleur; il aboutit à l'expression suivante:

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} \qquad \int_u^{\infty} \frac{e^{-y}\,dy}{y} \qquad \frac{Q}{4\pi T} = W(u)$$

avec $u = \dfrac{r^2 S}{4.T.t.}$

Δ = rabattement en m

Q = débit constant de pompage en m^3/s

t = temps écoulé depuis le début du pompage en seconde

r = distance (en m) du puits d'observation à l'axe du puits de pompage

T = transmissivité en m^2/s

S = coefficient d'emmagasinement

Mode opératoire: La résolution graphique nécessite l'établissement de deux courbes. Elles sont obtenues en reportant séparément sur feuilles de papier bilogarithmique de même module.

W (u) en ordonnées et u en abcisses pour la courbe standard de THEIS

Δ en ordonnées et t/r^2 en abcisses pour la courbe expérimentale.

En maintenant, les axes des coordonnnées respectivement parallèles, on cherchera la meilleure coïncidence possible entre les deux courbes. Il ne reste plus qu'à choisir un point arbitraire, ou point pivot (qui n'est pas nécessairement sur la courbe). A ce point vont correspondre des valeurs W (u), $\frac{1}{u}$, Δ , et $\frac{t}{r^2}$.

En introduisant ces valeurs dans l'équation expotentielle intégrale de THEIS , on obtient:

$$T = \frac{Q.\,W(u)}{4.\pi.\Delta} \quad \text{et} \quad S = 4\,\frac{T\,(t)\,u}{r^2}$$

REMARQUE:

Cette équation de THEIS s'applique normalement aux puits artésiens, mais aussi aux nappes libres quand le rabattement est faible, ce qui est le cas de nos essais de pompage. Lors d'un essai de pompage, nous savons que les rabattements mesurés sont résiduels, et il faudra tenir compte du rabattement dû aux pertes de charges au niveau du puits. Mais dans le cas de nos essais, les débits de pompage sont faibles,(ils varient de 61/s à 201/s), ce qui permet d'assimiler le rabattement résiduel au rabattement réel de la nappe.

VII.2.2. METHODE DE JACOB

Cette méthode découle de l'équation de THEIS, mais les conditions d'application sont plus restrictives. Lorsque le temps est suffisamment grand et par simplification le développement en série convergeante de l'équation de THEIS se réduit à la formule de JACOB qui s'écrit:

$$\Delta = \frac{0{,}183\,Q}{T} \cdot \log \frac{2{,}25\,Tt}{r^2\,S}$$

Mode opératoire: Si l'on porte les rabattements en fonction du logarithme du temps, théoriquement, on devrait trouver une droite moyenne (matérialisée par l'alignement des points portés sur le graphe) de la forme $y = ax + b$ avec $a = \frac{0{,}183\,Q}{T}$ représentant la pente du rabattement pour un cycle logarithmique; T est égal alors à $\frac{0{,}183\,Q}{a}$. La droite tracée coupe l'axe des abcisses en un point t_o où le rabattement $\Delta = 0$; on obtient alors l'égalité suivante:

$$0 = \frac{0{,}183\,Q}{T} \log \frac{2{,}25\,Tt^{\circ}}{r^2\,S} \Rightarrow \frac{2{,}25\,Tt_o}{r^2\,S} = 1$$

Le coefficient d'emmagasinement cherché est $S = \dfrac{2{,}25\,T.t_o}{r^2}$

VII.2.3. METHODE DE LA REMONTEE DE THEIS

A l'arrêt du pompage, le niveau d'eau cesse de descendre pour remonter à son niveau d'origine. A un moment quelconque t", depuis le début de cette remontée, le rabattement par rapport au niveau d'origine s'appelle rabattement résiduel. Cette remontée présente l'avantage que le débit Q est constant et représente une moyenne entre les débits de pompage. Cette méthode permet seulement le calcul de la transmissivité et la vérification de la valeur trouvée lors de la descente.

Le rabattement résiduel s'exprime alors:

$$\Delta'' = \Delta - \Delta' = \frac{0,183\ Q}{T}\left[\log \frac{2,25\ T.t.}{r^2\ S_1} - \log \frac{2,25\ T\ t'}{r^2\ S_2}\right]$$

En admettant que $S_1 = S_2$, ce qui serait logique, on a:

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

Δ = rabattement à la fin de pompage

Δ' = rabattement durant la remontée par rapport au niveau piézométrique d'origine

t = temps depuis le début du pompage

t' = temps depuis l'arrêt du pompage

Mode opératoire: Sur une feuille semi-logarithmique seront reportés en ordonnées les rabattements résiduels et en abscisse t/t'. Les différents points du graphe devraient se situer sur une droite. Pour un cycle logarithmique, la pente de la droite a est égale à $\frac{0,183\ Q}{T}$ d'où $T = \frac{0,183\ Q}{a}$

VII.2.4. METHODE DE CHOW (1952)

CHOW développa une méthode rapide, présentant l'intérêt pratique de ne pas se limiter aux petites valeurs de r et aux grandes valeurs de t, et de ne pas tracer la courbe standard de THEIS. CHOW a introduit la fonction $F(u) = \frac{W(u)\ e^u}{2,3}$ permettant de trouver les valeurs de W (u) et de u correspondant au rabattement Δ à un temps donné t.

Mode opératoire : Sur papier semi-logarithmique, on reportera en abscisses t (en échelle logarithmique) et en ordonnées les rabattements. On choisira un point quelconque A, sur la courbe passant par l'ensemble de ces points, à laquelle sera menée une tangente. A ce point A vont correspondre un rabattement Δ_A, un temps t_A et la pente CA de la droite, pour un cycle logarithmique. A partir de l'abaque de CHOW, et de $F(u) = \frac{\Delta_A}{CA}$ seront déduites les valeurs $W(u)_A$ et u_A. La transmissivité T et le coefficient d'emmagasinement s'expriment:

$$T = \frac{Q}{4\pi\Delta_A} W(u)_A \quad \text{et} \quad S = \frac{4.U_A.T.}{r^2} \cdot t_A$$

VII.3. DÉTERMINATION DE LA POROSITÉ UTILE PAR LA METHODE D'ARCHIE

Dans le cas d'une nappe libre, le coefficient d'emmagasinement est voisin de la porosité utile brute qui s'exprime comme le rapport entre le volume d'eau gravifique et le volume total de la roche.

Considérons maintenant un terrain de porosité ϕ, saturé d'eau, à seule conductibilité ionique. Si on fait circuler un courant électrique les lignes de courant suivent les cheminements continus à travers les pores remplis d'eau. On a approximativement:

$$\frac{1}{Rt} = \frac{1}{Ris} + \frac{1}{RW}$$ avec Rt = Résistance de la roche saturée

Ris = Résistance des minéraux.

Rw = Résistance de l'eau

Or nous savons que la résistance des minéraux est très élevée, cela revient à dire que $\frac{1}{Ris}$ tend vers zéro et $\frac{1}{Rt} \simeq \frac{1}{RW}$

Il s'ensuit par simple déduction que ρt (résistivité de la roche saturée) et ρW (résistivité de l'eau saturant la roche) sont reliées par un facteur noté F dit facteur de formation dépendant de la taille des grains d'où l'expression suivante $\rho t = F.\rho W$ (1)

Dans le cas des formations saturées en eau $F = a\,\phi^{m}$ (2) ou a et m sont des coefficients différents selon les auteurs. Cette équation se simplifie avec une bonne approximation en prenant a = 1 et m = 2. En définitive, on obtient $F = \frac{\rho t}{\rho W} = \frac{1}{\phi^2} \Rightarrow \phi = \sqrt{\frac{\rho W}{\rho t}}$ (3)

Pour le calcul de la porosité utile, cette formule (3) doit être maniée avec beaucoup de soins, les valeurs obtenues par son application doivent obligatoirement être affectées d'un coefficient de correction correspondant au rapport entre la hauteur de l'aquifère saturé en eau et l'épaisseur de l'aquifère non argileux. Cela implique évidemment la connaissance lithologique, en chaque point de mesure.

	Pts d'eau	CHOW	JACOB (descente)	Remontée de THEIS	THEIS	Valeurs moyennes
M.P.	El-Harnach	$8,2\ 10^{-4}$	$9\ 10^{-4}$	$1,7\ 10^{-3}$	$1,23\ 10^{-3}$	$1,2\ 10^{-3}$
M.P.	//	$2,45\ 10^{-4}$	$5,3\ 10^{-4}$	$4,2\ 10^{-4}$	$9,2\ 10^{-4}$	$5,3\ 10^{-4}$
M.P.	179/478	$0,8\ 10^{-3}$	$1,8\ 10^{-3}$	$1,4\ 10^{-3}$	$7,19\ 10^{-3}$	$2,79\ 10^{-3}$
	63/478	$1,85\ 10^{-3}$	$2\ 10^{-3}$	$2,8\ 10^{-3}$	$4,16\ 10^{-3}$	$2,7\ 10^{-3}$
M.P.	28/478	$1,44\ 10^{-3}$	$2,2\ 10^{-3}$	$9\ 10^{-4}$	$1,43\ 10^{-3}$	$1,49\ 10^{-3}$
	P27/478	$6,12\ 10^{-3}$	$8,69\ 10^{-3}$	$4,3\ 10^{-3}$	$5,04\ 10^{-3}$	$6,04\ 10^{-3}$
M.P.	127/478	$8\ 10^{-4}$	$9,8\ 10^{-4}$	$1,3\ 10^{-3}$	$4,2\ 10^{-3}$	$1,8\ 10^{-3}$
M.P.	9/478	$7,2\ 10^{-4}$	$2\ 10^{-3}$	$1,3\ 10^{-3}$	$1,27\ 10^{-4}$	$4,1\ 10^{-3}$
	6/478	$0,97\ 10^{-4}$	$1,4\ 10^{-4}$	$1,5\ 10^{-4}$	$8,9\ 10^{-4}$	$3,19\ 10^{-4}$
	42/478	$1,5\ 10^{-3}$	$1,3\ 10^{-3}$	$3,2\ 10^{-3}$	$2,48\ 10^{-3}$	$2,12\ 10^{-3}$
	41/478	$9,42\ 10^{-3}$	$9,6\ 10^{-3}$	$8\ 10^{-3}$	$8,36\ 10^{-3}$	$8,8\ 10^{-3}$
	39/479	$3,25\ 10^{-2}$	$3,2\ 10^{-2}$	$3,7\ 10^{-2}$	$2,24\ 10^{-2}$	$3,1\ 10^{-2}$
	34/479	$1,7\ 10^{-2}$	$4,96\ 10^{-2}$	$5,8\ 10^{-2}$	$2,7\ 10^{-2}$	$3,9\ 10^{-2}$
	40/479	$1,35\ 10^{-2}$	$1,3\ 10^{-2}$	$1,1\ 10^{-2}$	$1,39\ 10^{-2}$	$1,28\ 10^{-2}$
	35/479	$2,6\ 10^{-2}$	$2,6\ 10^{-2}$	$5,9\ 10^{-2}$	$3,59\ 10^{-2}$	$3,67\ 10^{-2}$
	145/478	$2\ 10^{-3}$	$1\ 10^{-2}$	$1,2\ 10^{-2}$	$9,95\ 10^{-3}$	$8,4\ 10^{-3}$
	143/478	$5,5\ 10^{-4}$	$7,2\ 10^{-4}$	$8\ 10^{-4}$	$1,25\ 10^{-3}$	$9,05\ 10^{-4}$
	211/479	$1,2\ 10^{-3}$	$2,6\ 10^{-3}$	$2,3\ 10^{-3}$	$1,05\ 10^{-4}$	$1,55\ 10^{-3}$
	110/479	$4\ 10^{-3}$	$4,4\ 10^{-3}$	$5,2\ 10^{-3}$	$1,14\ 10^{-2}$	$5,69\ 10^{-3}$
	129/479	$1,4\ 10^{-3}$	$8,6\ 10^{-3}$	$1,8\ 10^{-3}$	$6,09\ 10^{-3}$	$4,47\ 10^{-3}$
	87/479	$6,8\ 10^{-3}$	$9\ 10^{-4}$	$1,2\ 10^{-3}$	$4,53\ 10^{-3}$	$3,38\ 10^{-3}$
	265/479	$1,7\ 10^{-2}$	/	$7,4\ 10^{-3}$	/	$2,44\ 10^{-3}$
M.P.	166/479	$4,46\ 10^{-3}$	$1,4\ 10^{-2}$	$5,3\ 10^{-3}$	$1\ 10^{-2}$	$8,46\ 10^{-3}$
M.P.	242/479	$1,27\ 10^{-3}$	$1,8\ 10^{-3}$	$1,4\ 10^{-3}$	$7,76\ 10^{-3}$	$3,06\ 10^{-3}$
	272/479	$3,09\ 10^{-3}$	$4,03\ 10^{-3}$	$1,6\ 10^{-3}$	$6,52\ 10^{-3}$	$3,8\ 10^{-3}$

Tableau n° 28 : Valeurs des transmissivités en m2/s

M.P. = puits captant le Mio-Pliocène

VII.4. Discussions des valeurs de T et de S

(Figures 50 à 53)

Au cours des essais de pompage, les mesures ont été effectuées directement dans les puits d'essais (sauf aux puits 124/478 et 110/479, où nous avons disposé de piézomètres d'observation). Dans la plupart des cas, les conditions d'application ne sont pas toutes satisfaites, aussi a-t-on utilisé plusieurs méthodes, parmi lesquelles la méthode de CHOW paraît la plus satisfaisante, du moins pour l'estimation des transmissivités le long de la vallée de l'oued M'Zi. Le calcul du coefficient d'emmagasinement est plus délicat; nous nous sommes bornés à l'estimer, par les méthodes classiques uniquement aux puits disposant d'un piézomètre d'observation. Nous avons aussi utilisé la méthode d'ARCHIE, tenant compte des propriétés électriques des terrains saturés d'eau, pour le calcul de la porosité utile brute qui peut être assimilée au coefficient d'emmagasinement S, dans le cas de notre vallée; les points ayant servis pour ce calcul correspondent tous à des piézomètres, où nous avons une assez bonne description lithologique.

Il apparait que les valeurs de T et de S trouvées au cours de cette étude ne doivent pas être considérées comme absolues, mais comme des ordres de grandeur. En ce qui concerne la détermination des caractéristiques hydrodynamiques, dans l'avenir, on ne saurait qu'insister sur la nécessité de conditions d'essais plus rigoureuses.

La transmissivité: (tableau n° 28): les valeurs obtenues par les différentes méthodes sont assez concordantes; malgré les conditions d'essais pas toujours satisfaisantes, elles s'échelonnent en moyenne entre 4.10^{-2} et 3.10^{-4} m^2/s. Les valeurs les plus fortes ont été rencontrées au niveau de la plaine de Mékhareg. En effet, dans cette zone, les puits captent des niveaux à galets et de plus les alluvions de cette zone sont assez développées; ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles trouvées par C. GUERRE (1973), (Résultats d'essais de débits sur deux puits du périmètre de Mékhareg, Laghouat).

Les puits sur lesquels les mesures ont été faites, captent les alluvions et/ou le Mio-Pliocène. Il n'existe pas de valeurs propres à l'un ou l'autre de ces aquifères (contrairement aux valeurs respectives de 3 à 5.10^{-3} m^2/s et

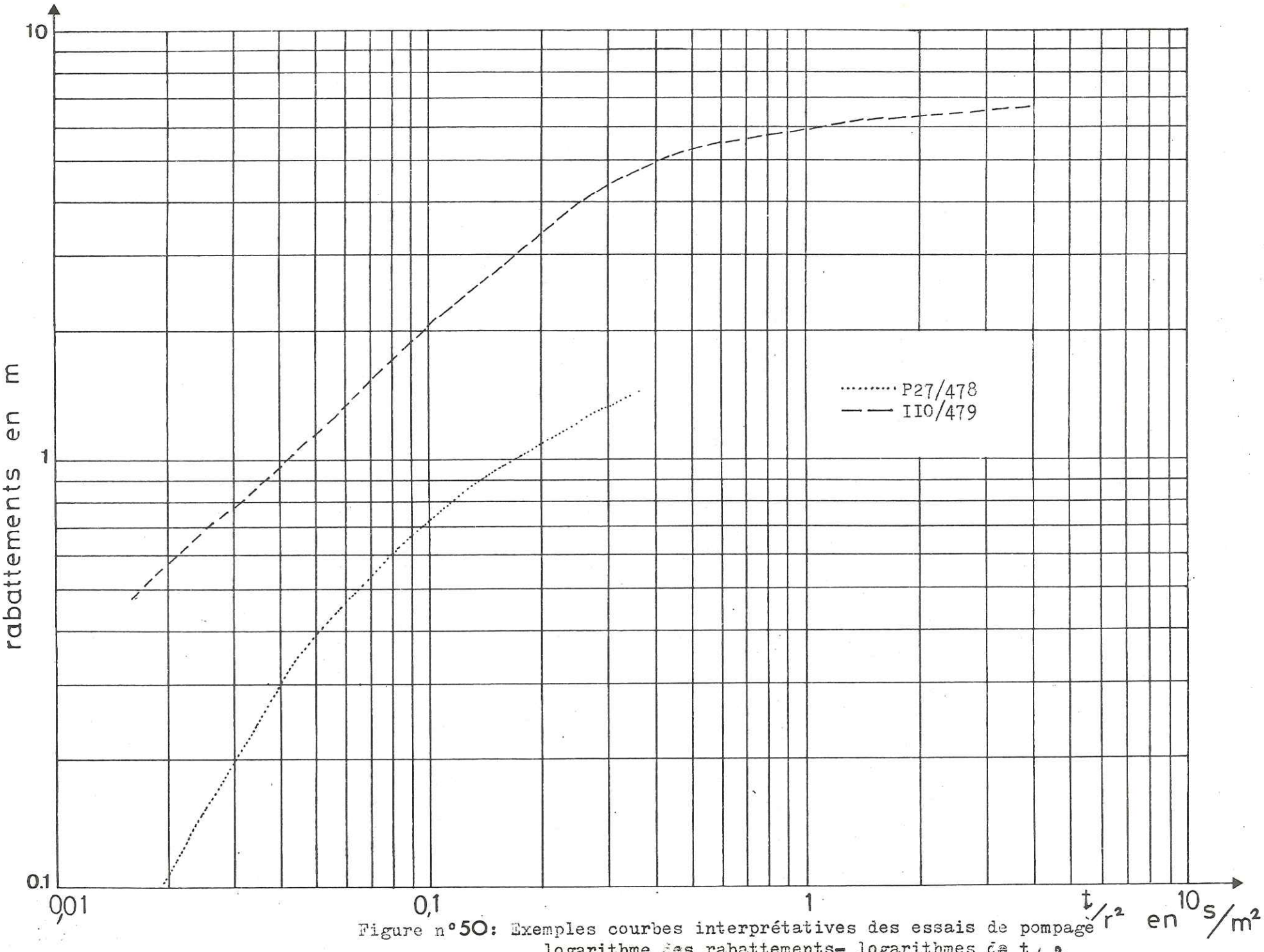


Figure n°50: Exemples courbes interprétatives des essais de pompage logarithme des rabattements- logarithmes de t/r^2

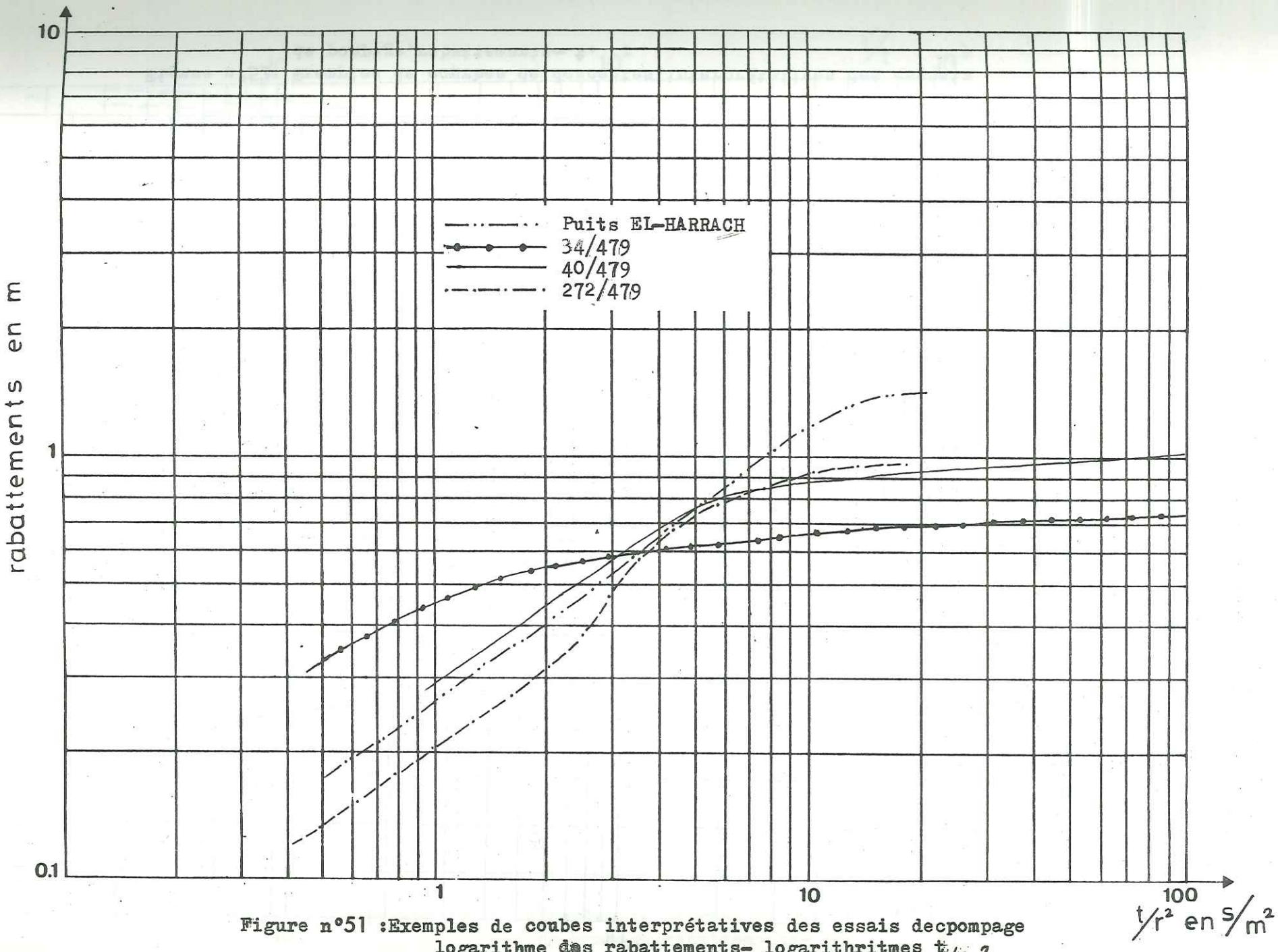


Figure n°51 :Exemples de coubes interprétatives des essais decpompage logarithme des rabattements- logarithritmes t/r^2

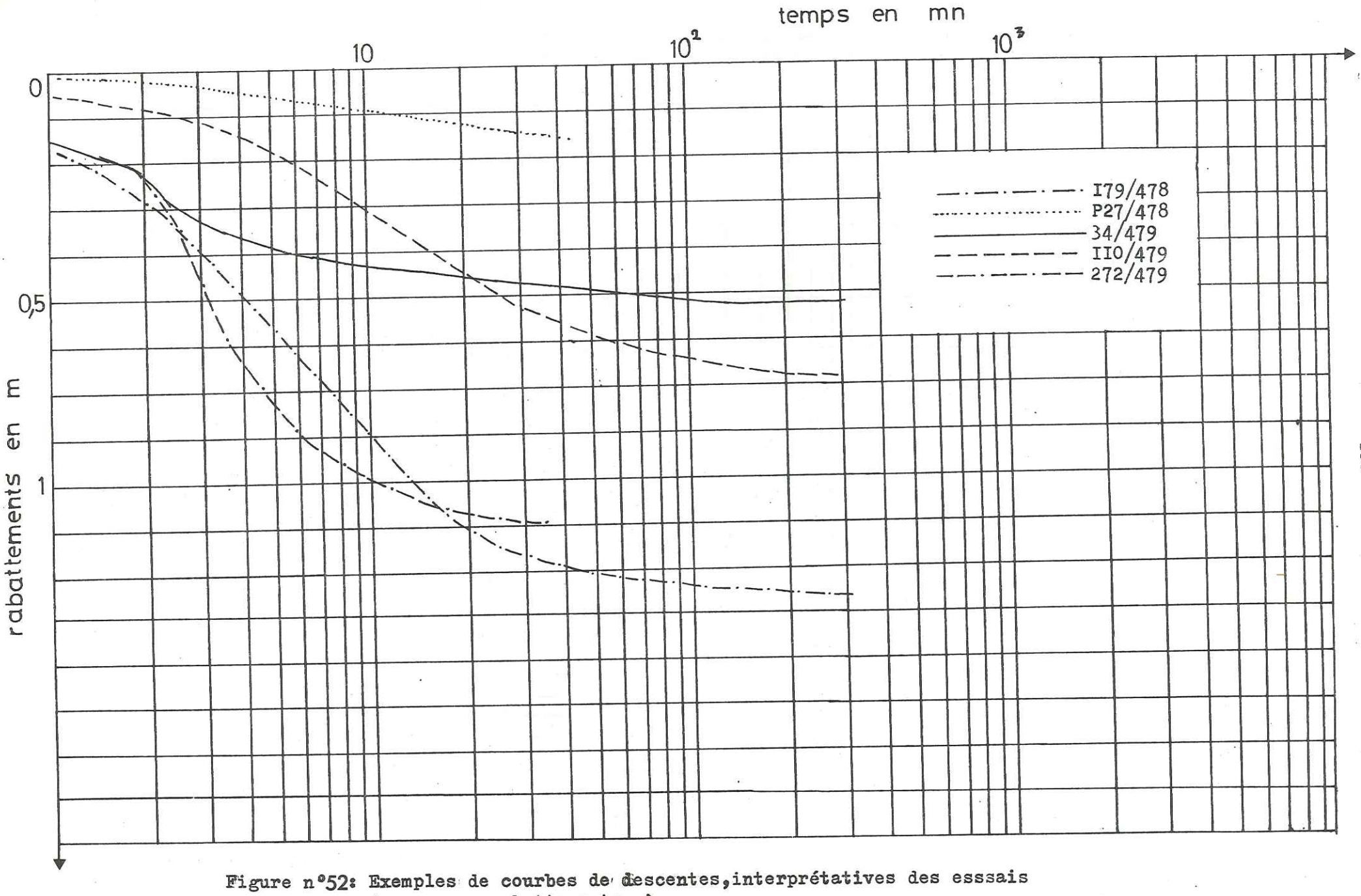


Figure n°52: Exemples de courbes de descentes, interprétatives des esssais de pompage, rabattements- t.

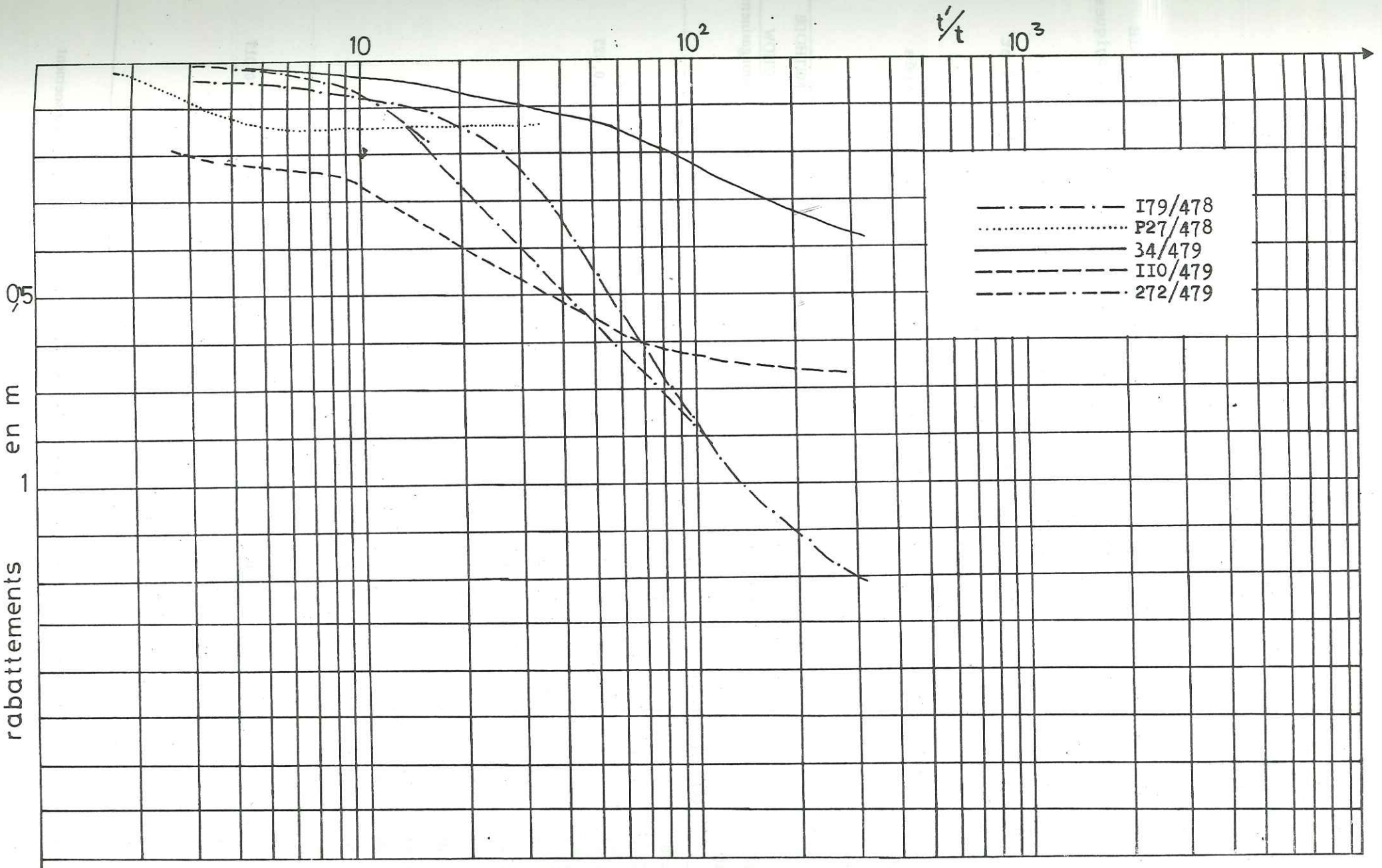


Figure n°53 : exemples de courbes de remontée, interprétatives des essais de pompage, rabattements- t'/t.

de 2 à 10^{-4} m^2/s qui leur sont attribuées dans l'étude de la S.C.E.T. Coop (étude hydrogéologique préliminaire de la vallée de l'oued M'Zi); d'ailleurs lithologiquement, le Tertiaire et le Quaternaire sont tous deux de même nature détritique.

Les coefficients d'emmagasinement: Ils ont été estimés par la méthode d'ARCHIE en différents points de la vallée, où nous avons disposés de coupes lithologiques La détermination de S par les méthodes classiques a été faite seulement en deux points (124/478 et 110/479) équipés de piézomètres d'observation. Les valeurs trouvées sont assez concordantes, elles sont comprises entre 0,033 et 0,07 soit 3,3 à 7%, ce qui est assez bon comme emmagasinement.

Les résultats du calcul du coefficient d'emmagasinement sont regroupés sur le tableau n°29

Points d'eau	METHODE D'ARCHIE					METHODE THEIS	METHODE CHOW
	f'_w ohm. m	f_t ohm.m	Porosité utile brute	Coefficient de correction	Porosité utile corrigée	Coefficient d'emmagasinement	
P7/478	7,16	220	0,033	1	0,033		
P10/478	9,61	200	0,046	0,5	0,023		
P27/478	6,69	120	0,056	1	0,056	0,033	0,027
P13/478	8,55	70	0,12	0,38	0,046		
P18/478	10,98	370	0,03	1	0,03		
P43/479	6	360	0,018	1	0,018		
P15/479	6,34	41	0,15	0,87	0,12		
P28/479	5,82	150	0,038	1	0,038		
P30/479	6,36	21	0,3	1	0,3		
P21/479	6,6	200	0,033	0,6	0,02		
P29/479	7,82	170	0,046	0,42	0,019		
P19/478	11,18	117	0,096	0,57	0,054		
P22/479	7,34	126	0,05	1	0,05		
P2/479	5,15	15	0,34	0,1	0,034	0,022	0,017
P33/479	3,15	43	0,073	1	0,073		
P37/479	1,17	5	0,23	0,37	0,085		
P36	1,38	34	0,25	0,3	0,075		
P14	4,27	70	0,061	0,25	0,015		

Tableau n° 29: Valeurs de la porosité utile corrigée par la méthode d'Archie, et du coefficient d'emmagaisnement par les méthodes de THEIS et de CHOW.

VII.5 MESURE DE LA VITESSE D'INFILTRATION

L'infiltration est un phénomène très important du cycle hydrologique que l'on arrive difficilement à maitriser. Les mécanismes de l'infiltration de l'eau dans le sol sont complexes et sont dus à l'action combinée des forces de gravité et capillaires. Le taux d'infiltration dépend de plusieurs facteurs:

- intensité et nature des pluies
- état de la surface du sol (densité, types et état de la végétation et propriété physique du sol (porosité, diamètres des grains et des pores et de son état d'humidité.. etc.)
- la température
- la composition chimique de l'eau

L'évaluation du taux d'infiltration peut être faite de deux manières, par l'analyse d'hydrogrammes de crue ou l'utilisation d'infiltromètres, en appliquant de l'eau à la surface du sol. Pour notre région d'étude, les vitesses d'infiltration (ou de perméabilités verticales) ont été déterminées in situ, en différents points de la vallée, par la méthode de HUNTZ ou méthode du double anneau.

Principe de la méthode: elle consiste à maintenir une charge constante par un apport d'eau régulier; cela se traduit au niveau du sol par des écoulements constants. Connaissant la surface d'infiltration, la quantité d'eau qui s'infiltre par unité de temps, la longueur d'écoulement et la charge hydraulique, la perméabilité verticale s'obtient en appliquant la loi de DARCY.

Matériel: le perméamètre utilisé se compose:

- d'un double anneau, comportant deux cyclindres; un premier cylindre interne de mesure, en acier dur et lisse; un second assurant une humectation latérale du sol, permettant de prétendre à une infiltration verticale au niveau de l'anneau interne;
- un système d'alimentation du cyclindre de mesure, permettant de maintenir un niveau constant au niveau du double anneau; pour notre campagne de mesure, une éprouvette graduée a été utilisée;

. un chronomètre ou une montre, deux seaux dont l'un au moins est gradué, et une masse pour l'enfoncement du double anneau;

; un réservoir d'eau, assez important.

Méthode d'étude : le double anneau sera enfoncé verticalement à l'aide d'une masse, tout en évitant les tassements et les perturbations du sol. A l'aide des deux sceaux d'eau, on remplira les deux espaces formés par les deux cyclindres du double anneau jusqu'à une cote choisie de telle sorte que la tranche d'eau au dessus du sol soit de 10 cm environ. L'instant zéro correspond au moment où seront remplis ces deux espaces. Au bout d'un certain temps, le niveau d'eau commence à baisser, et à l'aide de l'éprouvette graduée, celui-ci doit toujours être ramené à la côte repère choisie initialement, nous noterons pour chaque opération l'intervalle du temps et laquantité d'eau ajoutée dans l'anneau de mesure. La perméabilité verticale s'exprime alors:

$$K = \frac{60 \cdot V_1}{S \cdot t\ (1 + h)} = \frac{60 \cdot Q_1}{S\ \ (1 + h)}$$

K = perméabilité verticale en cm/h

V = volume d'eau ajouté pendant un intervalle de temps en cm^3

t = intervalle de temps en mm

Q = débit en cm^3/mm

l = longueur de l'écoulement en cm

h = hauteur d'eau à la surface du sol en cm

l + h = charge hydraulique en cm

S = surface d'infiltration en cm^2

Interprétation des essais

En reportant sur papier millimétré, en abscisses les intervalles de temps cumulés, et en ordonnées les perméabilités correspondantes, nous constatons que la perméabilité verticale est toujours très forte au début de l'essai et diminue rapidement pour se stabiliser. En effet, ceci est constaté quand le sol n'est pas saturé en eau comme c'est le cas lors de nos essais. On admet qu'au début de l'essai, il y a d'abord tendance vers une certaine saturation du sol.

Ce temps de saturation varie en général de 10 à 90 mm pour nos essais. Afin de vérifier la validité de nos essais en chaque point, nous avons réalisé deux manipulations successives.

VII.3.1. DISCUSSION ET VALEURS DES PERMEABILITES VERTICALES

(Figures 54 à 65)

Les valeurs de la perméabilité verticale mesurées sur le terrain s'échelonnent entre 10^{-4} et 10^{-6} m/s. Ces valeurs obtenues s'expliquent bien par la nature lithologique des alluvions représentées en surface par des sables fins limoneux plus ou moins argileux. Les valeurs les plus élevées ont été rencontrées dans les zones les plus à l'amont de notre vallée, entre le pont de Laghouat et le Kef Seridja , soit $1{,}1.10^{-4}$ et $1{,}5.10^{-4}$ m/s; à ce niveau les alluvions superficielles sont représentées par des sables dunaires remaniés et des sables alluvionnaires relativement plus grossiers.

La nature des alluvions, composant la partie superficielle de notre vallée laisse espérer une bonne infiltration, donc une bonne alimentation qui peut se faire à partir des crues, des pluies ou du recyclage des eaux d'irrigation. Quant à la part exacte de chacune d'elle, elle reste inconnue, mais pour tout bilan, il est nécessaire de connaître leurs processus.

A partir des courbes perméabilités verticales - temps cumulés, le temps de stabilisation (c'est-à-dire le temps nécessaire pour arriver à la saturation) varie d'après les résultats obtenus de 10 à 90 mm; sa valeur la plus faible a été rencontrée à l'amont de la vallée (10 mm) et pour le reste de la région il est supérieur à 20 mm. Il serait intéressant en vue d'une bonne connaissance de l'infiltration, d'envisager des études de celles-ci, en milieu saturé englobant l'étude de l'alimentation par les crues, et en milieu en voie de saturation par l'étude du recyclage des eaux d'irrigation et de l'alimentation par les pluies, mais encore, faudrait-il tenir compte de leur durée, de leur régime et de leur intensité.

OUED M'ZI
(pont de Lagouat)

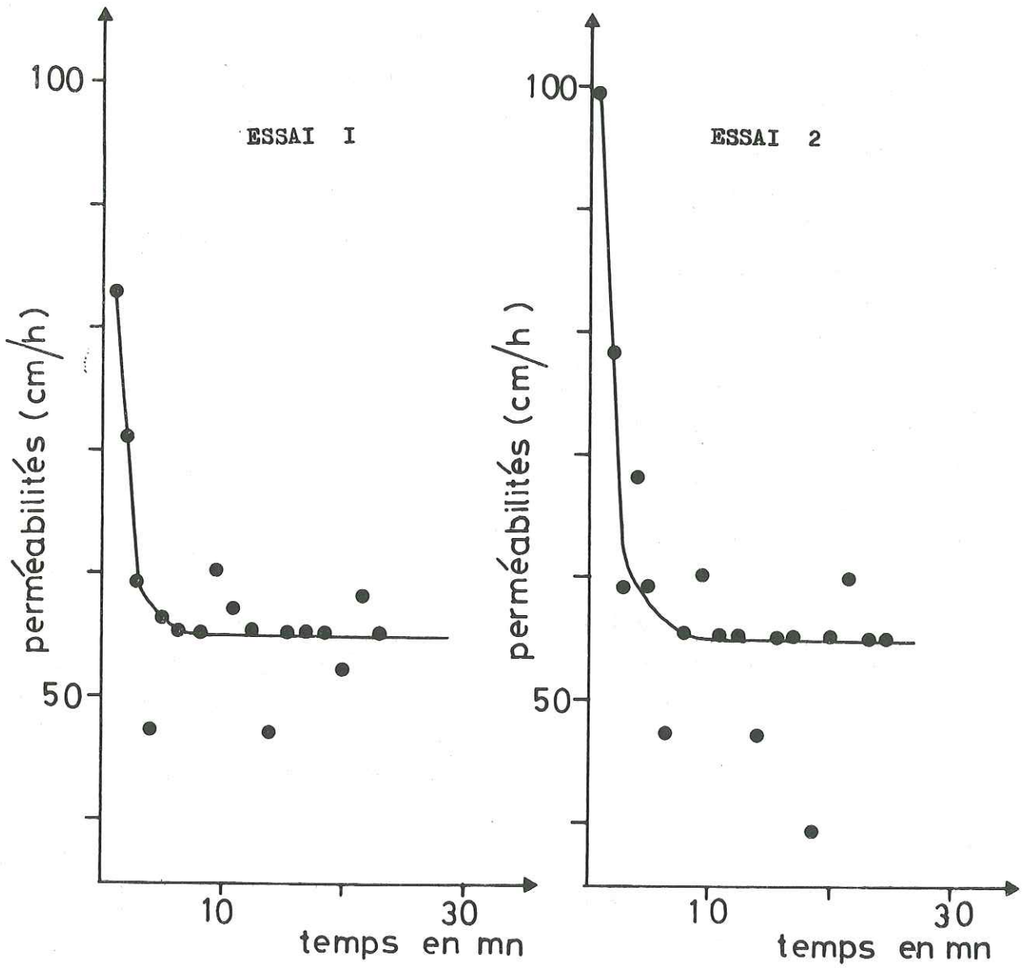


Figure n°54 : Courbes (perméabilités - temps) interprétatives des essais d'infiltration.

OUED M'ZI
(Bled El Fetha)

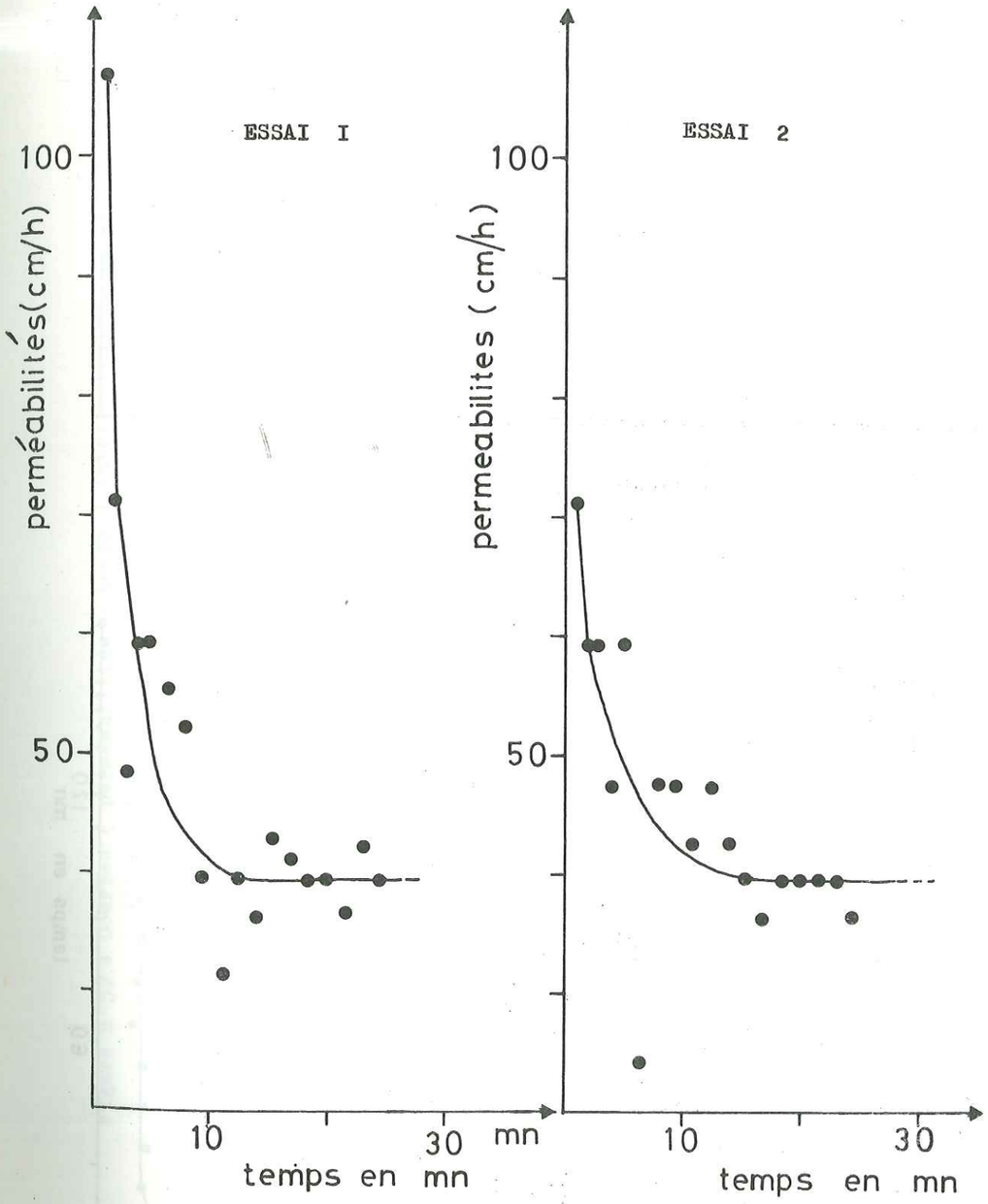


Figure n°55 : Courbes (perméabilités - temps) interprétatives des essais d'infiltration.

Figure n°56 : Courbes (perméabilités - temps) interprétatives des essais d'infiltration.

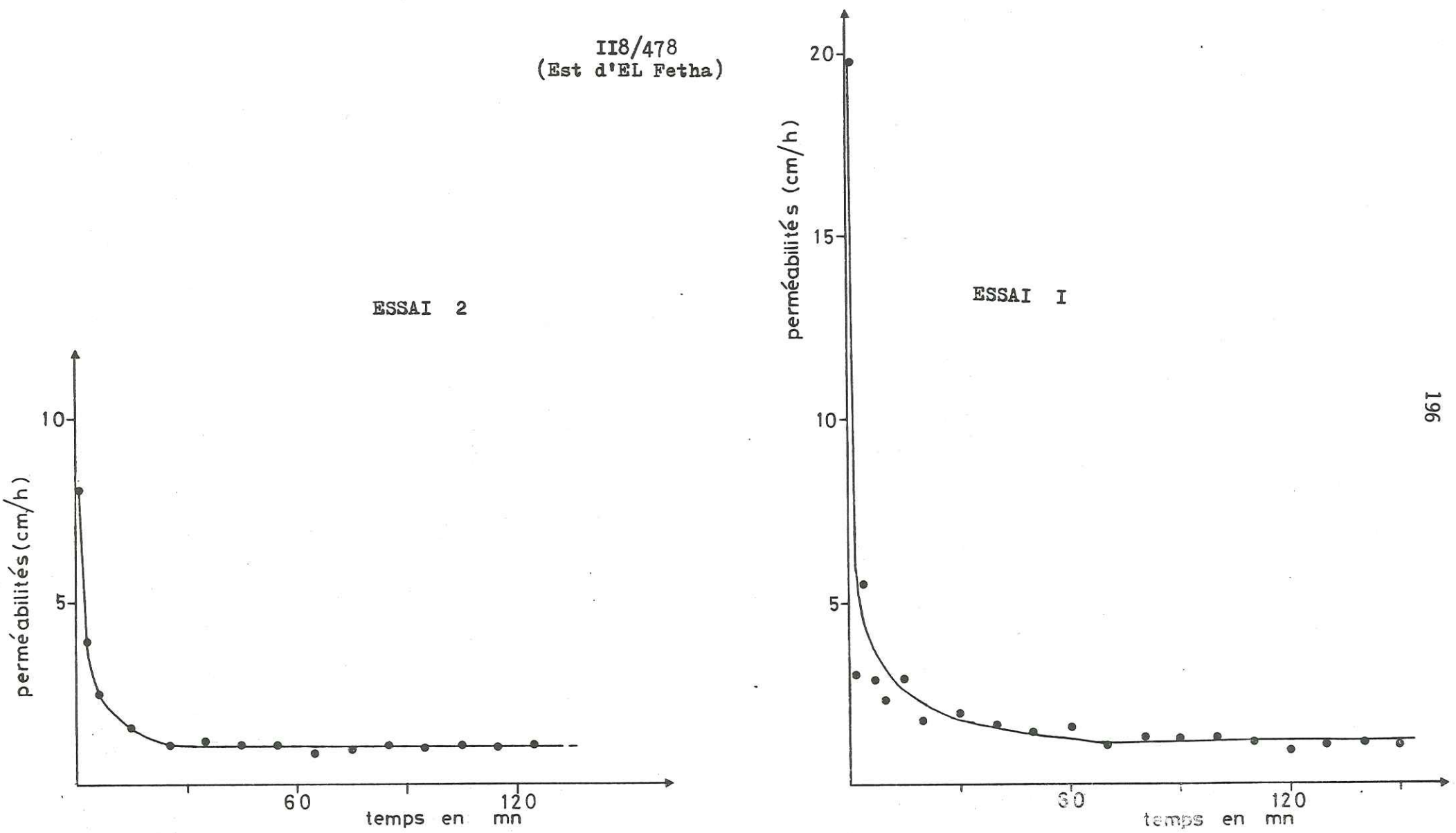
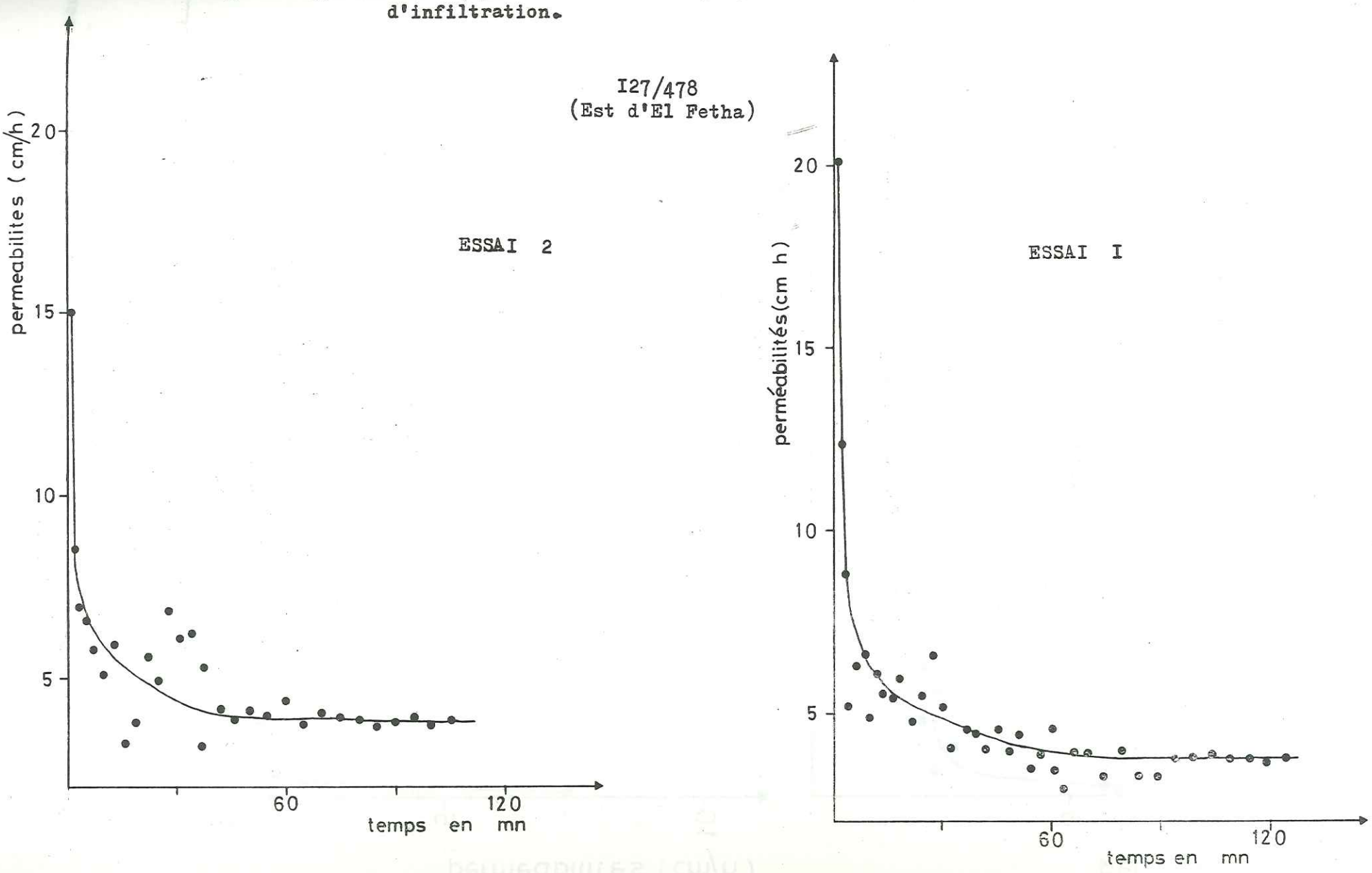


Figure n°57 : Courbes (perméabilités - temps) interprétatives des essais d'infiltration.



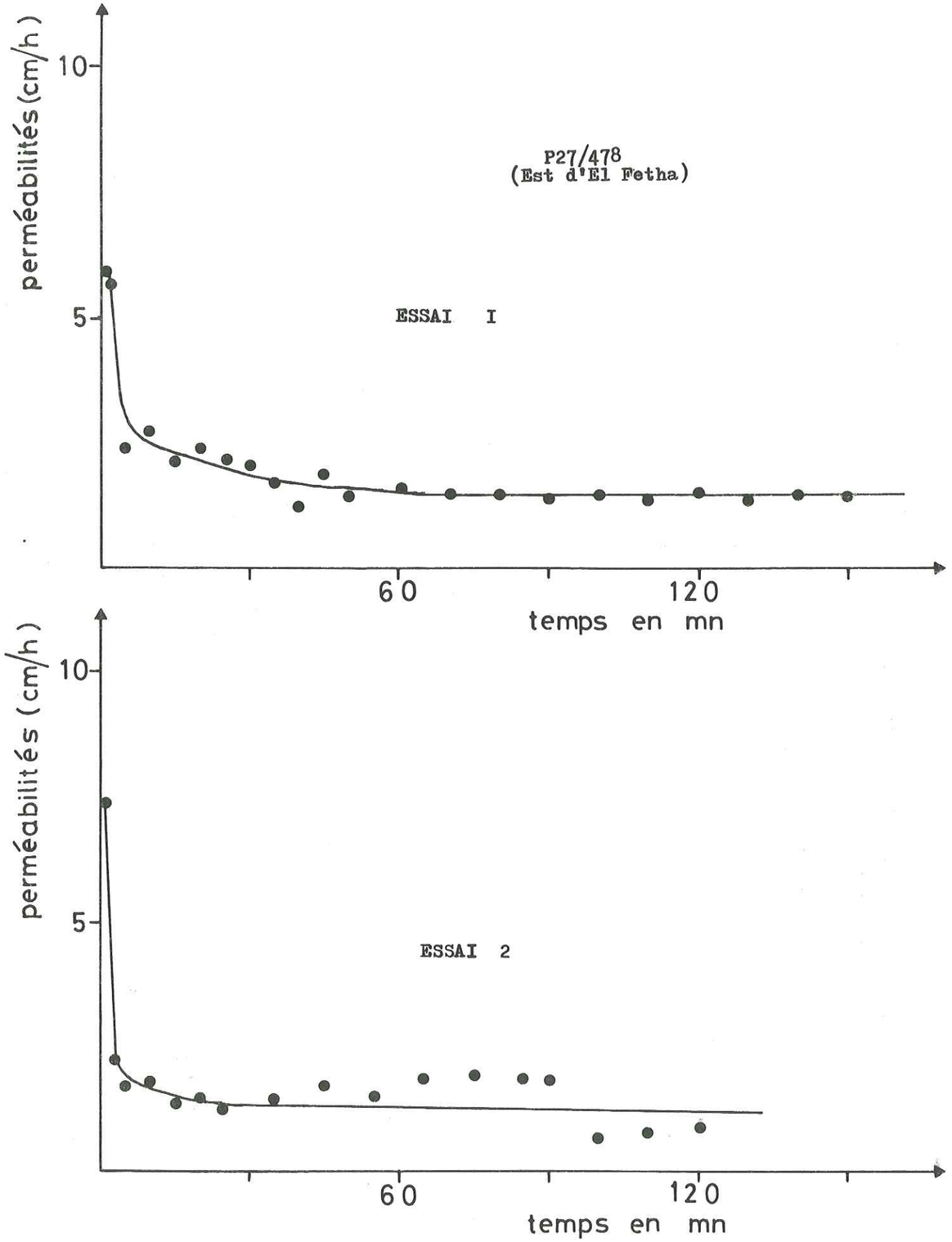


Figure n°58 : Courbes (perméabilités - temps) interprétatives des essais d'infiltration.

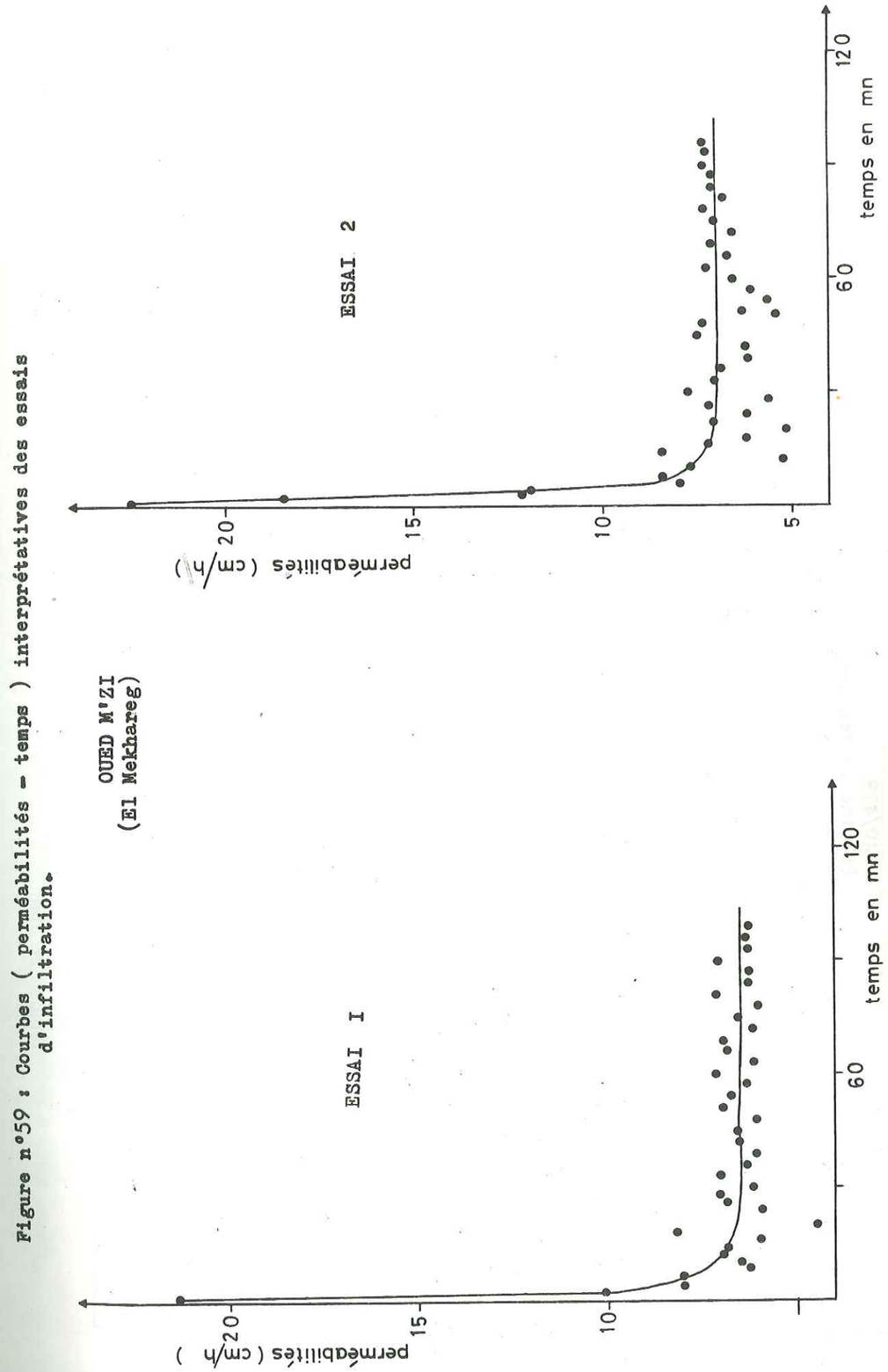
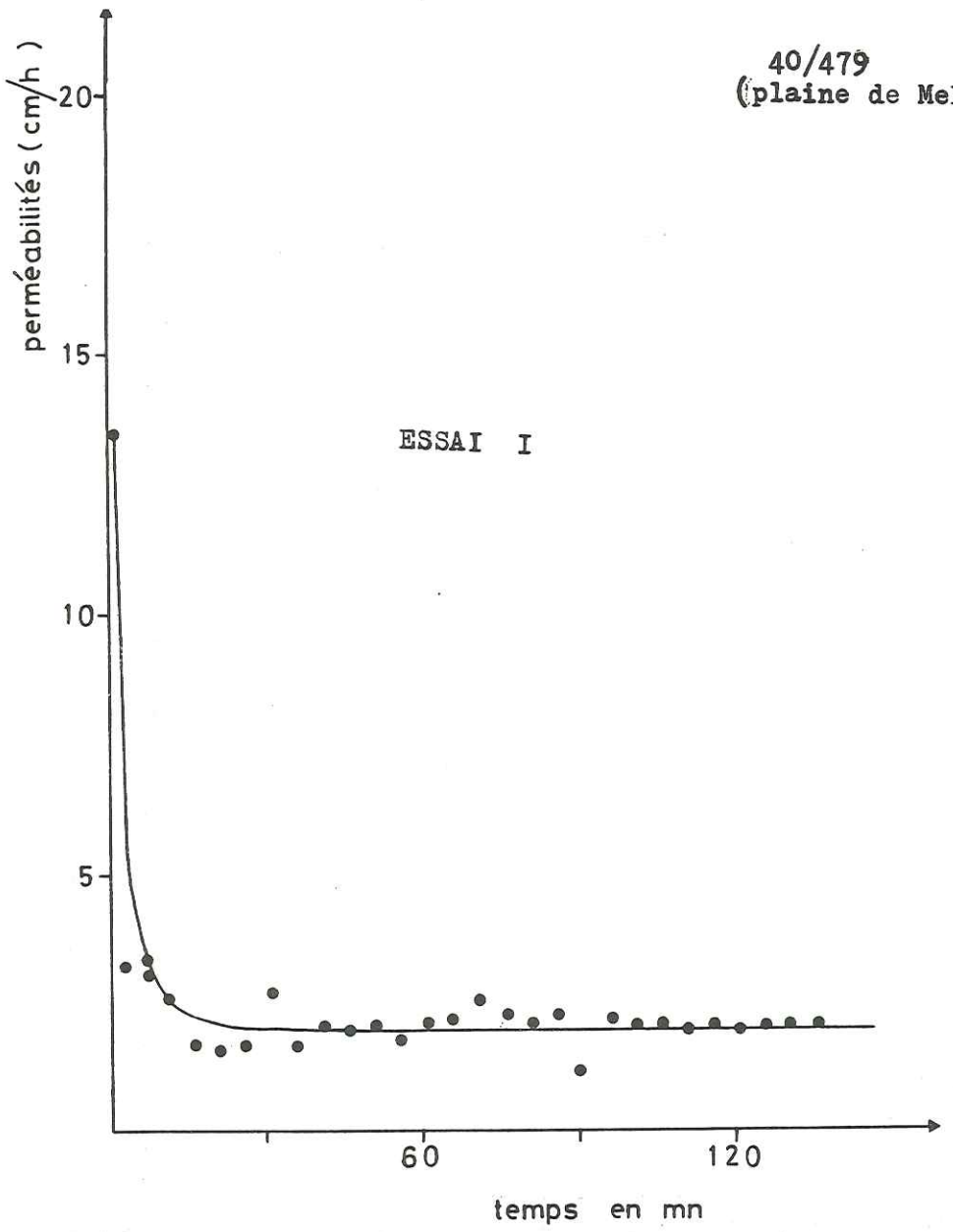


Figure n°59 : Courbes (perméabilités - temps) interprétatives des essais d'infiltration.

Figure n°60: Courbes (perméabilités - temps) interprétatives des essais d'infiltration.



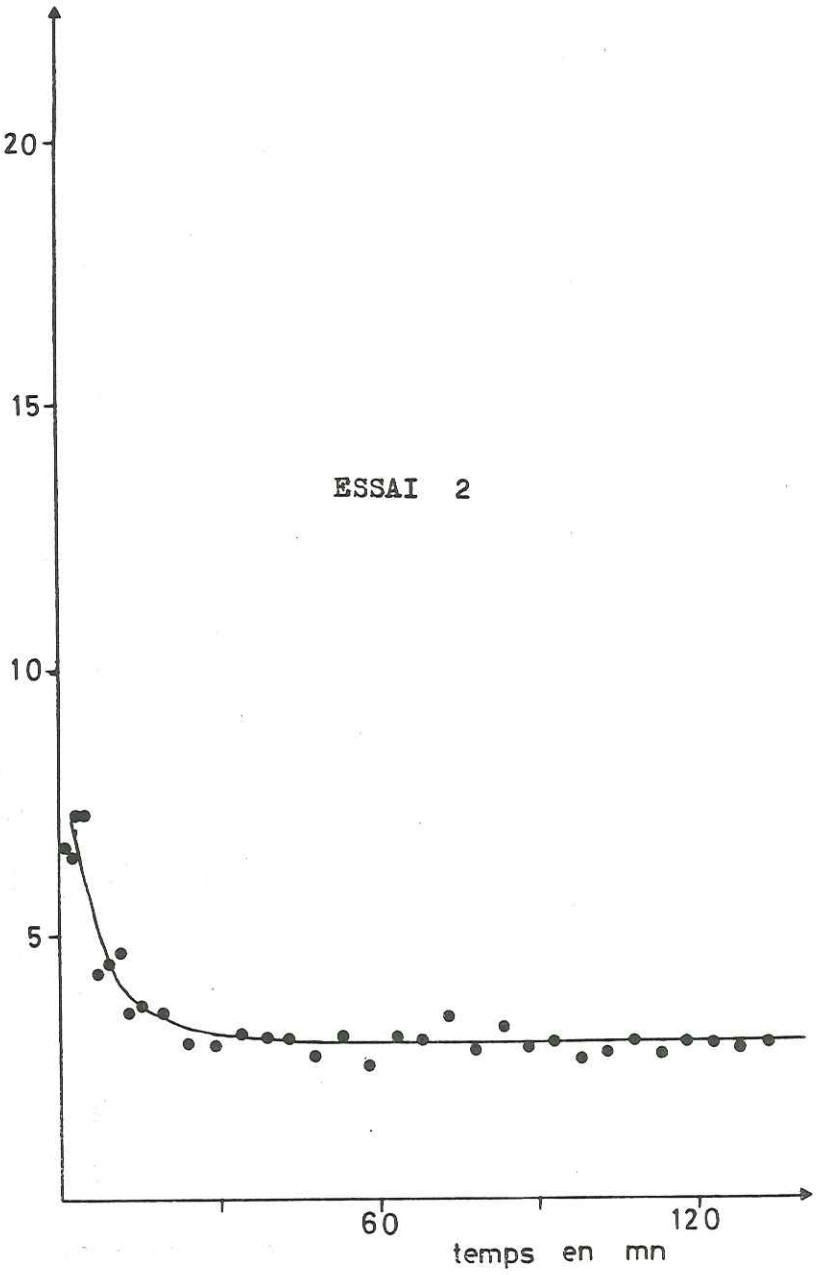
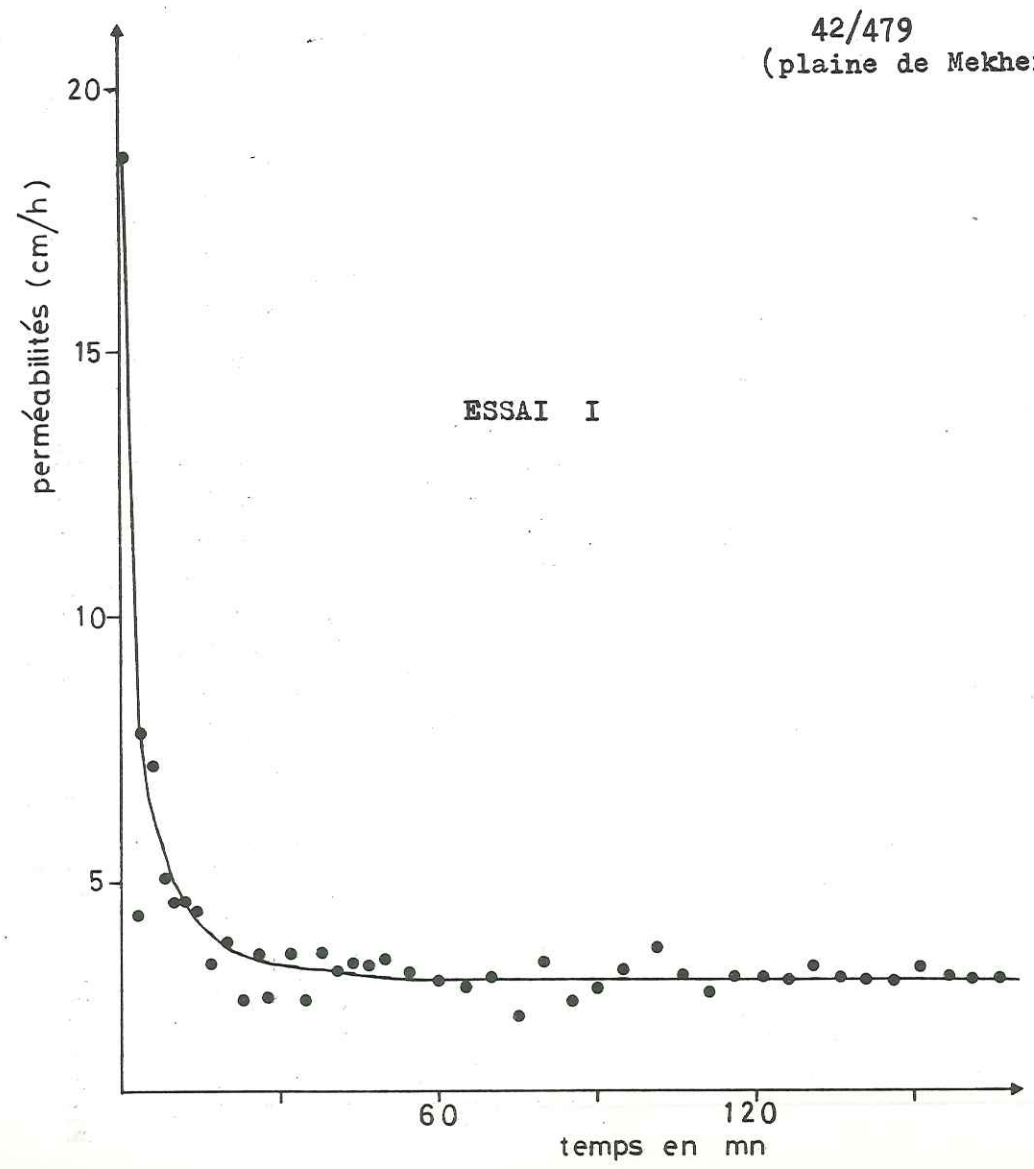
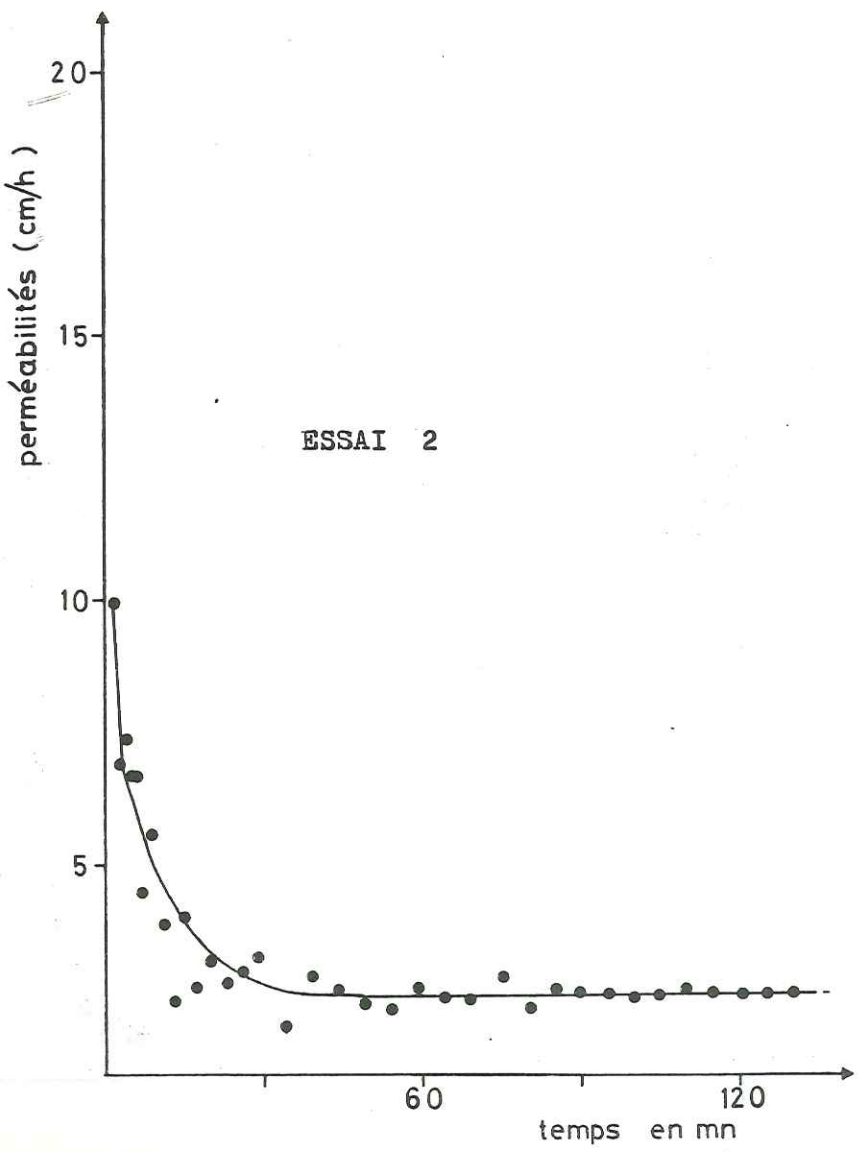


Figure n°61 : Courbes (perméabilités - temps) interprétatives des essais d'infiltration.





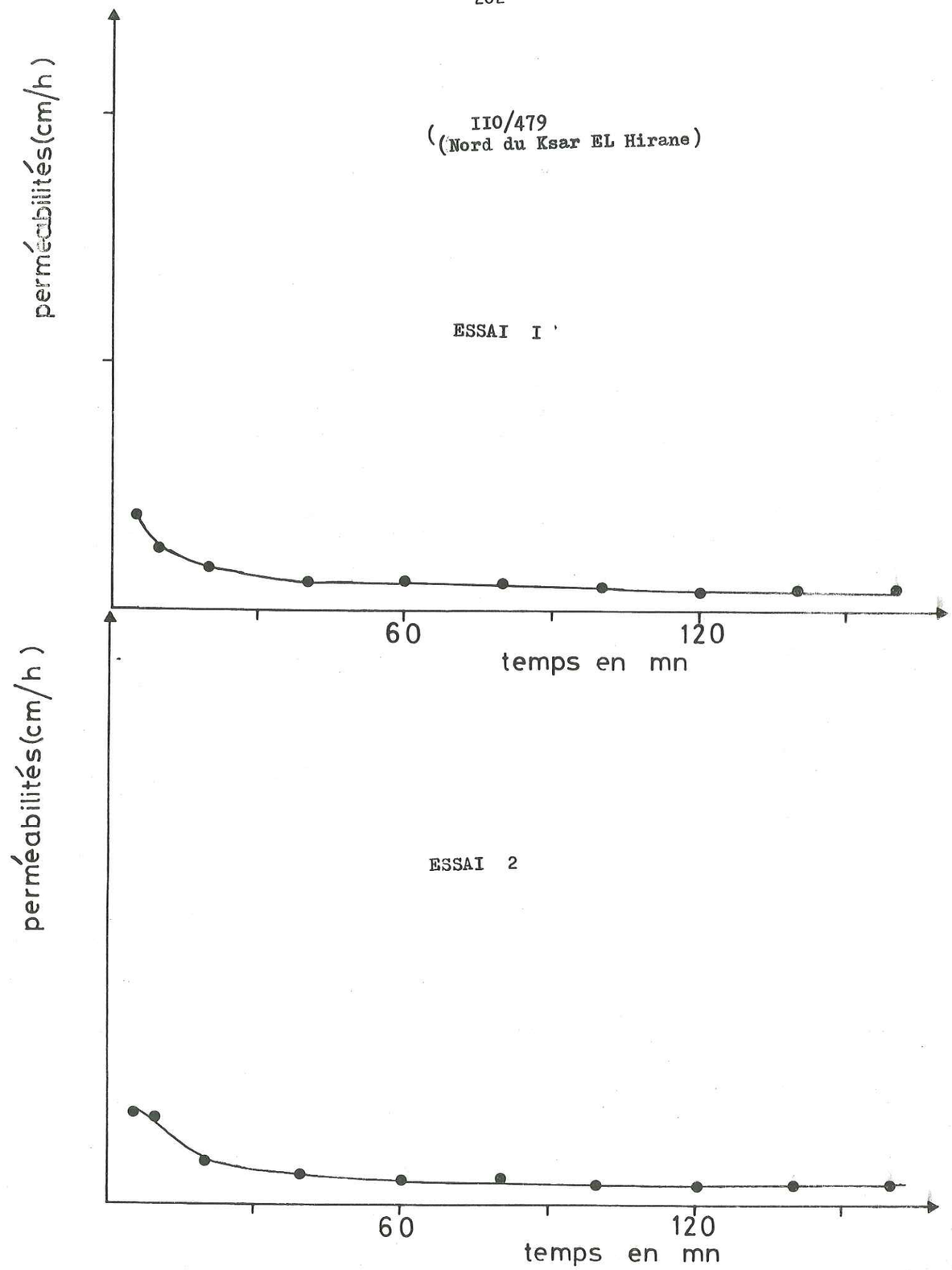


Figure n°62 : Courbes (perméabilités - temps) interprétatives des essais d'infiltration.

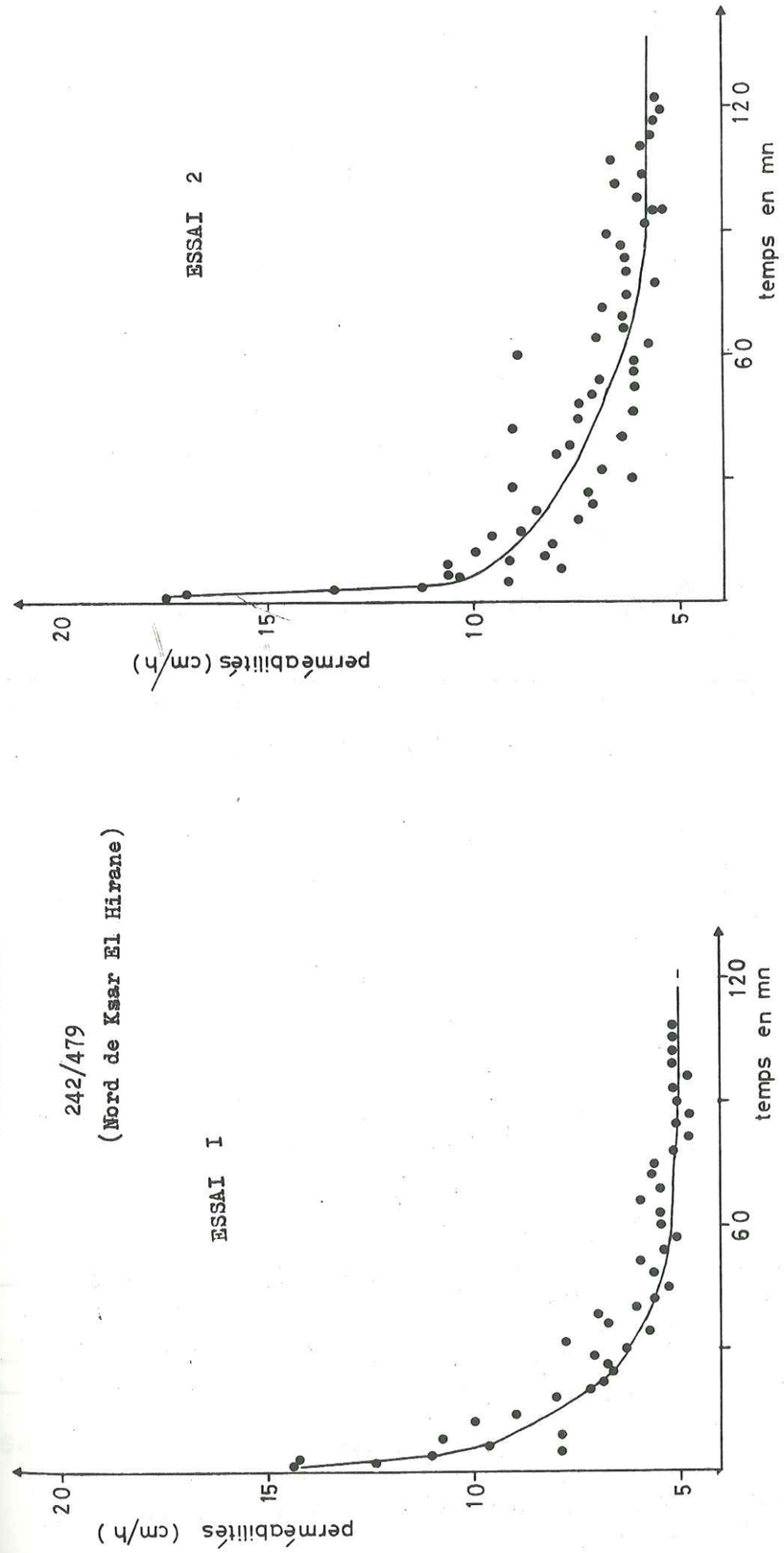


Figure n°64 : Courbes (perméabilités - temps) interprétatives des essais d'infiltration.

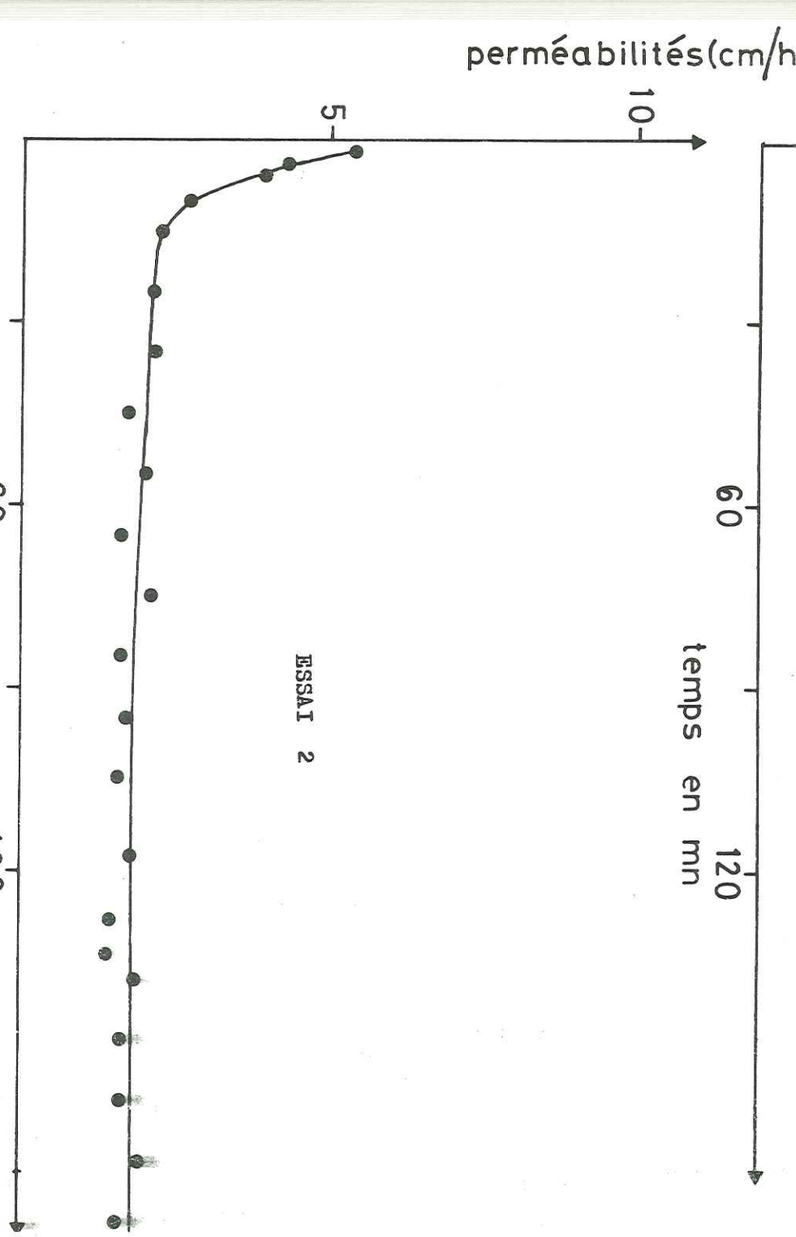


Figure n°63 : Courbes (perméabilités - temps) interprétatives des essais d'infiltration.

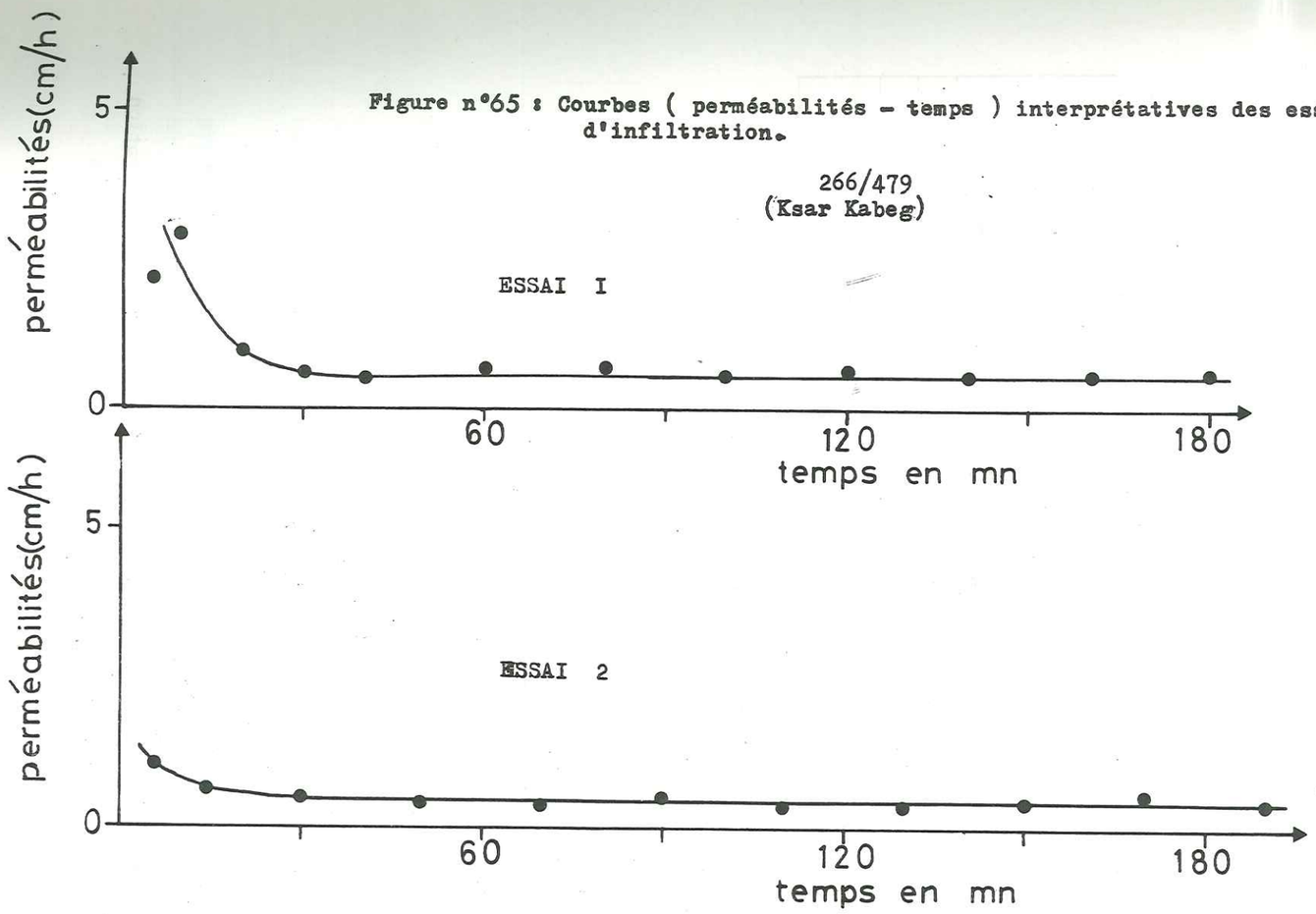


Figure n°65 : Courbes (perméabilités - temps) interprétatives des essais d'infiltration.

Points d'eau	Perméabilités en cm/h		Perméabilités en m/s		Perméabilités moyennes en m/s	Localités
O. M'Zi	39,5	39,5	$1,1\ 10^{-4}$	$1,1\ 10^{-4}$	$1,1\ 10^{-4}$	El Fetha
O. M'Zi	55	55	$1,52\ 10^{-4}$	$1,52\ 10^{-4}$	$1,52\ 10^{-4}$	Pont de Laghouat
118-478	1,1	1	$3\ 10^{-6}$	$2,7\ 10^{-6}$	$2,9\ 10^{-6}$	Est d'El Fetha
127-478	3,75	3,8	$1\ 10^{-5}$	$1,1\ 10^{-5}$	$1,1\ 10^{-5}$	
P27-478	1,5	1,3	$4,2\ 10^{-6}$	$3,6\ 10^{-6}$	$3,9\ 10^{-6}$	
O. M'Zi	6,5	7	$1,8\ 10^{-5}$	$1,94\ 10^{-5}$	$1,9\ 10^{-5}$	Plaine de Mékhareg
40/479	2	3	$5,5\ 10^{-6}$	$8,3\ 10^{-6}$	$6,9\ 10^{-6}$	
42-479	3,1	2,5	$8,6\ 10^{-6}$	$6,9\ 10^{-6}$	$2,8\ 10^{-6}$	
110-479	0,4	0,4	$1,1\ 10^{-6}$	$1,1\ 10^{-6}$	$1,1\ 10^{-6}$	Taouennza
209-479	1,3	1,7	$3,6\ 10^{-6}$	$4,7\ 10^{-6}$	$4,2\ 10^{-6}$	N. de Ksar Hirane
242-479	5,1	5,9	$1,42\ 10^{-5}$	$1,64\ 10^{-5}$	$3,1\ 10^{-5}$	Ksar Kabeg
266-479	0,6	0,4	$1,7\ 10^{-6}$	$1,1\ 10^{-6}$	$1,4\ 10^{-6}$	
Essais	(1)	(2)	(1)	(2)		

Tableau n° 30 : Valeurs de la perméabilité verticale

VII.6 ESTIMATION ET PROBLEME D'ETABLISSEMENT D'UN BILAN

Les résultats obtenus au chapitre hydroclimatologie montrent que les pluviométries moyennes annuelles à Laghouat et à Ksar Hirane, sont respectivement 170 mm et 107 mm. Nous avons aussi montré que l'évaporation est très importante et voisine de la pluviométrie; avec un peu d'optimisme pour notre raisonnement, nous la fixerons à 95 % de celle-ci; cela revient à dire qu'au grand maximum 5% de la pluviométrie s'infiltrerait soit un volume annuel de $0,9.10^6$ m^3, représentant approximativement 6,6 à 10 % du volume d'eau transitant annuellement au pont de Laghouat. Quant à l'apport par l'infiltration des eaux de crues, nous pensons qu'il est assez important, mais la quantité

exacte demeure une grande inconnue. En effet, plusieurs raisons nous ont empeché de l'estimer, notamment nous citerons:

- les jaugeages impossibles des crues à l'extrémité aval de notre région, où les écoulements temporaires et irréguliers se font de manière diffuse, sur une largeur de 2 km;
- les alimentations non estimables et anarchiques par les petites crues de chaque côté de la vàllée.

On peut estimer, avec une large sécurité que l'infiltration par les crues est inférieure à 50 % du volume transitant au pont de Laghouat, soit $6,5.10^6$ m^3/an.

Or, nous avons vu que les débits extraits pour l'agriculture étaient estimés à 22.10^6 m^3/an, et qu'une partie que nous connaissons va se recycler et réalimenter la nappe. Elle se situerait avec beaucoup de chance entre 10 et 15 % de l'A.E.A., cela représenterait $2,2.10^6$ à $3,3.10^6$ m^3/an. Donc les débits extraits réellement pour l'agriculture seraient de $19,8.10^6$ à $18,7.10^6$ m^3/an.

Puisque l'alimentation maximale totale annuelle par infiltration ne dépasse pas $9,6.10^6$ m^3/an, cela revient à dire que nous prélevons systématiquement un volume d'eau le long de notre zone d'étude supérieur ou égal à $12,4.10^6$ m^3/an, et même si les crues s'infiltraient entièrement, il y aurait un déficit annuel d'au moins 6.10^6 m^3/an. Il apparaît donc nécessaire pour l'avenir de surveiller l'évolution de la nappe par l'installation d'un réseau de mesures piézométriques, et d'arrêter le creusement anarchique des puits, mais il est vraisemblable qu'une bonne part du débit prélevé provient d'apports inapparents depuis le substratum.

Nous avons en effet montré tout au long de notre étude des relations étroites entre les alluvions et le substratum, ce qui rend difficile toute estimation du bilan.

Nous avons aussi montré un non synchronisme des fluctuations en différents points de la nappe, et donc l'inexistence de période de hautes eaux et de basses eaux; cela revient à dire qu'au niveau de notre vallée, les réserves permanentes et régulatrices ne sont pas faciles à mettre en évidence.

VII.7. Conclusion

Les valeurs des caractéristiques hydrodynamiques évaluées en différents points de la vallée ne sont pas faibles. Elles sont de 4.10^{-2} à 3.10^{-3} m^2/s. pour les transmissivités et de 0,03 pour les coefficients d'emmagasinement. Ces valeurs propres aux alluvions et au Mio-Pliocène justifieraient la forte densité des puits.

En ce qui concerne le bilan, il est impossible à réaliser pour les différentes raisons que nous avons déjà évoquées. Néanmoins, nous avons montré que les débits extraits effectivement sont supérieurs aux différentes alimentations par l'infiltration (crue, pluie et recyclage des eaux d'irrigation).

Le volume systématiquement extrait, d'au moins 12,4 10^{-6} m^3/an nous amène à prendre des mesures de surveillance de la nappe en installant un réseau de mesures piézométriques et ce sur plusieurs années. Vu aussi la forte densité du puits, il est conseillé d'être rigoureux quant à la création de nouveaux points d'eau.

Nous espérons aussi que ces résultats pousseront les autorités de Laghouat vers de nouvelles recherches.

Il est donc extrêmement probable, puisque la nappe n'a pas encore subi de très fortes variations qu'elle reçoit d'importants apports inapparents à partir des terrains crétacés de la bordure de l'Atlas saharien, mais aussi de l'ensemble de la vaste nappe mio-pliocène du domaine saharien.

Le rôle fondamental que jouent les grandes nappes aquifères dans les ressources en eau des pays arides se trouve donc une fois confirmé, même s'il n'est pas possible très souvent, comme cela est le cas dans notre région , de quantifier leur participation à l'alimentation des aquifères superficiels.

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de cette étude consacrée à l'aquifère alluvial de la vallée de l'oued M'Zi, du pont de Laghouat à Ksar Kabeg, nous nous sommes bornés à dégager les différents paramètres (géologiques, piézométriques, hydroclimatologiques et hydrochimiques) liés à l'origine des écoulements des eaux souterraines.

La partie de la vallée de l'oued M'Zi ayant fait l'objet de notre étude chevauche deux domaines géologiquement et structuralement différents. Au Nord, le domaine atlasique saharien, formé de terrains secondaires correspond à des plis d'orientation générale SW-NE, et composent les seuls affleurements secondaires de notre région. Au Sud, dans le domaine saharien, se sont accumulés, dans un sillon subsident, d'importants dépôts détritiques mio-pliocènes (pouvant dépasser 300 m d'épaisseur), qui sont transgressifs sur les terrains mésozoïques. La limite entre les deux domaines est marquée par la flexure sud-atlasique, matérialisée par les petits reliefs du Rocher des Chiens, du Kef Séridja et d'El Mabad; à cet endroit, les couches secondaires (turoniennes et cénomaniennes) plongent presque à la verticale.

Le quaternaire se résume aux alluvions de l'oued M'Zi, et aux sables éoliens jaunes ou ocres.

Du point de vue hydrogéologique, et parmi les formations aquifères, nous distinguons l'Albien (1 000 m), le Turonien (150 à 300 m), le Mio-Pliocène (surtout dans le domaine saharien) et le remplissage alluvial de l'oued M'Zi.

C'est l'aquifère alluvial, qui a fait l'objet essentiel de notre étude hydrogéologique, et ce, dans le souci de résoudre les problèmes liés à l'eau de la région. Associé aux études déjà existantes (mais sans grands résultats) notre travail a consisté à dégager un modèle hydrogéologique de cette vallée.

C'est ainsi que nous nous sommes intéressés à l'étude du remplissage alluvial, et des terrains formant son substratum, dont la connaissance est primordiale pour notre étude. Les dépôts quaternaires de l'oued M'Zi sont peu développés (15 à 30 m), grossiers à leur base (galets, graviers, sables) et sableux, limoneux généralement en surface. Ces alluvions reposent sur des terrains secondaires (turoniens, cénomaniens et albiens probablement) dans le domaine atlasique saharien, et mio-pliocènes du domaine saharien; ces derniers sont plus importants et sont formés de terrains lithologiquement hétérogènes, argilo-sableux et gréseux. Un point important, résulte du fait que compte-tenu de la nature lithologique de toutes ces formations, des relations hydrologiques sont possibles entre les alluvions et les terrains sur lesquels elles reposent.

C'est par la bonne connaissance du remplissage et des terrains qui sont en relation avec lui, que l'on a pu comprendre le régime des écoulements aquifères dans notre secteur.

L'étude piézométrique a permis d'individualiser deux sens d'écoulement principaux, (correspondant à des domaines géologiquement différents); ils sont NW-SW dans la partie atlasique et de l'Ouest vers l'Est dans la zone saharienne. Nous avons pu mettre en évidence deux alimentations des alluvions, à partir de l'Albien, puis du Mio-Pliocène de la zone comprise entre le Kef Séridja et El Assafia, et à partir du Mio-Pliocène d'El Fetha. Un autre point important est que l'évolution de la piézométrie dans le temps et dans l'espace, fait ressortir un non synchronisme des fluctuations de la nappe qui sont en général peu importantes mais traduisant des relations et échanges entre alluvions et substratum.

La connaissance des caractères physico-chimiques et chimiques des eaux a permis d'apprécier la qualité des eaux de notre secteur d'étude, mais aussi de compléter les résultats obtenus par l'étude piézométrique. Plusieurs faciès chimiques ont été mis en évidence (sulfaté calcique et magnésien, chloruré et sulfaté, bicarbonaté calcique). Le type sulfaté calcique couvre la majeure partie de la vallée. Les concentrations en sels des eaux varient de 0,65 à 10 g/l; leur répartition montre que les eaux sont en général de qualité moyenne, sauf à

l'aval, à partir du Ksar Hirane où leurs minéralisations augmentent beaucoup, et où elles sont donc mauvaises pour la consomation. Du point de vue hydrodynamique des eaux, l'interprétation de l'évolution des caractéristiques hydrochimiques a permis d'aboutir aux mêmes résultats que l'étude piézométrique et confirme l'existence d'échanges entre l'aquifère alluvial et les terrains sur lesquels il repose.

Les valeurs des caractéristiques hydrodynamiques calculées par différentes méthodes ne sont pas faibles; elles se situent entre 4.10^{-2} et 3.10^{-3} m^2/s pour les transmissivités et de 0,033 en moyenne pour les coefficients d'emmagasinement. Ces valeurs, caractérisant les alluvions et le Mio-Pliocène, sont largement expliquées par leur nature détritique identique; il ne faudrait pas oublier que les conditions de détermination de ces caractéristiques ne sont pas entièrement satisfaites (manque de puits d'observation). Nous avons combiné plusieurs méthodes pour réduire les risques d'erreur, mais nous n'accorderons pas une valeur absolue à ces caractéristiques qui seront seulement considérées comme des ordres de grandeur, du moins pour les valeurs trouvées lors des essais de pompage.

En ce qui concerne les vitesses d'infiltration mesurées par la méthode Huntz, elles montrent que l'infiltration est bonne; ceci concorde d'ailleurs bien avec la nature des alluvions, en surface; l'infiltration n'a pu être évaluée, elle correspond à celle des eaux de crues de l'oued M'Zi, des eaux de pluie et au recyclage des eaux d'irrigation. Avec une bonne majoration de celle-ci, il est apparu que l'on extrait au moins, de manière systématique $12,4.10^6$ m^3/an. D'ailleurs même si tout le volume d'eau transitant au pont s'infiltrait, il y aurait un déficit d'au moins $6.10^6 m^3$ /an par rapport aux débits extraits le long de la vallée. Dans l'immédiat nous demandons l'installation d'un réseau de surveillance, permettant de suivre l'évolution de la nappe au cours des années. Encore, faudrait-il arrêter et contrôler les puits qui se développent de manière anarchique.

En définitive, nos différentes études ont abouti à un même résultat très important, qui est celui de l'étroite relation entre les alluvions et les différents terrains sur lesquels elles reposent . Contrairement à la nappe alluviale bien spécifique que l'on a toujours décrite, ce remplissage alluvial formerait alors dans le domaine saharien un seul aquifère avec les dépôts mio-pliocènes, mais reçoit aussi des apports des terrains crétacés du domaine atlasique.

Au terme de cette étude, nous pensons avoir dégagé les principales caractéristiques, et avoir contribué utilement à la connaissance du remplissage alluvial de la vallée de l'oued M'Zi. Nous espérons que ce travail retiendra l'attention des autorités chargées de la planification des ressources, et incitera à améliorer notre recherche par de nouvelles études (notamment sur les différents aquifères de la région).

=-=-=-=

BIBLIOGRAPHIE

ABADA A. et ISSAADI A. (1977) Contribution à l'étude hydrogéologique de la région de Laghouat.
D.E.A. Université d'Alger.

BELLION Y.J.C. .- Etude géologique et hydrogéologique de la terminaison occidentale des Monts du Bellezma (Algérie).
Thèse de Doctorat de 3ème cycle; Université de Paris VI.

B.N.E.H. Alger.- Barrage de Seklafa dans la wilaya de Laghouat. Etude de faisabilité.
C - Hydrogéologie 2 - Annexes du rapport.
Secrétariat d'état à l'hydraulique. Alger.

CASTANY G. (1967).- Traité pratique des eaux souterraines.
Ed. DUNOD, Paris.

CASTANY G. (1968).- Prospection et exploitation des eaux souterraines.
Ed. DUNOD, Paris.

CONRAD G., MARCE A. et OLIVE P. (1975).- Mise en évidence, par le tritium de la recharge actuelle des nappes libres de la zone aride saharienne (Algérie).
Journal of Hydrology, 27 (1975) 207-224 Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

CONSTANTINIDIS D. et SARROT REYNAULD J. (1978).- Comparaison des méthodes de détermination du coefficient d'emmagasinement des nappes aquifères.
Compte-rendu du 103è Congrès National des Sociétés Savantes. Nancy, Vol.IV, pp. 153-164.

DEHAYS H. (1980).- Paléomorphologie et circulation des eaux souterraines.
Etude hydrogéologique des ressources en eau de la haute vallée de la Fure et de ses relations avec les bassins de Paladru et de l'Ainan (Bas Dauphiné oriental).
Thèse de Doctorat de Spécialité, Université de Grenoble.

D.E.M.R.H. Alger (Direction des Etudes du Milieu et de la Recherche Hydraulique).
STROJEXPORT PRAGUE (1975). Prospection géophysique dans la région de l'oued M'Zi.
Secrétariat d'Etat à l'Hydraulique - Alger.

EL BATTI D. (1974).- Hydrogéologie de la plaine d'Enfidaville (Tunisie).
Thèse de Doctorat de 3ème cycle-Université de Grenoble.

EMBERGER J. (1960).- Esquisse géologique de la partie orientale des Monts des Ouled Nail (Atlas saharien - Algérie).
Publication du Service de la Carte géologique de l'Algérie. Bulletin n° 27 - Nouvelle série - 399 p.

FLANDRIN J. (1948).- Contribution à l'étude stratigraphique du Nummulitique algérien.
Bulletin du Service de la Carte de l'Algérie. 2ème série - Stratigraphie n° 19, 334 p.

FOROUGHI H. (1976).- Contribution à l'étude des nappes en pays aride. Essai de bilan hydrogéologique de la nappe de Kerman (Iran). Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Grenoble.

FOURNEAUX J.C. (1968).- Hydrogéologie du Grésivaudan. Thèse de Doctorat de 3ème cycle. Université de Grenoble.

GUERRE C. (1973).- Résultats d'essais de débits sur deux puits du périmètre de Mékhareg-Laghouat - Algérie. Rapport inédit.

GOUSKOV M. (1949).- Etude hydrogéologique dans les pays des Dayas (Annexes de Laghouat et de Djelfa). Rapport inédit.

GONFIANTINI R., CONRAD G., FONTES J. Ch., SAUZAY G. et PAYNE B.R. (1974).- Etude isotopique de la nappe du continental intercalaire et de ses relations avec les autres nappes du Sahara septentrional. Isotopes techniques in groundwater, hydrology. Proceeding of symposium Vienne. Vol. I, p. 227-247.

GRAY D.M. (1972) Editeur en Chef.- Manuel des principes d'hydrologie. (Publication du secrétariat, Comité national canadien de la Décennie hydrogéologique internationale.

IKEZOUHENE B. (1978).- Inventaire et enquête sur les débits extraits de la nappe alluviale de l'oued M'Zi. Laghouat Algérie. Rapport inédit.

KHAMMAR C. (1981).- Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'oued Kébir Ouest - Wilaya de Skikda (Algérie). Thèse de Docteur de 3ème cycle. Université de Grenoble.

KHIABANI - DALILI N. (1978).- Alimentation en eau des aquifères hétérogènes en pays aride. Caractéristiques hydrodynamiques et bilan hydrogéologique de la région de Fassa (Iran). Thèse de Docteur Ingénieur - Université de Grenoble.

KOSSEV I. (1975).- Alimentation en eau potable de la ville de Laghouat. Etude hydrogéologique sur les possibilités de l'alimentation en eau de la ville. Rapport inédit.

KRUSEMAN G.P. et DERIDDER N.A. (1974).- Interprétation et discussion des pompages d'essai. "International Institute for Land reclamation and Improvment. Wageningen The Netherlands" Bulletin 11 F, Traduit par MEILHAC A.

LAFITTE R. (1939).- Etude géologique de l'Aurès. Bulletin du Service de la Carte géologique . Algérie - 2ème série, n°15 - 451 p.

LASFARGUES P. (1979).- Cours de géophysique appliquée. Université d'Alger, Faculté des Sciences.

MECHAÏN, OLIVIER J.Y. et EL ARKASOUSI M. (1974).- Détermination des caractéristiques hydrodynamiques des sols. Archives de la D.E.M.R.H. Alger (Rapport inédit).

MINATOME (1976).- Les diagraphies différées. Département technique. Note technique n°4, p.20 - 22.

RICARD J. (1979).- Evaluation des ressources d'un aquifère d'après l'analyse du bilan en eau. Application au système aquifère de Tebessa-Morsott (Algérie). Thèse de Docteur de 3ème cycle. Université de Montpellier.

RITTER E. (1902).- Le djebel Amour et les monts des Oulad Naŷl (Nail). Bulletin du Service de la Carte Géologique de l'Algérie (n°3) 2ème série - 100 p.

ROCHE M.A. (1973 - Hydrogéologie de la Haute Saoura (Sahara nord occidental) Bulletin n° 43 - Publication du Service Géologique de l'Algérie.

ROCHE M. (1963).- Hydrogéologie de surface. Edition Gauthier - Villars, Paris.

RODIER J. (1966).- L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Ed. Dunod, Paris.

S.C.E.T. Coop. (1966).- Aménagement hydro-agricole de la plaine de Mékhareg. Etude hydrogéologique préliminaire. Société d'exploitation urbaine et rurale des eaux du Sahara (SODEXUR). Société Centrale pour l'Equipement du Territoire (Coopération).

SCHOELLER H. (1962).- Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique Recherche, exploitation et évaluation des ressources. Ed. Masson, Paris.

SELTZER P. (1946).- Le climat de l'Algérie. Etude publiée avec le concours de LASSERE A., GRANDJEAN A., AUBERTY R. et FOUREY - I.M.P.G.A. Alger.

SIMEON Y. (1980).- Etude hydrogéologique des sources thermominérales de Tarentaise (Savoie) - Brides-les-Bains; Salins-les-Thermes. La Lechere Thèse de Doctorat Spécialité Université de Grenoble.

TAHIR HUSSEIN M. (1980).- Sédimentologie et hydrogéologie des Formations de Piémont de la bordure soudanaise du rift de la mer Rouge au niveau des deltas de Tokar, Hoshiri et d'Arbaat. Thèse de Doctorat de 3ème cycle - Université de Grenoble.

VAN DER SLUYS A. (1963).- Etude de l'implantation d'un puits pour l'alimentation en eau potable du village d'El Assafia - Cherguia. Département de Laghouat. (Rapport inédit.)

WOSHAH A.A. (1978).- Ressources en eau des aquifères profonds en régions semi-arides.
Hydrogéologie du bassin versant de la rivière Zerqua.
Bilan d'exploitation de la plaine de Baga.
Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Grenoble.

==========

ANNEXES

- RELEVÉS PIÉZOMÉTRIQUES

- RÉSULTATS D'ANALYSES CHIMIQUES

— Légende des tableaux de relevés piézométriques —

1) Fluctuations maximums de la nappe

2) Fluctuations de la nappe entre la période du 1 au 15/12/1979 et la période du 1 au 15/03/1980

3) Fluctuations de la nappe entre la période du 1 au 15/03/1980 et la période du 1 au 10/05/1980

4) Fluctuations de la nappe entre la période du 1 au 10/05/1980 et la période du 20/06/ au 5/07/1980

RELEVES PIEZOMETRIQUES DE LA VALLEE DE L'OUED M'ZI (Année 1979 - 1980)

Périodes		1 au 15/12/1979		1 au 15/03/1980		1 au 10/05/1980		20/6 au 5/7 1980		Fluctuations de la nappe			
Points d'eau	Altitudes (m)	N.P. (m)	R. (Ωcm)	N.P. (m)	R. (Ωcm)	N.P. (m)	R. (Ωcm)	N.P. (m)	R. (Ωcm)	(1)	(2)	(3)	(4)
179/478	763,857	759,617	700	764,384	876	764,484	770	764,284	585	?			
187/478	772,734	762,084	400	762,592	408	762,242	424	761,292					
Pont Laghouat	788,025	775,215		775,225		775,465		775,455		0,25	+ 0,01	+ 0,24	- 0,01
Sondage pont	772,736	766,296		766,216		766,456		766,316		0,24	- 0,08	+ 0,24	- 0,14
101/478	768,159	762,209	690	762,299	629	762,909	640	762,159	654	0,75	+ 0,09	+ 0,61	- 0,75
100/478	769,981	762,931	540	763,071	180	762,731	603	762,471	617	0,6	+ 0,14	- 0,34	- 0,26
97/478	773,054	762,124	856	762,294	259	761,924	234	761,094	282	1,2	+ 0,17	- 0,37	- 0,83
94/478	764,723	761,133		761,283	391	761,163	378	760,983		0,3	+ 0,15	- 0,12	- 0,18
92/478	766,852	760,352	331	760,602	424	760,482	478	760,102	640	0,5	+ 0,25	- 0,12	- 0,38
53/478	763,602	759,552	398	759,892	644	759,562	754	759,233	640	0,659	+ 0,34	- 0,33	- 0,33
63/478	761,808	754,038		753,708	623	753,518	611	753,008	654	0,51	- 0,33	+ 0,19	- 0,51
40/478	763,857	759,617	700	760,027	428	759,787	177	759,447	666	0,75	+ 0,41	- 0,24	- 0,34
47/478	768,107	760,327	1122	760,577	997	760,477	1014	760,287	1094	0,29	+ 0,25	- 0,1	- 0,19
D.H.W.	762,852	756,112	283			756,232	257	755,952	262				- 0,28
Loumi	763,277	759,077	539	759,07	583	757,807		756,9	533	2,17	- 0,007	- 1,26	- 0,90
36/478	758,343	748,423	798	748,343	581	748,443	741	748,413	853	0,1	- 0,008	+ 0,1	- 0,03
35/478	749,910	745,84	611	745,97	639	745,79	616	745,65	586	0,32	+ 0,13	- 0,18	- 0,14
34/478	751,251	744,521	653	744,591	617,56	744,511	644	744,341	623	0,25	+ 0,07	- 0,08	- 0,17
28/478	750,214	742,914	653	742,994	570	742,864	590	742,744	587	0,25	+ 0,008	- 0,13	- 0,12
173/478	758,837	735,797	502	735,567	334,08	735,387	326	735,437	319	0,41	- 0,23	- 0,18	+ 0,05
176/478	760,462			736,432	360	736,502	293	736,392	618			+ 0,07	- 0,11
Aviation	757,722	737,852	323	736,872		736,982	1076	737,002	901	0,98	- 0,98	+ 0,11	- 0,02
Ferme militaire	758,114	738,054		739,254		738,754	897	738,614	318	1,2	+ 1,2	- 0,5	- 0,14
Reg	758,262	738,092	426	738,902	413	738,572	406	738,312	414	0,81	+ 8	- 0,33	- 0,26
El Harrach	757,722	737,054	866	738,077	745	738,107	802,89	737,267	815	1,05	+ 1,02	+ 0,03	- 0,84
P7/478	757,059	743,729	630	741,709		742,119	763	741,329	727	2,4	- 2,02	+ 0,41	- 0,79
Saouli	759,053	739,303		740,913		739,713		739,583		1,61	+ 1,6	- 1,2	- 0,13
Dehan	758,347				1456		335		388				
Naïdjet	759,892	745,322		742,832	444	742,192	407	741,662	445	3,66	- 2,49	- 0,64	- 0,53
Houmami	761,606	748,876	649	747,026	592	747,786	590	747,066	582	1,85	- 1,85	+ 0,76	- 0,72
P9/478	751,948	734,248		733,698		733,958		733,748	564	0,55	- 0,55	+ 0,26	- 0,21
F2/478	766,206	760,736	1000	760,776	1125	760,736	1150	760,806	963				
F1/478	758,523	748,283	749	748,523	990	748,403	695	748,453	725				

Périodes		1 au 15/12/1979		1 au 15/03/1980		1 au 10/05/1980		20/06 au 5/07/1980		Fluctuations de la nappe			
Points d'eau	Altitudes (m)	N.P. (m)	R. (Ω cm)	N.P. (m)	R. Ωcm)	N.P. (m)	R (Ωcm)	N.P. (m)	R. (Ωcm)	(1)	(2)	(3)	(4)
P13/478	740,590	730,05	920	731,54	886	730,05	920	728,3	914	3,24	+ 1,49	- 1,49	- 1,75
26/478	728,695	726,265	613		620	726,115	613	725,995	609				- 0,12
25/478	741,995	725,575	601										
11/478	741,550	724,47		724,3	527	724,28	578	724,12	644	0,35	+ 0,17	- 0,02	- 0,16
20/478	759,490	747,91	481	748,19	517	747,91	481	747,33	582	0,86	+ 0,28	- 0,28	- 0,58
12/478	749,170	736,29	260	736,78	243	736,78	260	735,97	419	0,81	+ 0,49	0	- 0,81
2/478	766,224	754,184	405	754,714	364	754,554		754,054	397	0,66	+ 0,53	- 0,16	- 0,5
7/478	765,399	753,859	479	753,799	445	753,729	441	753,779	419	0,13	- 0,06	- 0,07	+ 0,05
P10/478	747,314	733,784	961	733,694	729	733,664	1078	733,524	1076	0,26	- 0,09	- 0,03	- 0,14
116/478	748,374	733,334	697	733,084	835	732,894	863	732,634	929	0,7	- 0,25	- 0,19	- 0,26
125/478					887		809		850				
P27/478	748,168	731,758	697	731,988	675	731,618	684	731,398	661	0,59	+ 0,23	- 0,37	- 0,22
121/478	746,830	730,68	699	731,04	612	730,76	699	730,47	656	0,57	+ 0,36	- 0,28	- 0,29
122/478	747,193	731,303	814	731,593	743	731,213	756	730,933		0,66	+ 0,29	- 0,38	- 0,28
114/478	749,739	735,399	728	734,589	637	734,399	642	734,079	651	1,32	- 0,81	- 0,19	- 0,32
127/478	743,408	728,358	511	728,428	413	728,258	428	728,006	856	0,42	+ 0,07	- 0,17	- 0,252
129/478	741,285	728,845	903	728,26	835	728,775	822	728,685	446	0,58	- 0,585	+ 0,52	- 0,09
130/478	739,862	728,362	882	728,262	836	728,172	800	727,942	833	0,42	- 0,1	- 0,09	- 0,23
133/478	738,485	726,295	577	726,235	549	725,895	666	725,805	704	0,49	- 0,06	+ 0,34	- 0,09
P14/478	738,847	723,977	453	723,847	419	723,132	438	723,737	400	0,85	- 0,13	- 0,71	+ 0,60
148/478	738,182	719,952	565	720,872	516	720,467	539	719,862	532	1,01	+ 0,92	- 0,40	0,60
147/478	735,817			719,297	634	719,247	590	719,317	635			- 0,05	+ 0,07
150/478	736,080	718,08	714	718,85	716	718,8	714	718,83	721	0,77	+ 0,77	- 0,05	+ 0,75
149/478	737,884	718,884	739	718,764	707	718,704	693	718,724	728	0,14	- 0,11	- 0,06	+ 0,2
P19/478	735,451	721,091	528	720,980	458	720,951	1828	720,951	1660	0,14	- 0,11	- 0,029	0
P22/478	732,866	718,456	766	717,826	647	717,716	761	717,676	767	0,78	- 0,63	- 0,11	- 0,04
143/478	734,129	716,899	813	717,644	782	717,454	829	717,514	763	0,74	+ 0,747	- 0,19	+ 0,06
145/478	732,253	716,303		716,243	748	716,153	776	716,113	773	0,19	- 0,06	- 0,09	- 0,04
146/478	732,521	716,201	632	716,161	609	716,111	603					- 0,05	

RELEVES PIEZOMETRIQUES DE LA VALLEE DE L'OUED M'ZI (année 1979-1980)

RELEVES PIEZOMETRIQUES DE LA VALLEE DE L'OUED M'ZI (année 1979-1980)

Périodes		1 au 15/12/1979		1 au 15/03/1980		1 au 10/05/1980		20/06 au 5/07/1980		.Fluctuations de la nappe			
Points d'eau	Altitudes (m)	N.P. (m)	R. (Ω cm)	N.P. (m)	R. (Ω cm)	N.P. (m)	R. (Ωcm)	N.P. (m)	R. (Ωcm)	(1)	(2)	(3)	(4)
P28/479	739,833	729,443	665	729,183	571	729,173	508	729,113	585	0,33	- 0,26	- 0,01	- 0,06
3/479	734,337	719,247		719,217	573	718,927	600	718,837	596	0,41	- 0,03	- 0,29	- 0,09
P25/479	732,721	717,05		717,561	659	717,521	635	717,371	609	0,51	+ 0,51	- 0,04	- 0,15
P43/479	730,725	715,105		714,745	792	714,695	666	714,665	525	0,44	- 0,36	- 0,05	- 0,03
P18/479	736,051	720,341	1138	720,191	999	720,001	1137	719,791	1160	0,55	- 0,15	- 0,19	- 0,21
P17/479	731,428	717,798		717,368	418	717,318	495	717,158	414	0,64	- 0,43	- 0,05	- 0,16
40/479	730,519	712,999	717	712,749	676	712,659	591	712,259	654	0,74	- 0,25	- 0,09	- 0,4
41/479	730,010	713,45		713,3	820	712,407	765	712,18	753	1,27	- 0,15	- 0,89	- 0,23
39/479	727,765	712,305	815	712,165	772	712,075	760	712,085	772	0,23	- 0,14	- 0,09	+ 0,01
42/479	729,227	713,837	618	713,767	573	713,697	590	713,667	610	0,17	- 0,07	- 0,07	- 0,03
34/479	726,996	712,296	529	712,176	472	712,116	484	712,096	477	0,2	- 0,12	- 0,06	- 0,02
33/479	727,767	712,087		712,877	566	712,637	591	712,457	597	0,79	+ 0,79	- 0,24	- 0,18
35/479	724,814	710,884		710,794	441	710,141	469	710,644	493	0,24	- 0,09	- 0,65	+ 0,503
43/479	725,096		728	710,221	780	710,141	772	710,101				- 0,08	- 0,06
37/479	726,213	709,303	726	709,203	660	709,063	385	709,003	349	0,3	- 0,1	- 0,14	
38/479	722,283	708,303	608	708,363	592	708,098	598	708,033	597	0,33	+ 0,06	- 0,26	- 0,06
25/479	718,706	708,996	557	708,906	547	708,876	462	708,846		0,15	- 0,09	- 0,03	- 0,03
48/479	713,994	704,354		704,344	868	704,264	890	704,194	933	0,16	- 0,01	- 0,08	- 0,07
54/479	715,019	703,699		703,849	947	703,729	985	703,719		0,28	+ 0,15	- 0,12	- 0,01
89/479	711,04	705,85		705,87	361	705,51	366	705,35	373	0,52	- 0,02	- 0,36	- 0,16
71/479	710,012			703,442	290	702,912	309	702,772	319			- 0,53	- 0,14
83/479	712,173	704,443	405	704,563	560	704,023	411	704,133	404	0,54	+ 0,12	- 0,54	+ 0,11
61/479	710,010	702,76		702,910	241	702,68	264	702,49	254	0,042	+ 0,15	- 0,23	- 0,19
143/479	706,129	701,989		702,139	260	701,559	268	701,359	254	0,78	+ 0,15	- 0,58	- 0,2
144/479	704,090	701,060	284	701,69	260	701,16	278	700,86	253	0,83	+ 0,63	+ 0,53	- 0,3
129/479	705,176	699,486	365	699,786	418	699,736	439	699,556	446	0,3	+ 0,3	- 0,05	- 0,18
P2/479	712,657	703,687	599	703,837	580	703,337	393	703,137	576	0,7	+ 0,15	- 0,5	- 0,2
P30/479	717,983	705,553	651	705,623	675	705,093	642	704,883	591	0,74	+ 0,07	- 0,53	- 0,21
100/479	713,268	703,158	540	703,278	489	702,968	516	702,778	491	0,5	+ 0,12	- 0,31	- 0,19
115/479	711,221	702,041		702,211	210	701,871	264	701,651	269	0,56	+ 0,17	- 0,34	- 0,22
11/452	719,701	707,181	639	707,121	566	707,111	560	706,631	600	0,55	- 0,06	- 0,01	- 0,48
180/479	705,549	699,289	332	699,369	310	699,089	301	698,949	318	0,42	+ 0,08	- 0,28	- 0,14
184/479	701,723	698,813	255	698,963	233	698,593	237	698,413	245	0,55	+ 0,15	- 0,37	- 0,18

Périodes		1 au 15/12/1979		1 au 15/03/1980		1 au 10/05/1980		20/06 au 5/07/1980		Fluctuations de la nappe			
Points d'eau	Altitudes (m)	N.P. (m)	R. (Ωcm)	N.P. (m)	R. (Ωcm)	N.P. (m)	R. (Ωcm)	N.P. (m)	R. (Ωcm)	(1)	(2)	(3)	(4)
185/479	704,742	698,482	408	698,482	429	698,062	379	697,982	367	0,5	+ 0,2	- 0,42	- 0,08
P32/452							70						
166/479	701,699	696,649	170	696,709	146	696,289	109,63	696,239	93	0,47	+ 0,06	- 0,42	- 0,05
168/479	699,513	696,023	242	696,073	-	695,663		695,403		0,46	+ 0,05	- 0,41	- 0,26
231/479	699,499	696,459	230	696,819	230	696,359	206	696,109	208	0,71	+ 0,36	- 0,46	- 0,25
205/479	700,597	698,487	354	698,827	312,44	698,407	367	697,847	326	0,98	+ 0,34	- 0,42	- 0,56
232/479	699,493	695,693	246	696,163	239	695,613	215	695,383		0,78	+ 0,47	- 0,55	- 0,23
212/479	700,923			696,813	254								
235/479	699,551	695,361	253	695,531	227	695,113	202	694,971	211	0,56	+ 0,17	- 0,42	- 0,142
218/479	699,574	695,754	202	696,074	176	695,694	180	695,454	187	0,62	+ 0,32	- 0,61	- 0,24
219/479													
236/479	698,719	695,719	223	695,429	299	695,089	213	694,789	191	0,93	- 0,29	- 0,34	- 0,3
5/452	702/833		237	696,553	274	696,133	271	695,813	247			- 0,42	- 0,32
8/452	699,735		167	694,235	138	694,165	158	694,075	119			- 0,08	- 0,09
248/479	699,600	694,32	204	694,38	158	694,22	168	693,85	177	0,53	+ 0,06	- 0,16	- 0,37
264/479	699,471	694,421		694,481	247	694,511		694,361		0,18	+ 0,06	+ 0,03	- 0,15
229/479	696,031	694,191	122	694,441	273	694,471	143	694,411	136	0,28	+ 0,25	+ 0,03	- 0,06
265/479	695,658	693,638		693,798	257	693,698		693,448		0,35	+ 0,16	- 0,1	- 0,25
Lagoune	697,305	694,815	194	695,267	172	695,095	166	694,965	174	0,45	+ 0,452	- 0,17	- 0,13
255/479	696,503	692,693	238	693,193	213	692,883	219	692,723	247	0,5	+ 0,5	- 0,31	- 0,16
266/479	693,627	692,727	165	693,067	134	692,857	140	692,717	160	0,35	+ 0,34	- 0,21	- 0,14
269/479	690,619	688,179	141	688,729	116	688,859	80	688,649	47	0,68	+ 0,55	+ 0,13	- 0,21
272/479	688,992	686,832	143	686,882	143	686,062	139	687,032	144	0,82	+ 0,05	- 0,82	+ 0,97
274/479	689,666	686,616	138	687,016	115	686,466	136	686,926	121	0,55	- 0,4	- 0,55	+ 0,46
275/479	687,147	685,837	174	686,037	84	686,017	40	685,807	37	0,23	- 0,2	0,02	- 0,21
P37/479						692	124	692,189	33				+ 0,189
P36/479	697,143	691,623	146	691,683	140	691,653	131	691,463	135	0,22	+ 0,06	- 0,03	- 0,19
P38/479	691,401	688,161		688,301		688,171	110	687,991		0,31	+ 0,14	- 0,13	+ 0,18
273/479	701,099	693,349	862	693,429	1053	693,279	1084	693,219	1112	0,21	+ 0,8	- 0,15	- 0,06

RELEVES PIEZOMETRIQUES DE LA VALLEE DE L'OUED M'ZI (année 1979-1980)

RESULTATS DES ANALYSES D'EAU

Points d'eau	Date	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO_4 mg/l	HCO_3 mg/l	NO_3 mg/l	Cond. 1/10 m. mhos/cm	PH	R.S. mg/l
El Harrach	30/8/79	136	65	45	6	90	460	134	52	14	7,4	988
63/478	29/8/79	176	96	95	7	165	608	159	2	18	7,1	1 308
189/478	29/8/79	128	157	68	7	300	480	177	25	22	7,4	1 342
P27/478	31/8/79	228	86	58	6	100	713	122	33	18	7,2	1 346
127/478	31/8/79	270	178	73	11	210	1 100	116	17	31	7,4	1 975
6/479	31/8/79	96	52	128	7	85	445	214	34	15	7,4	1 061
34/479	31/8/79	200	132	123	12	195	963	153	21	24	7,5	1 799
110/479	31/8/79	216	124	105	9	190	838	146	0	23	7,5	1 628
166/479	31/8/79	368	361	675	23	1 075	2 430	293	7	82	7,5	5 232
232/479	1/9/79	314	300	250	15	325	2 075	181	3	54	7,4	3 463
274/475	31/8/79	430	505	825	31	1 363	4 850	390	0	81	7,4	6 394
P10/479	31/8/79	136	62	80	9	115	428	153	12	15	7,4	995
8/478	1/9/79	138	109	65	8	220	413	165	18	18	7,2	1 136
40/479	31/8/79	216	60	60	7	120	550	140	32	17	7,4	1 185
3/479	29/8/79	150	101	93	15	180	405	317	8	20	7,5	1 269
100/479	31/8/79	230	130	48	7	100	950	159	17	24	7,4	1 641
11/452	29/8/79	138	101	103	8	235	450	250	28	20	7,3	1 313
8/452	29/8/79	454	442	95	18	1 213	1 440	238	65	65	7,2	3 904
El Harrach	6/2/80	128	97	73	10	130	533	165	2	17	7,9	1 138
63/478	6/2/80	130	118	85	5	160	625	165	8	20	8	1 296
189/478	5/2/80	250	180	168	6	295	900	311	12	33	7,6	2 122
Fougara 1	5/2/80	110	101	65	8	110	575	165	7	17	7,9	1 141
P27/478	5/2/80	164	87	58	7	75	638	134	0	18	7,8	1 163
6/479	6/2/80	98	80	153	7	125	533	214	7	18	7,9	1 217
34/479	5/2/80	164	132	123	7	210	775	171	6	25	8	1 588
110/479	5/2/80	164	122	98	11	165	775	153	6	23	8	1 494
166/479	5/2/80	340	408	900	15	930	2 900	317	15	90	7,6	5 825
232/479	5/2/80	258	190	90	25	295	900	311	10	33	7,7	2 079
9/478	5/2/80	188	122	93	10	175	775	183	6	25	7,8	1 552
Pont Laghouat	6/2/80	106	97	108	21	95	625	116	0	18	8,4	1 168
8/452	5/2/80	340	564	175	5	1 388	1350	256	4	71	7,6	4 082

RESULTATS DES ANALYSES D'EAU

points d'eau	Date	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO_4 mg/l	HCO_3 mg/l	NO_3 mg/l	Cond. 1/10 m. mhos/cm	PH	RS mg/l
El Harrach	8/3/1980	196	137	90	8	180	833	128	34	25	8,3	1 606
Naïdjet	8/3/1980	290	119	215	14	285	1063	189	25	30	7,9	2 100
63/478	7/3/1980	186	88	200	8	200	683	153	10	20	8,1	1 426
189/479	7/3/1980	134	88	75	8	140	480	146	14	16	8,4	1 085
Foggara	9/3/1980	168	72	60	8	155	583	153	13	18	8,1	1 212
P27/478	9/3/1980	234	78	53	8	100	738	134	43	20	8	2 385
127/478	9/3/1980	326	121	80	12	85	1250	55	31	25	8,2	1 883
6/479	5/3/1980	136	48	150	8	120	500	220	51	17	8	1 233
34/479	10/3/1980	194	138	113	12	230	933	98	50	26	8,1	1 769
9/478	10/3/1980	244	127	85	13	225	970	134	37	27	8	1 835
71/479	5/3/1980	356	206	185	13	450	1540	153	38	45	8,1	2 941
110/479	9/3/1980	210	97	88	7	145	788	159	33	20	8	1 527
166/479	14/3/1980	360	626	800	25	1275	3130	146	10	104	8,2	6 372
212/479	12/3/1980	438	258	250	15	575	1915	207	18	53	7,9	3 676
274/479	30/3/1980	484	631	880	34	1800	3280	384	1	121	7,9	7 474
EL Harrach	5/6/1980	176	46	63	8	115	418	146	39	14	7,9	1 011
Naïdjet	6/5/1980	284	115	180	14	250	970	305	25	27	7,7	2 143
63/478	7/5/1980	186	78	95	9	150	650	165	14	18	7,9	1 347
P27/478	7/5/1980	230	71	58	8	105	738	110	36	19	8	1 356
6/479	15/5/1980	144	50	150	8	105	550	214	45	17	7,7	1 266
34/479	9/5/1980	196	110	113	12	240	683	159	53	24	7,8	1 567
9/479	8/5/1980	240	144	83	13	230	908	183	41	27	7,6	1 659
71/479	12/5/1980	350	220	183	13	400	1590	153	41	45	8,1	2 950
110/479	12/5/1980	300	118	65	9	115	1045	171	41	23	7,9	1 864
274/479	30/4/1980	494	635	900	32	1800	3530	427	0	121	7,7	7 818

RESULTATS DES ANALYSES D'EAU

points d'eau	Date	Ca mg/l	Mg^+ mg/l	Na+ mg/l	K+ mg/l	Cl- mg/l	SO_4 mg/l	HCO_3 mg/l	NO_3	Cond	PH	RS mg/l
El Harrach	20/6/1980	124	74	60	7	120	460	146	0	14	7	991
Naïdjet	20/6/1980	126	73	50	6	100	500	55	6	79	7,9	916
63/478	22/6/1980	146	104	98	8	170	658	159	0	18	7,5	1343
189/478	22/6/1980	128	67	80	7	145	483	146	0	15	7,5	1056
Foggara	22/6/1980	136	101	60	9	155	588	159	0	17	7,7	1208
P27/478	23/6/1980	180	110	55	8	115	738	128	0	17	7,5	1334
127/478	22/6/1980	258	188	90	10	450	880	116	0	30	7,4	1992
6/479	30/6/1980	96	67	140	7	115	525	220	0	16	7,3	1170
34/479	24/6/1980	170	155	115	10	210	835	153	0	24	7,7	1488
39/479	30/6/1980	136	77	55	7	100	1208	128	2	15	7,3	1713
P29/479	10/6/1980	94	100	128	9	170	538	165	0	18	7,7	1204
71/479	26/6/1980	320	209	200	12	340	1500	159	0	45	7,6	2740
110/479	27/6/1980	184	122	90	8	160	888	146	3	25	7,6	1601
166/479	29/6/1980	348	641	1850	32	2000	4600	360	0	128	7,3	9831
232/479	27/6/1980	330	371	325	19	563	2315	232	0	64	7,3	4755
9/478	24/6/1980	194	150	83	12	205	838	177	0	24	7,7	1659
274/478	25/6/1980	368	413	90	28	1800	1130	433	0	81	7,2	4262
274/478	25/5/1980	360	696	88	28	1700	1270	348	0	79	7,6	4490