



HAL
open science

Alimentation d'un aquifère hétérogène en pays aride : hydrogéologie de la plaine de Mehmandoust (Iran)

Mohammad Reza Mahvi

► **To cite this version:**

Mohammad Reza Mahvi. Alimentation d'un aquifère hétérogène en pays aride : hydrogéologie de la plaine de Mehmandoust (Iran). Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1977. Français. NNT : . tel-00814360

HAL Id: tel-00814360

<https://theses.hal.science/tel-00814360>

Submitted on 17 Apr 2013

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.

N° d'ordre

DOUBLE
25.142
1977
106

205142
1977
106

THESE
présentée à

**L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE**

pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE SPECIALITE
(GEOLOGIE APPLIQUEE)
OPTION HYDROGEOLOGIE**

par

MOHAMMAD REZA MAHVI

**ALIMENTATION D'UN AQUIFERE HETEROGENE
EN PAYS ARIDE
HYDROGEOLOGIE DE LA PLAINE DE
MEHMANDOUST**

(IRAN)



Soutenue le 16 septembre 1977 devant la commission d'examen

R. BARBIER	Professeur U.S.M.G	Président
G. CASTANY	Directeur Scientifique au B.R.G.M	Examineur
R. MICHEL	Professeur U.S.M.G	Examineur
J. SARROT-REYNAULD	Professeur U.S.M.G	Rapporteur Directeur de la thèse

205142
1977
106

THESE
présentée à

**L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE**

pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE SPECIALITE
(GEOLOGIE APPLIQUEE)**

OPTION HYDROGEOLOGIE

par

MOHAMMAD REZA MAHVI

ALIMENTATION D'UN AQUIFERE HETEROGENE

EN PAYS ARIDE

HYDROGEOLOGIE DE LA PLAINE DE

MEHMANDOUST

(IRAN)



T.77 / 1848

Soutenue le 16 septembre 1977 devant la commission d'examen

R. BARBIER	Professeur U.S.M.G	Président
G. CASTANY	Directeur Scientifique au B.R.G.M	Examineur
R. MICHEL	Professeur U.S.M.G	Examineur
J. SARROT-REYNAULD	Professeur U.S.M.G	Rapporteur Directeur de la thèse

A mes Parents

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur le Professeur VERIADOU qui m'a permis de réaliser
ces travaux géométriques des Sécheresses au Laboratoire de Géomorphologie
de l'Institut National de la Recherche Scientifique.

AVANT-PROPOS

Ce mémoire qui est le résultat de mes études, a été réalisé grâce à l'aide financière et matérielle de la Société Métallurgique d'Iran.

Ces études ont été effectuées de 1975 à 1977 et ont été complétées à Grenoble pendant l'hiver et l'été 1977.

Il m'est agréable d'exprimer, ici, ma reconnaissance à tous ceux qui aux titres les plus divers, ont contribué à la réalisation de cet ouvrage.

Monsieur le Professeur SARROT, Directeur du Service Hydrogéologique de l'Institut Dolomieu, qui m'a accueilli à l'Institut Dolomieu lors de mon premier séjour en France, m'enseigna et m'orienta vers l'Hydrogéologie et pendant ses voyages en Iran et aussi à Grenoble, malgré ses nombreuses occupations n'a ménagé ni son temps, ni ses conseils pour que ce travail puisse voir le jour.

Les conseils sur le terrain, et les critiques qu'il a bien voulu apporter à mon manuscrit, m'ont été d'un très grand secours.

Ma reconnaissance va également à Monsieur AMER-ALI-CHEIBANI, Président Général de la Société Métallurgique d'Iran et à Monsieur CHAKERI, Directeur des Affaires d'Explorations et d'Exportations des mines de la Société Métallurgique d'Iran qui m'ont permis d'entreprendre et de mener à bien ce travail.

J'exprime mes remerciements au Gouvernement Iranien qui m'a attribué la bourse mise à sa disposition par l'Ambassade Impériale d'Iran.

Je remercie Monsieur le Professeur BARBIER qui me fait l'honneur de Présider le Jury et me fait bénéficier de sa connaissance de l'Iran.

J'exprime ma gratitude à Monsieur le Professeur MICHEL qui a bien voulu participer au Jury et qui est à l'origine de la coopération entre les Géologues iraniens et l'Institut Dolomieu, et qui a bien voulu participer à ce Jury.

Je remercie Monsieur le Professeur G. CASTANY qui a bien accepté de participer au Jury et qui connaît tous les problèmes de l'Hydrogéologie des régions arides.

Je remercie Monsieur le Professeur PERRIAUX qui m'a permis de réaliser les analyses granulométriques des échantillons au Laboratoire de Sédimentologie de l'Institut Dolomieu.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur USELLE qui a bien voulu malgré ses lourdes tâches discuter certains problèmes sédimentologiques.

Je remercie également tout le corps enseignant de l'Institut Dolomieu.

J'ai également plaisir à remercier tous mes collègues de la Société Métallurgique de Chahroud qui m'ont apporté une collaboration extrêmement fructueuse dans cette étude.

Je remercie Madame REVOL pour la part qu'elle a pris dans l'édition de ce texte.

Enfin, comment remercier mes parents qui m'ont toujours encouragé dans l'accomplissement de mes études ?

Je leur dédie cet ouvrage.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS

- But et méthode de l'étude
 - Géographie physique
 - Le relief
 - Géographie de la région
 - Analyse du relief par tranches d'altitude
 - Population et ressources (géographie humaine)
 - L'hydrographie
-

CHAPITRE I

1.1. BUT ET METHODE DE L'ETUDE

La région de Damghan-Chahroud qui fait l'objet de cette étude se situe au N.E. de l'Iran, à l'Est de la province de Damghan et à l'Ouest de la province de Chahroud, en bordure du Kavir de sel, et au pied sud de la chaîne de l'Elbourz.

Il y a six années que la Société Métallurgique d'Iran a commencé une intense activité pour l'exploration et l'exploitation des mines de charbon au N.E. de Damghan, dans la formation de Shemshak dans la région de Tazareh. Pour loger ses fonctionnaires on a commencé à construire une ville avec une capacité de 30.000 personnes.

Cette ville se situe au pied de la montagne de Tazareh (Nord de Damghan) et en bordure de la plaine de Mehmandoust à une cote environ 1400m.

Pour fournir les besoins en eaux potable et industrielle de l'établissement minier et aussi pour la ville neuve on a organisé un groupe d'hydrogéologie pour étudier et rechercher l'eau dans les massifs et aussi dans la plaine.

Le projet de ce travail se trouve dans le tableau suivant:

TABLEAU n°1

Localité	Année	l/s - Besoin d'eau
Mine de Tazareh	: 1977	: 18
	: 1981	: 30
	: 1983	: 30
	: 1990	: 25
=====		
Ville de Mehmandoust	: 1977	: 17,5
	: 1981	: 29
	: 1983	: 29
	: 1990	: 34,8

./..

Dans cette région, il existe les problèmes suivants:

- 1) la cote élevée de la ville et la profondeur de la nappe de la plaine qui est supérieure à 150m, rendent difficile le pompage d'eau vers la ville;
- 2) les nappes de la plaine alluviale sont riches en sulfates, du fait de l'existence des sédiments marneux gypsifères du Néogène;
- 3) l'évapotranspiration intense dans la plaine de Mehmandoust a donné naissance à un bassin d'évaporation et la nappe superficielle au Sud, présente une eau très salée. Il y a des dépôts de sel sur le terrain (Kavir du sel où plaine salifère);
- 4) le climat de la région est aride au Sud de Damghan et semi-aride mais tempéré au Nord. Les moyennes des précipitations de la plaine dépassent rarement 150mm, mais les précipitations sur les montagnes au Nord sont plus abondantes, et l'on a beaucoup de neige pendant l'hiver.

Dans les chapitres suivants nous allons vérifier les différents problèmes qui existent dans la recherche d'eau potable dans les pays arides et aussi semi-arides.

1.2. GEOGRAPHIE PHYSIQUE

1.2.1. - Situation géographique et limites de la région étudiée.

La région de Mehmandoust dont l'hydrogéologie de la plaine fait l'objet de notre étude tire son nom du village situé en son centre. Sa réputation est due aux événements historiques.

Cette partie de la plaine de Damghan-Chahroud, d'une superficie de 528 km² présente une longueur de 32,5 km et une largeur de 16,25km. Ses cotes correspondent aux longitudes et latitudes suivantes:
longitudes 54°-21' et 54°-42' Est
latitudes 36°-9' et 36°-18' Nord

1.2.2. Limites

Elle est délimitée au Nord par les premières avancées méridionales de la chaîne de l'Elbourz au Sud par Dasht-é-Kavir, à l'Ouest par la dépression de Damghan, enfin à l'Est par le grand cône de déjection du village Babavalié.

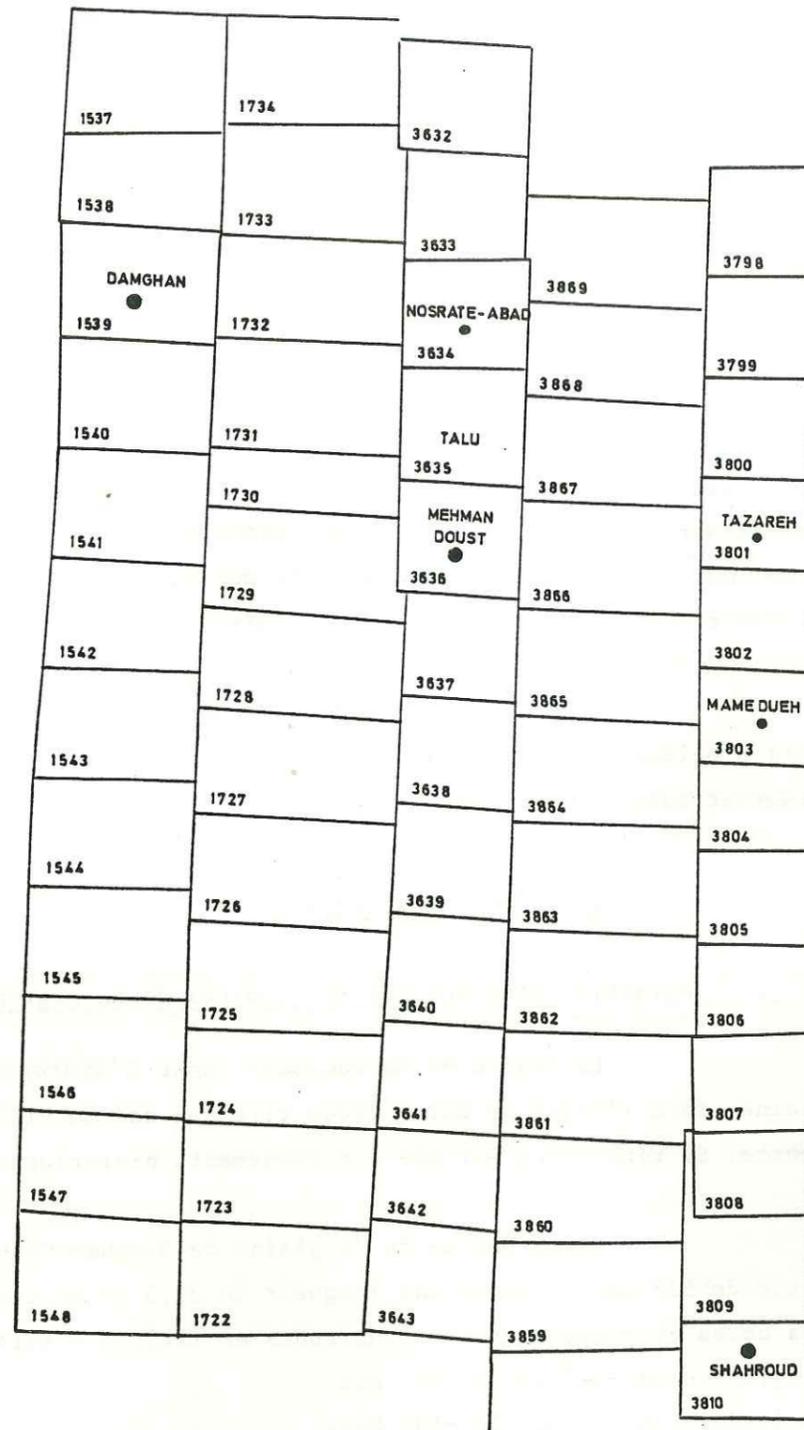


Fig.1 Tableau d'assemblage des photographies aeriennes de la region de Damghan
Echelle 1/300,000

1.2.3. - Grandes unités géographiques

Géographiquement, nous distinguerons trois zones:

- la bordure montagneuse
- la chaîne de l'Iran central
- le piedmont de Damghan proprement dit caillouteux, à pentes encore fortes
- la plaine de Damghan, étendue plate et limoneuse.

1.3. LE RELIEF

1.3.1. - Couverture en photographies aériennes

Nous avons effectué le levé régulier à l'aide des photographies aériennes à l'échelle approximative de 1/60.000 établies par l'armée américaine et mises à la disposition du Gouvernement iranien; le tableau d'assemblage de ces photographies aériennes correspond à la figure 1. Nous avons mis en service l'assemblage photographique 1/100.000 Damghan - Chahroud.

1.3.2. Cartographie

En raison de l'absence des points de triangulation, l'équipe de topographes de notre groupe d'hydrogéologie de la Société Métallurgique de Chahroud a passé sur le terrain. Elle avait pour but la mise à l'échelle des photographies en vue de réaliser la carte topographique exacte au 1/50.000 et aussi relever exactement des points d'eau importants (sondages, puits, ghanates, sources).

Un réseau de triangulation a été dressé à partir de 14 points de contrôle et de relèvement mesurés sur le terrain et en plus on a relevé 26 points d'eau sur le terrain (fig.2).

La lecture des angles a été réalisée à l'aide d'un théodolite. Pour établir les angles de triangulation principale on a mesuré une ligne de 3429,45m et à partir de cette base et de la triangulation principale on a reperé les points d'eaux nécessaires dans la région.

Le tableau n°2 montre des coordonnées de ces points.

Nous avons aussi utilisé

- la carte topographique au 1/50.000 de Damghan 1974 du Service géographique de l'armée de l'Iran à partir des photographies aériennes (avec une courbe tous les 20m)
- la carte au 1/250.000 du Service géographique de l'armée de l'Iran.

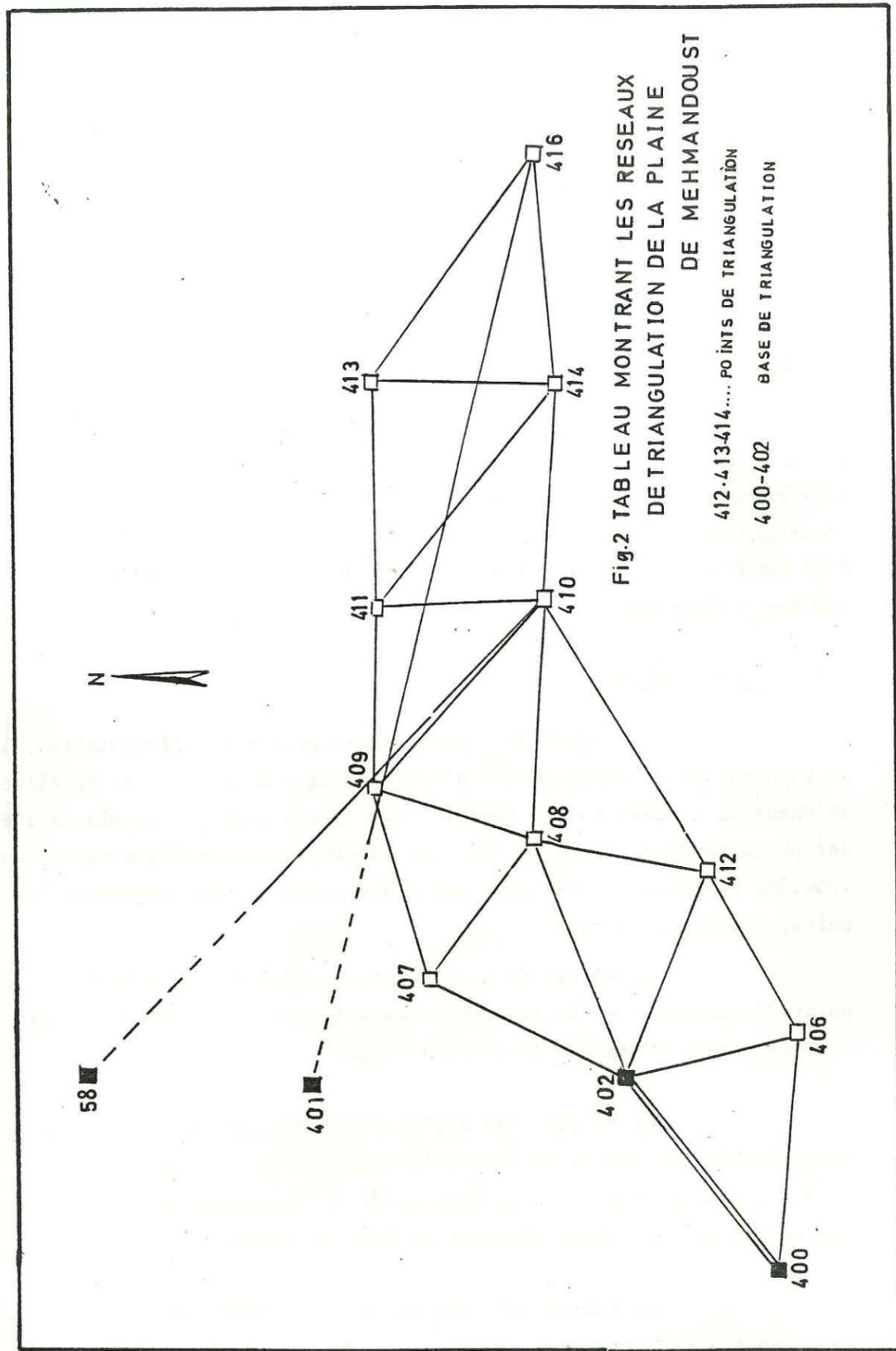


Fig.2 TABLEAU MONTRANT LES RESEAUX DE TRIANGULATION DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST DE MEHMANDOUST

412-413-414... POINTS DE TRIANGULATION
400-402 BASE DE TRIANGULATION

COORDONNEES DES POINTS DE TRIANGULATION ET DE RELEVEMENT DANS LA PLAINE DE MEHMANDOUST

N° DE REPERE	LOCALITE	X	Y	H.
400	-	: 276588, 07	: 4013007, 29	: 1253, 818
406	-	: 279648, 71	: 4010428, 72	: 1149, 37
412	-	: 282622, 84	: 401384, 61	: 1259, 289
408	-	: 283679, 41	: 4016137, 94	: 1242, 157
410	-	: 286886, 37	: 4015799, 42	: 1195, 817
414	-	: 291728, 61	: 4014531, 74	: 1143, 29
416	-	: 295763, 44	: 4016677, 47	: 1230, 39
413	-	: 292069, 09	: 4019081, 03	: 1345, 46
411	-	: 287990, 86	: 4018438, 64	: 1340, 368
409	-	: 284250, 85	: 4019232, 39	: 1395, 248
407	-	: 281751, 65	: 4017515, 37	: 1322, 82
402	-	: 279325, 06	: 4015073, 70	: 1294, 293
10	Ghanat-Hossein-Abad	: 270120, 13	: 4011727, 76	: 1180, 10
5	Ghanat-Zarin-Abad	: 279900, 08	: 4012682, 65	: 1206, 77
11	Ghanat-Abdol-Hossein	: 288840, 50	: 4016950, 16	: 1237, 66
8	Ghanat-Jdafar-Abad	: 277002, 05	: 4010394, 50	: 1168, 53
18	Ghanat-Hossein-Abad-	:	:	:
	Doulab	: 282217, 25	: 4014116, 12	: 1012, 67
17	Ghanat-Hadji-Abad	: 28333, 95	: 4013844, 86	: 1185, 46
13	Ghanat-Ghader-Abad	: 286771, 48	: 4016394, 26	: 1218, 86
7	Ghanat-Emam-Abad	: 277792, 57	: 4010111, 85	: 1154, 81
12	Sondage de Mehmandoust	: 276872, 29	: 4012913, 49	: 1248, 56
1	Piézomètre de Mehmandoust	: 276491, 63	: 4018874, 83	: 1441, 03
16	Sondage Baba-Vali	: 287913, 67	: 4016873, 03	: 1243, 51
11	Sondage Hossein-Abad	: 284129, 44	: 4009947, 52	: 1112, 02
9	Sondage Hossein-Abad-	:	:	:
	Hadj-Ali-Naghi	: 272509, 60	: 4006659, 91	: 1119, 72
25	Puits Bagh	: 270512, 48	: 4008822, 74	: 1138, 85
12	Sondage de Zarin-Abad	: 282058, 29	: 4008809, 48	: 1113, 27
8	Sondage d'Emam-Abad	: 280329, 93	: 4007762, 72	: 1111, 66
10	Sondage Bastijdam	: 266581, 62	: 4007285, 01	: 1148, 33
6	Sondage Moeman-Abad	: 293295, 30	: 4015606, 80	: 1157, 00
15	Sondage Mehmandoust	: 279614, 22	: 4010629, 28	: 1152, 45
19	Sondage Calavan	: 282975	: 4019161, 62	: 1396, 66
20	Sondage Calavan	: 282735, 68	: 4016738, 35	: 1276, 68
23	Sondage Nosrat Abad	: 264451, 27	: 4016956, 402	: 1427, 19

TABLEAU N°2



Fig3-SITUATION DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST DANS LE CADRE DE L'IRAN

1.4. GEOGRAPHIE DE LA REGION

La plaine de Mehmandoust s'insère entre le pied de l'Elbourz et Dasht-é-Kavir (1).

Elle est située à l'Est de la ville de Damghan à 400km à l'E de TEHERAN (fig. n°3); elle correspond à une plaine d'une superficie de plus de 500 km²; son altitude varie entre 1600 et 1000m. Elle est limitée au Nord par les montagnes de Tazareh qui culminent à plus de 3000m "massif calcaire de Jurassique supérieur", au Sud par le Kavir du sel et aussi les reliefs septentrionaux de l'Iran central.

Pour situer la région de la plaine de Mehmandoust dans le cadre général de l'Iran, nous rappellerons rapidement les grands traits géographiques de ce pays.

L'Iran qui couvre environ 1.600.000 km² entre la mer Caspienne au Nord et la mer d'Oman au Sud, comporte schématiquement trois grandes régions montagneuses (fig.n°4).

-La chaîne de l'Elbourz au Nord, dont le plus haut sommet, le Demavand s'élève à 5780m au NE de TEHERAN. Par suite du voisinage de la mer Caspienne, le versant septentrional de cette chaîne est éminemment forestier; les hauteurs de pluie y atteignent 1000m/an; son versant sud, en revanche qui se situe "à l'ombre" des hautes crêtes est déjà très aride (700 mm/an de pluie).

-La chaîne du Zagros, qui borde l'Iran au SW et dont le point culminant (4510m) est le Zard Kuh²; voisine du Golfe persique; cette chaîne présente un climat chaud et relativement humide (600 mm/an de pluie).

-Les chaînes intérieures qui, enserrées entre les deux grandes chaînes précédentes connaissent un climat extrêmement aride ou même subdésertique. Elles comportent deux chaînes principales que séparent de grandes zones désertiques, l'une parallèle au Zagros, dite "chaîne intérieure occidentale" qui culmine à 4422m avec le Kuh-e-Hazaran au SE de Kerman; l'autre appelée "chaîne interne orientale" qui s'allonge au Nord du Mokran jusqu'à la province du Khorassan.

Cette dernière chaîne comprend les Monts de Shotorie dont le sommet atteint seulement 2838m.

1 - Kavir: mot signifiant désert 2 - Kuh : mot signifiant montagne

APERCU GEOGRAPHIQUE

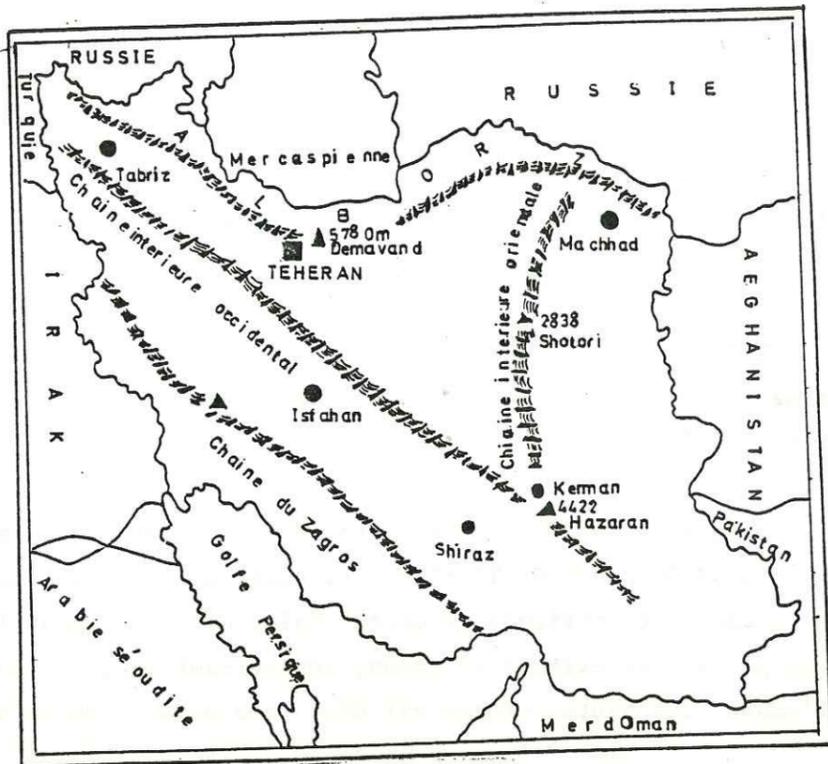


Fig-4-Schema géographique de l'IRAN montrant les principales chaînes montagneuses

1.5. ANALYSE DU RELIEF PAR TRANCHES D'ALTITUDES

Répartition altitudinale de la surface de la plaine -

Tableau ci-dessous:

TABLEAU n°3

Tranches d'altitudes	Surface Km2	Somme des surfaces	%	Somme des %
1- Inférieur à 1100 m	102,8	102,5	17,2	17,2
2- 1200 -1100 m	185	287,5	31,13	48,33
3- 1200 -1300 m	98,5	386	16,5	64,83
4- 1300 -1400 m	95,5	481,5	16,1	80,93
5- 1400 -1500 m	67,1	548,6	11,3	92,23
6- 1500 -1600 m	45,5	594,1	7,65	99,88 ≈ 100

La surface de la plaine est distribuée entre les altitudes 1100 et 1600m; nous avons calculé cette distribution par tranche d'altitude et à partir des résultats obtenus nous avons tracé la courbe de fréquence altimétrique et la courbe hypsométrique (fig n°5).

Cette courbe permet de définir les altitudes caractéristiques suivantes. 'altitude moyenne arithmétique, 1300m, altitude moyenne de la plaine: 1150m, altitude la plus fréquente définie par le mode de la courbe des fréquences altimétriques, comprise entre 1100-1200 (31% de la superficie totale de la plaine).

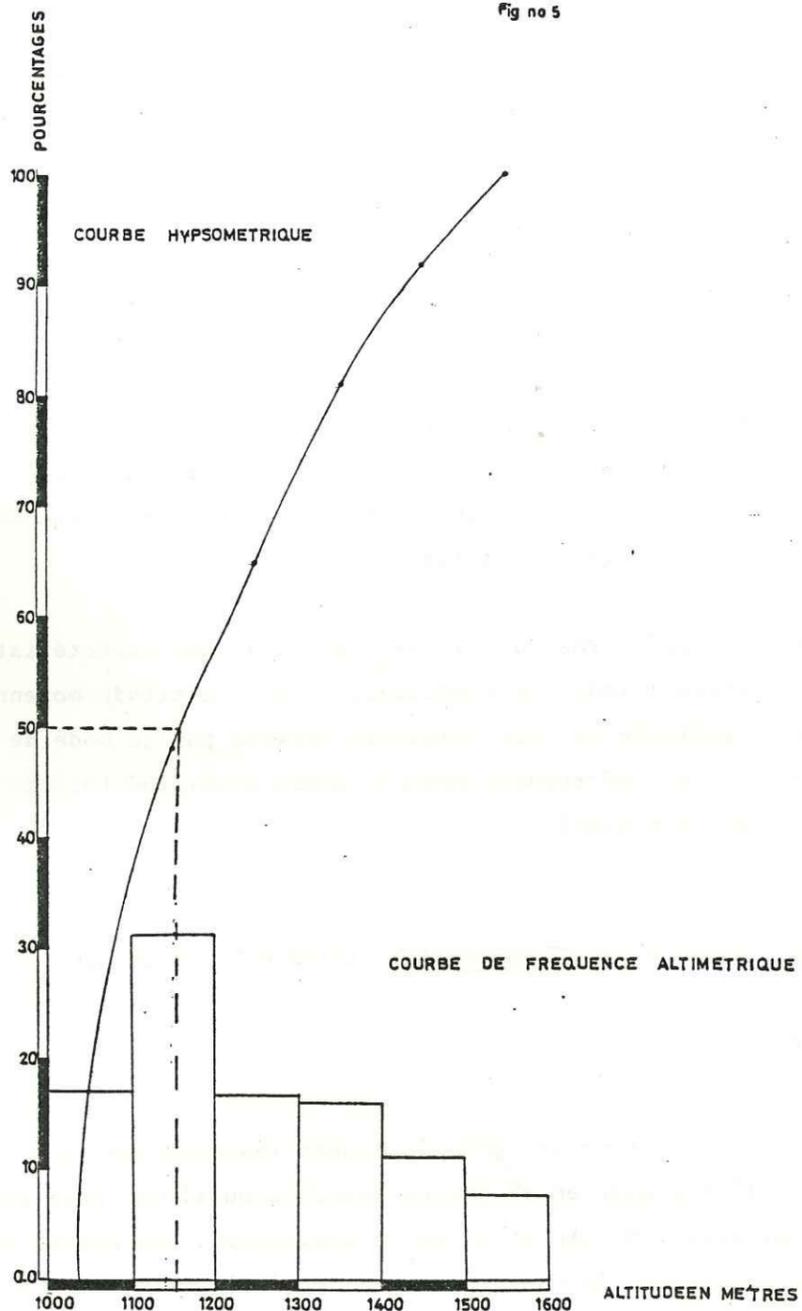
1.6. POPULATION ET RESSOURCES (GEOGRAPHIE HUMAINE)

1.6.1. L'agriculture

Les produits fournis, principalement les céréales et spécialement le blé, l'orge sont en si petite quantité qu'il est nécessaire d'en importer pour assurer l'alimentation de la population. Les habitants récoltent la gomme adragante, le cumin sauvage et l'épine vinette. Autour de Damghan il y a aussi les grands jardins de Pistache et aussi des cerisiers et de la vigne, et on élève en outre des moutons.

PLAINE DE MEHMANDOUST
 REPARTITION ALTIMETRIQUE
 DES SURFACES

Fig no 5



Les autres richesses relatives de la région résident dans ses minerais; ce sont les mines de charbon qui emploient le plus d'ouvriers; de celles situées aux environs du village de Tazareh et aussi Mansour-Kuh au Nord de Damghan, on extrait pour le moment 600 tonnes par jour.

Pour finir, nous dirons quelques mots de la faune de Damghan. La perdrix existe dans toutes les vallées où se trouve un peu d'eau, la gazelle dans toutes les plaines, les zèbres sont très abondants particulièrement au Kuh-e-Karkassi Tazareh, enfin on rencontre de rares guépards dans les montagnes du Nord de la plaine.

1.6.2. Moyens d'accès et routes intérieures

Trois possibilités s'offrent pour aller de TEHERAN à la région de Damghan ou Chahroud (fig.n°6):

- le chemin de fer
- la route de Téhéran - Machhad via Garmsar
- la route de Téhéran - Machhad via Firouz-Kuh; par suite de son meilleur état cette seconde route, quoique plus longue, est préférable, à la première qui supporte un grand trafic de camion et est de ce fait très abimée et poussiéreuse.

Les voies principales existant à l'intérieur de la région sont:

- la route de Téhéran à Machhad qui, franchissant le col d'Ahovan 1980m la traverse au milieu de la plaine. Cette route qui emprunte l'ancienne voie préislamique de l'Afganistan dessert toute une suite de villages depuis celui de Bagh jusqu'à celui de Dehmola.

- le chemin de fer Téhéran - Machhad qui dessert toutes les stations de Damghan, Zarine, Kalaté-Khan
- la route de Chahpasand - Chahroud avec 45km asphaltée et 75km non goudronnée, cette route franchit le col de Khoche-Yaillagh (2100m).

1.7. HYDROGRAPHIE

Dans la région étudiée il n'y a pas suffisamment de cours d'eau pour servir de référence géographique. L'écoulement se fait par les oueds (Roud en Farsi) mal alimentés et présentant un étiage sévère plusieurs mois de l'année.

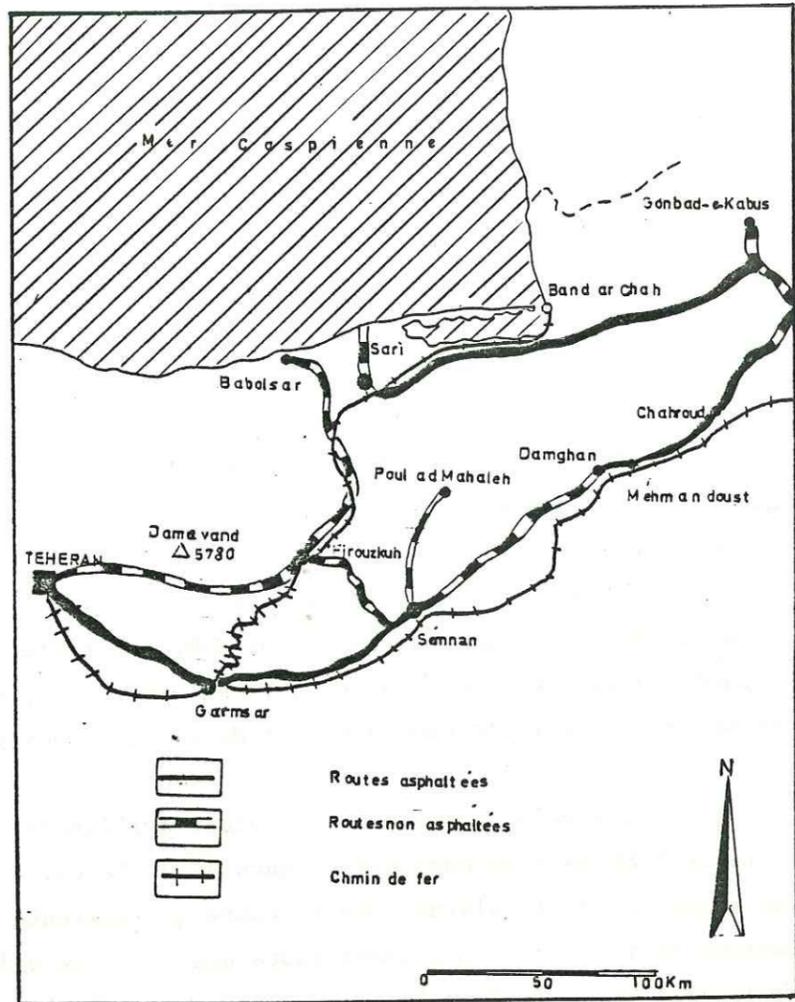


Fig-6- Carte montrant les voies d'accès de la région

CHAPITRE II

CLIMATOLOGIE

- Généralités sur le climat
- Les données d'observation - Leurs interprétations
- Hydrologie de surface et ruissellement
- Définition du climat de Damghan et Chahroud

CHAPITRE II - CLIMATOLOGIE

Le but que nous recherchons est de placer la région dans un cadre climatiquement spécifique: celui de la zone aride. Ce cadre défini, il est plus aisé de comprendre certains phénomènes hydrologiques.

Vouloir se servir des données climatiques pour établir un bilan hydraulique peut paraître aléatoire étant donné la pauvreté des observations, leur mauvaise répartition et la grande variabilité des phénomènes en zone aride.

=====

1. GENERALITES SUR LE CLIMAT

La région de Damghan est située sur la bordure Nord du plateau central Iranien; elle est coupée des influences caspiennes par la haute chaîne de l'Elbourz.

La présence de ces forts reliefs joue un rôle néfaste sur le climat et renforce l'action désertique du plateau central.

Damghan et aussi notre région est située sur le piedmont Sud de l'Elbourz à des altitudes variant de 1000m pour le Sud à 1600m pour le Nord.

La barrière de l'Elbourz s'élève brusquement jusqu'à près de 3500m.

1.1. INFLUENCE DES RELIEFS SUR LE CLIMAT DE LA REGION SUD ELBOURZ

Il y a un grand contraste climatique entre les pays de la Caspienne situés au Nord de l'Elbourz et le secteur aride qui nous occupe. Une anomalie positive dans les températures caractérise l'Iran intérieur. Le gradient thermique est plus fort sur le versant Sud de l'Elbourz que sur le versant Nord.

Le contraste est encore plus marqué par les totaux pluviométriques.

Les rivages caspiens reçoivent plus de 1700mm de pluie

../..

alors que Damghan doit se contenter de 105mm de pluie.

1.2. LA CIRCULATION GENERALE DE L'ATMOSPHERE ET L'ORIGINE DES PLUIES AU NORD DU PLATEAU IRANIEN

Dans son étude agroclimatologique sur le proche-orient PABOT (144) considère que cette région est caractérisée dans sa plus grande partie par un climat de type méditerranéen avec des températures subtropicales et un régime typique de pluies hivernales. Ce climat est lié à la latitude, à la circulation générale de l'atmosphère, à la topographie. Les pluies hivernales sont d'origine cyclonique, en provenance de l'Atlantique ou de la Méditerranée sous l'influence du "jet" polaire dans la troposphère supérieure.

Le Nord du plateau Iranien est influencé par deux types de cyclones:

- cyclones associés à des ondes peu prononcées se déplaçant rapidement sur une branche nord des courants d'ouest de la troposphère supérieure; ils sont à l'origine des pluies hivernales.
- cyclones de type stationnaire associés à des thalwegs froids en altitude. Ces cyclones attirent des masses d'air humide et chaud depuis le Golfe Persique, ces masses d'air remontent vers le Nord et produisent des pluies de printemps, au Nord du plateau Iranien. Le cas à Damghan et Chahroud (Fig. n°7 et 8) moyenne mensuelle des pluies.

=====

2. LES DONNEES D'OBSERVATION - LEURS INTERPRETATIONS

2.1. LE RESEAU DES STATIONS D'OBSERVATION

Nous avons implanté deux stations d'observations l'une à Mehmandouste, altitude 1457,66 et l'autre à Tazareh 2422,50, et aussi trois seaux pluviométriques à Talu, Momen-abad et au village de Mehmandouste (planches n°1 et 2). Leur jeunesse ne permet pas toujours une exploitation valable des données. La station de base est celle de Damghan. Nous indiquons aussi les résultats de la station synoptique de la ville de Chahroud (service Météorologie d'Iran) comme référence et comparaison avec celle de Damghan. Les stations récentes n'apportent que des renseignements fragmentaires et actuellement insuffisants.

. Tazareh octobre 1975

../..

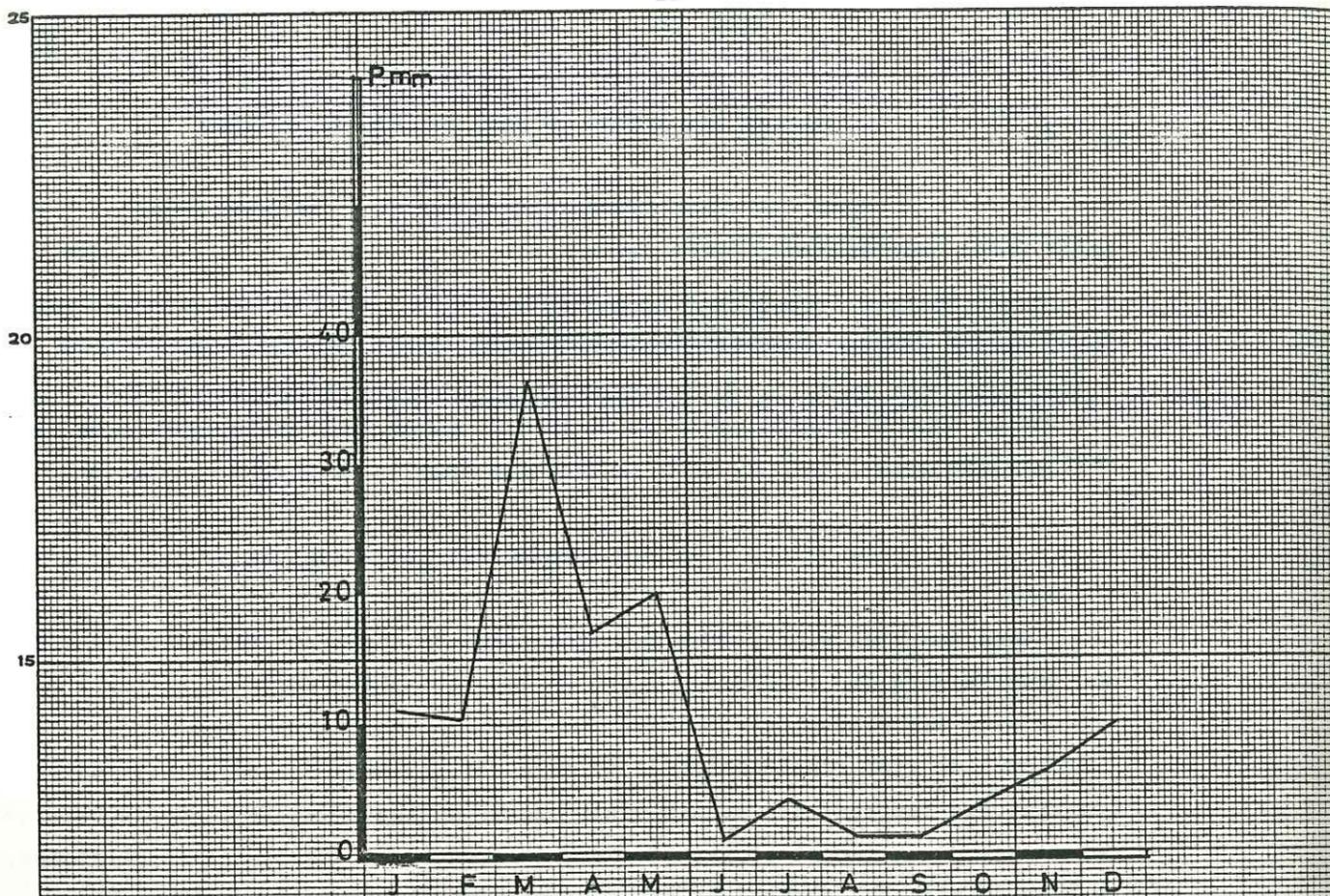


Fig no 7 - Moyenne mensuelle des pluies à Damghan (1958-1976)

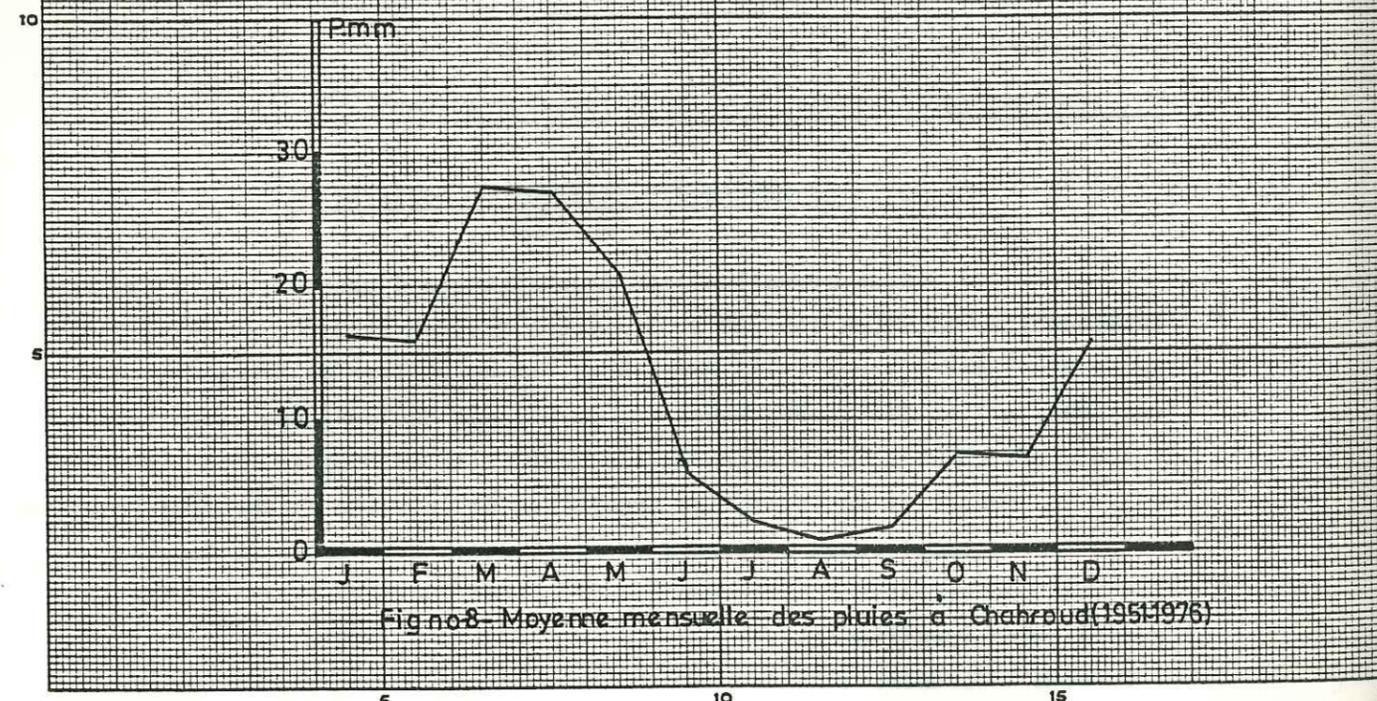


Fig no 8 - Moyenne mensuelle des pluies à Chahroud (1952-1976)

LES PAPIERS CANSON France

- . Mehmandoust octobre 1975
- . Mamédou janvier 1976
- . Talu février 1976
- . Village de Méhmandoust " "
- . Mo men-Abad " "
- . Kalavan septembre 1976

Nous n'avons aucune indication sur les précipitations solides.

MOYENNE MENSUELLE à DAMGHAN 1958 - 1976 - TABLEAU n°4

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
11,26	10,39	36,5	17	20	3	4,3	1,2	1,2	4,36	6	10,3	125,5
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

MOYENNE MENSUELLE à CHAHROUD 1952 - 1976

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
16,6	16,4	27,6	27	21,3	6	2,7	0,85	3	7,4	7,4	16,5	153
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

2.2. LES PRECIPITATIONS

2.2.1 - Hauteur moyenne normale des pluies annuelles

Elle varie suivant les hauteurs ou la station prise pour référence. Pour 26 années la moyenne relevée à Chahroud est de 159,4 mm (fig.n°9) - Damghan: 105mm sur 19 années (fig n°10).

Mentionnons encore:

Octobre 1975 - septembre 1976: station Tazareh: 168,31
 " " - " " : " Mehmandoust: 102,12

Seau pluviométrique: Janvier 1976 - Décembre 1976:

- " " à Mamedueh 169
- " " à Talu 93
- " " auvillage Méhmandoust 69
- " " auvillage Momen-Abad 169

2.2.2. Régime pluviométrique

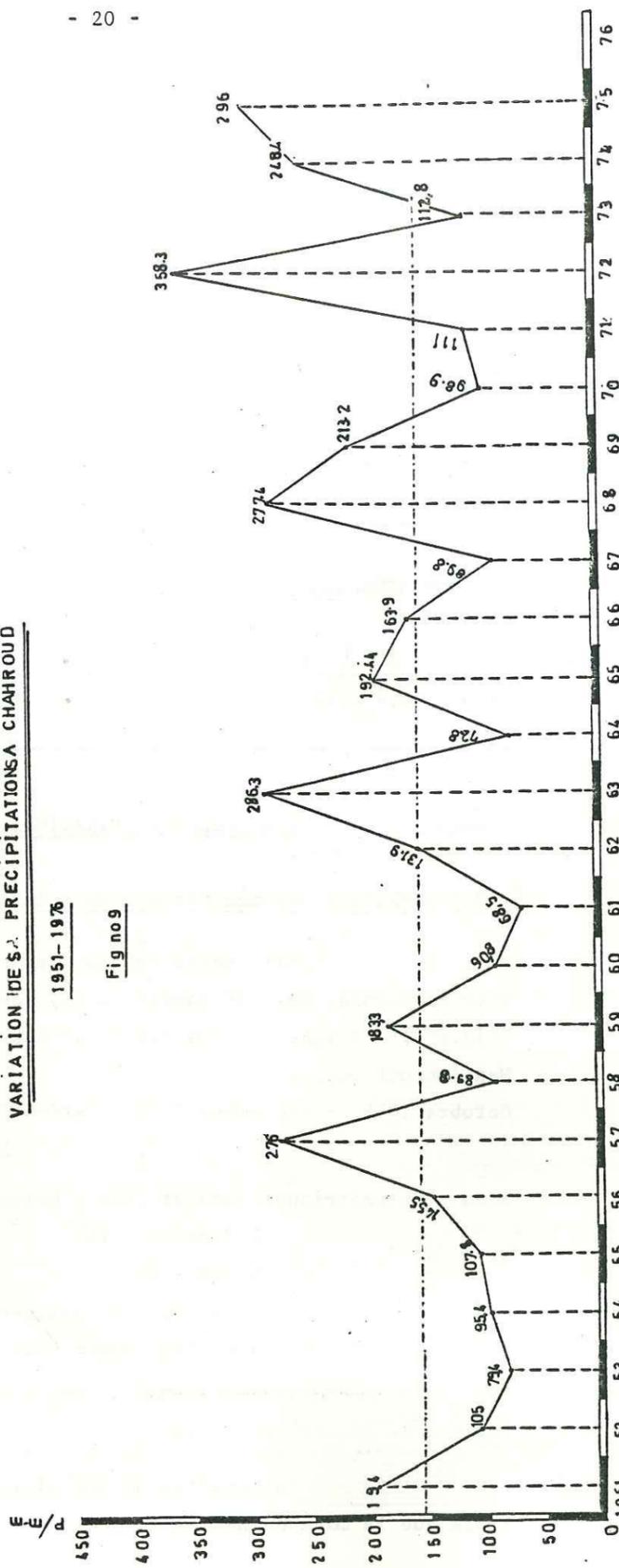
La répartition des pluies dans l'année a une plus grande importance que la moyenne annuelle.

.. / ..

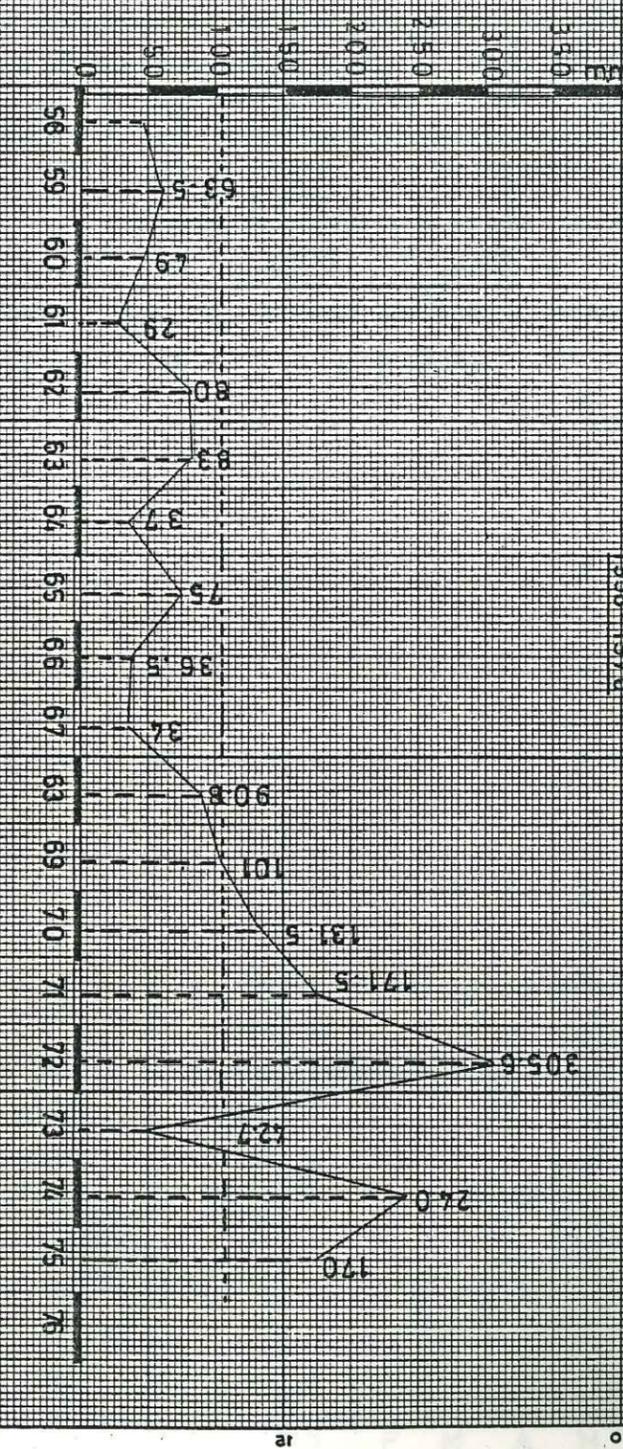
VARIATION DE SA PRECIPITATIONS A CHAHROUD

1951-1976

Fig no 9



LES BUIERS SYRIZON FLSUCE



FIGURIO VARIATION DES PRECIPITATIONS A DAMGHAN

1958-1976

Les tableaux 4 et 5 et les figures 7 et 8 (moyenne mensuelle Damghan - moyenne mensuelle Chahroud) montrent que les pluies sont inégalement réparties dans l'année - les précipitations sont hivernales avec un maximum en Février (36,5) à Damghan et 27,6 à Chahroud et un autre en Mai (20mm a Damghan et à Chahroud en avril 27mm).

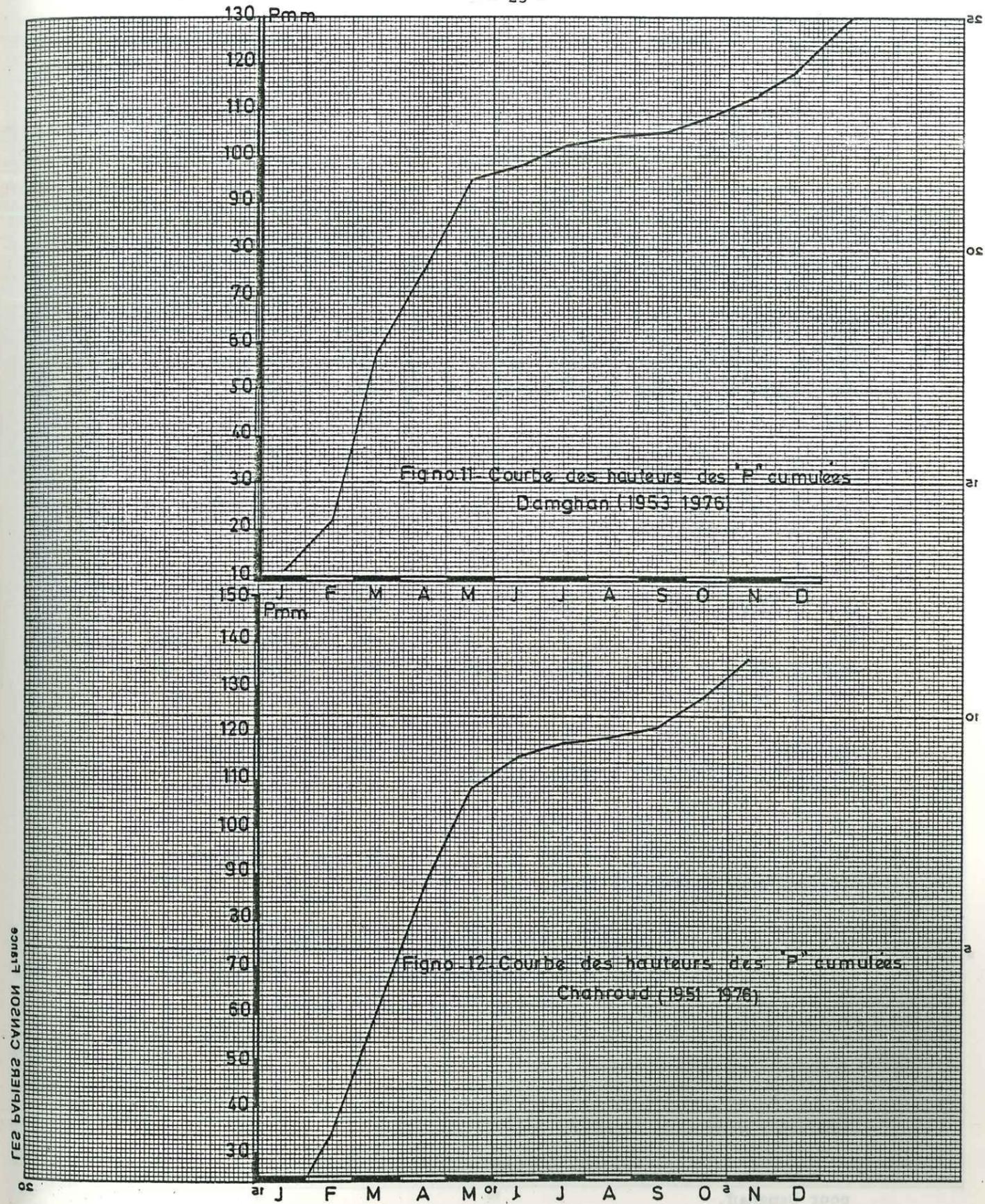
A la station de Damghan ces deux maximums équivalents sont séparés par un minimum d'Avril 17mm.

Quatre mois (de Janvier à Avril) ont 78,15mm (station Damghan) soit 60% du total annuel. Juin à Septembre qui reçoivent 6,7mm, soit 0,82 % sont les mois chauds et très secs.

Dans l'ensemble du piedmont de la Montagne de Tazareh ou de la plaine de Mehmandoust, les maximums se retrouvent en Mars ou Mai, les minimums en Août ou Septembre avec toutefois une sécheresse marquée en Septembre. Les courbes de moyennes mensuelles (fig. 8 et 7) des hauteurs de pluies cumulées (fig. 11 et 12) et des hauteurs de pluies classées (fig. 13 et 14) sont très expressives.

TABLEAU n°5 PRECIPITATIONS MENSUELLES DE LA PERIODE 1956-1976 - STATION DE DAMGHAN (en mm)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuels
1956	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	ss. observ
1957	-	-	-	-	-	-	15	0	0	0	11	0	
1958	-	-	23	0	-	-	-	-	-	-	15,0	12	80
1959	31	-	2,5	-	27,5	-	-	-	-	1	0,5	1	63,5
1960	-	-	17	0	-	1	15	-	-	-	4	12	49
1961	5	10,5	7	3,5	-	-	-	-	-	-	-	3	29
1962	-	22	3	33	13	-	-	6	-	-	3	-	80
1963	-	-	14	14,5	31	-	-	-	-	19	-	4,5	83
1964	3	-	18,5	9,5	-	-	-	-	-	-	-	6	37
1965	43,5	-	12	-	7	2,5	3,5	-	5	7,5	-	-	75
1966	8,5	-	4	-	7,5	-	-	4	1	11,5	-	-	36,5
1967	3,5	0,5	0	13	-	-	-	-	-	17	-	-	34
1968	-	65,5	-	14,8	8,5	2	-	-	-	-	-	-	90,8
1969	-	-	4	4	10	-	2	-	-	8	48	25	101
1970	28,5	-	19	34	2	-	7	-	-	-	-	41	131,5
1971	-	23	50,5	36	18,5	7	-	-	-	26	10,5	171,5	
1972	39	13,5	74	31	102,5	9,5	-	4,5	-	4	-	27	305,6
1973	-	8	9	16	1,2	-	10	1,5	1	-	-	6,5	42,7
1974	19	22,5	37	67,5	52	5	6,5	7,5	14,5	4,5	1	31	240
1975	32	10,5	17,5	34	46,5	24,5	-	-	-	5,5	-	17	170
1976	3	21,5	35	19,5	58,5	2	-	-	3	8	-		



LES BUREAUX SYNOPTIQUES

PRECIPITATIONS ET POURCENTAGES SAISONNIERS DE LA PERIODE 1956-1976

STATION DE DAMGHAN (en mm)

TABLEAU n°6

Année	P. saisonnières				Pourcentage			
	Hiver	Prin-temps	Eté	Automne	Hiver	Prin-temps	Eté	Automne
1958	23	-	-	27	46	0	0	54
1959	39,5	27,5	-	2,5	52,8	43,3	-	4
1960	17	1	15	16	34,7	2	30,6	32,6
1961	26	3,5	-	13	89,7	12	-	10,3
1962	25	46	6	3	31,2	57,5	7,5	3,75
1963	14	45,5	-	23,5	16,9	54,8	-	28,3
1964	21,5	9,5	-	6	58,6	25,7	-	16,2
1965	55,5	9,5	8,5	7,5	74	4,7	11,3	10
1966	12,5	7,5	5	11,5	34,2	20,5	13,7	31,5
1967	4	13	-	17	11,8	38,2	-	50
1968	65,5	25,3	-	-	72,1	27,9	-	-
1969	4	14	2	81	3,9	13,9	1,9	80,1
1970	47,5	36	7	41	56,7	27,4	5,3	31,1
1971	73,5	97,5	-	36,5	42,86	56,9	-	21,2
1972	126,5	143	4,5	31	41,4	46,8	1,5	10,1
1973	17	17,2	12,5	6,5	40	40,3	29,4	15,2
1974	78,5	14,5	22,5	36,5	32,7	51,9	11,9	15,2
1975	60	105	-	22,5	35,3	61,8	-	13,2
1976	59,5	80	-	-	-	-	-	-

2.2.3 Coefficient pluviométrique mensuel

A Damghan, la pluie fictive quotidienne est de 0,34mm. La pluie fictive mensuelle est de 10,2 pour les mois de 30 jours et de 10,54mm pour ceux de 31 jours.

Le coefficient pluviométrique mensuel est le rapport entre la pluie fictive mensuelle et la moyenne mensuelle. Il indique l'écart à une distribution uniforme. S'il est plus petit que 1, le mois auquel il se rapporte est considéré comme un mois sec. Les mois qui ont un coefficient supérieur à 1 sont des mois humides.

Les mois sont d'autant plus secs ou plus humides que le coefficient s'écarte de l'unité.

Le tableau (n°7-8) donne les valeurs de ce coefficient pour Damghan.

A Chahroud, la pluie fictive est de 0,42mm. La pluie fictive mensuelle est de 11,7 pour le mois de 28 jours, de 12,6mm pour les mois de 30 jours et 13mm pour ceux de 31 jours.

Les figures n° 15 et 16 sont à paralléliser avec les figures précédentes.

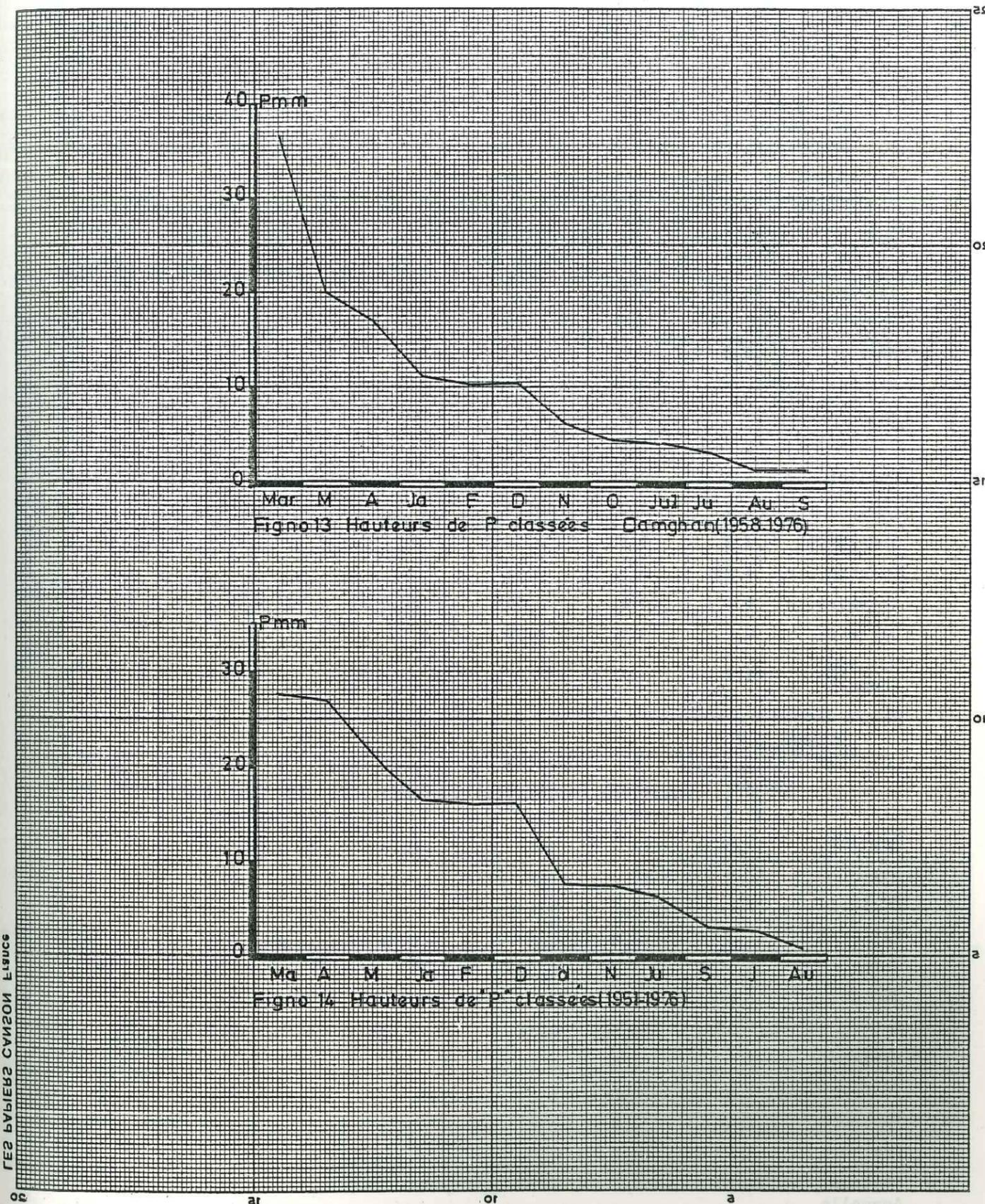


TABLEAU n°7

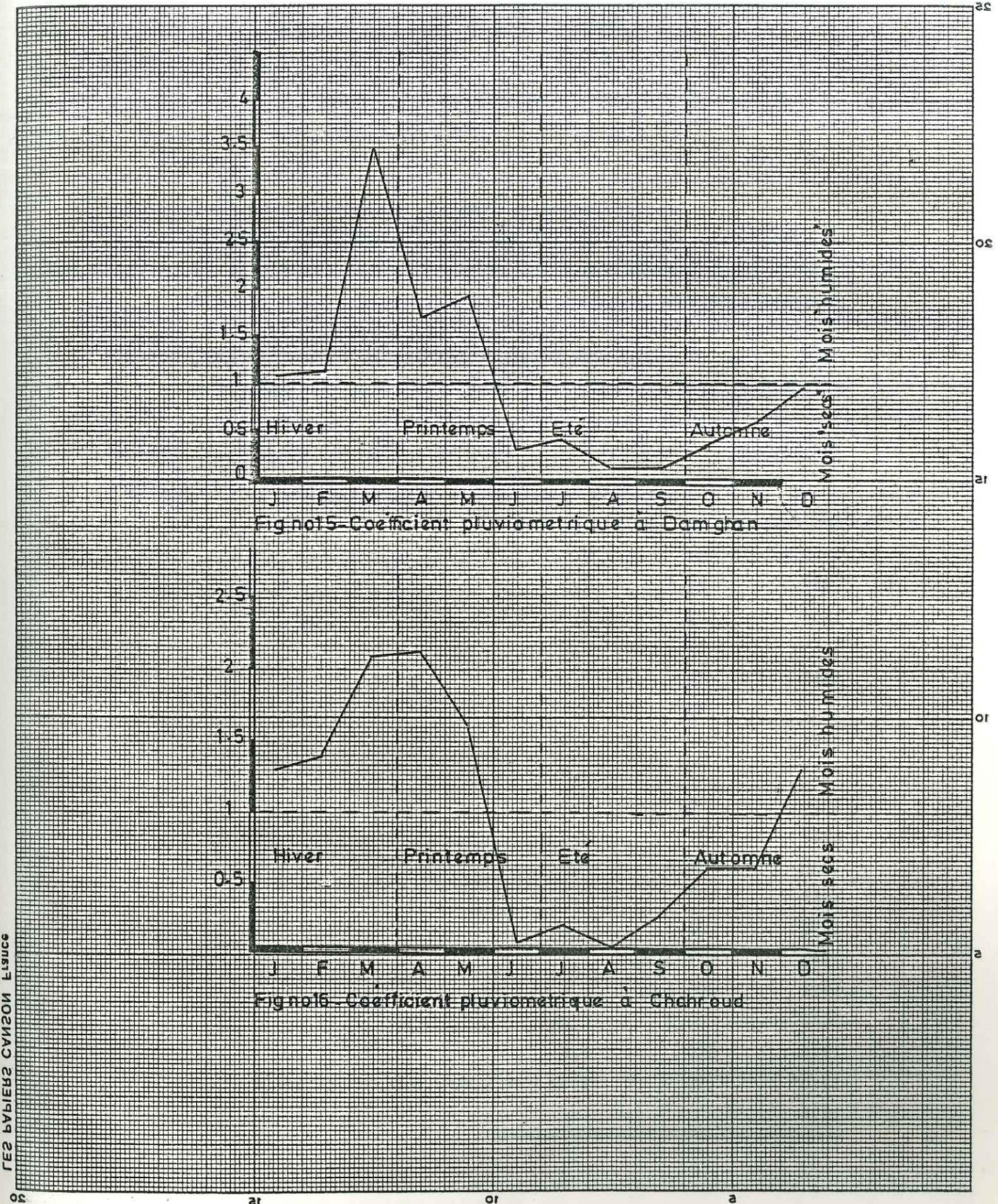
PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES, SAISONNIERES ET COEFFICIENT PLUVIO-METRIQUE - STATION DAMGHAN - 1958 - 1976

Mois	Moyen mens. en mm.	% mens.	Coefficient pluvio-mens.	Moyen. sais. en mm.	% saison.	Coefficient pluvio-saison
Janvier	11,26	8,97	1,07			
Février	10,39	8,3	1,09	58,5	46,3	1,9
Mars	36,5	29	3,5			
Avril	17	13,5	1,7			
Mai	20	15,9	1,9	40	31,9	1,3
Juin	3	2,4	0,29			
Juillet	4,3	3,4	0,4			
Août	1,2	0,95	0,11	6,7	5,3	0,7
Septembre	1,2	0,95	0,11			
Octobre	4,36	3,5	0,41			
Novembre	6	4,8	0,59	20,7	16,5	0,7
Décembre	10,3	8,2	0,98			
Moyenne Annuelle	125,5					

TABLEAU n°8

Mois	Moyen mens. en mm.	% mens.	Coefficient pluvio-mens.	Moyen. sais. en mm.	% saison.	Coefficient pluvio-saison
Janvier	16,6	10,9	1,3			
Février	16,4	10,7	1,4	60,6	39,7	1,6
Mars	27,6	18	2,1			
Avril	27	17,7	2,14			
Mai	21,3	13,9	1,6	54,3	35,5	1,4
Juin	6	3,9	0,5			
Juillet	2,7	1,8	0,2			
Août	0,85	0,56	0,06	6,55	4,3	0,16
Septembre	3	1,96	0,24			
Octobre	7,4	4,8	0,6			
Novembre	7,4	4,8	0,6	31,3	20,5	0,8
Décembre	16,5	10,8	1,3			
Moyenne Annuelle	152,75					

PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES, SAISONNIERES ET COEFFICIENT PLUVIO-METRIQUE - STATION CHAHROUD - 1951 - 1976



2.2.4 Variabilité inter-annuelle

La grande variabilité observée dans les moyennes mensuelles et quotidiennes est aussi décelable d'une année à l'autre.

Les figures n°9 et 10 montrent les moyennes annuelles de pluies à Damghan et à Chahroud: Damghan (1958-1976) et Chahroud (1951-1976).

Pour la région de Damghan, l'année la plus sèche a été 1961 avec 29mm. L'année la plus arrosée est 1972 avec 305,6mm. A Chahroud aussi, l'année la plus sèche a été 1961 avec 63,5mm et l'année la plus arrosée est 1972 avec 358,3mm.

Les indices de pluviosité (de 1958 à 1976) expriment les écarts des totaux annuels par rapport au module (tableau n°9)

TABLEAU n°9

Années	P	IP
1958	50	0,4
1959	63,6	0,5
1960	49	0,4
1961	29	0,2
1962	80	0,64
1963	83	0,7
1964	37	0,3
1965	75	0,6
1966	36,5	0,3
1967	34	0,3
1968	90,8	0,72
1969	101	0,8
1970	131,5	1,04
1971	171,5	1,4
1972	305,6	2,4
1973	42,7	0,34
1974	240	1,9
1975	170	1,35
1976		

../..

2.2.5 Détermination de la lame d'eau précipitée

A partir des stations que nous avons implanté en 1975-1976 en différentes altitudes de notre région, et à l'aide des deux stations synoptiques de Damghan et Chahroud nous avons calculé la lame d'eau tombée sur toute la région à partir des méthodes suivantes:

- Moyenne arithmétique des stations

Le calcul de la lame d'eau tombée a pour but d'évaluer sur l'ensemble du bassin l'épaisseur de la tranche d'eau précipitée pendant l'année.

- La plus rapide consiste à calculer la moyenne arithmétique des précipitations observées à chaque station sur le bassin. Cette méthode donne une grande influence aux valeurs extrêmes, sauf si le nombre de stations est suffisant pour couvrir l'ensemble du bassin versant et la durée d'observation est longue.

Les moyennes arithmétiques des précipitations annuelles, pour l'année 1975-1976 sont calculées à partir des relevés de 8 stations pluviométriques, distribuées sur l'ensemble du bassin versant. Nous avons pu obtenir les résultats suivants:

TABLEAU n°10

	Nom de station	Altitude en m	Précipitation moyenne annuelle en mm
1	Damghan	1107	105
2	Chahroud	1366	256
3	Tazareh	2422,50	168,4
4	Mehmandoust	1457,66	102
5	Mamedue	1977,07	169
6	Talu	15200	96
7	Village Mehmandoust	1149,23	69
8	Moemen-Abad	1122,40	169

Ce qui représente une lame d'eau tombée de 141,4mm pour toute l'année.

../..

- Calcul par l'utilisation des courbes isohyètes

Nous avons reporté sur la planche n°1, le tracé des isohyètes pour l'année 75-76, le planimétrage permet d'obtenir les résultats suivants:

TABLEAU n°11

Superficie Km ² A	P moyenne en mm	Volume partiel x10 ⁻⁶ en km ³
37,5	: 230	: 8,6 x 10 ⁻³
56,25	: 210	: 0,0118
93,75	: 190	: 0,0178
118,75	: 170	: 0,0201
170	: 150	: 0,0255
157,5	: 130	: 0,0205
131,25	: 110	: 0,0144
112,5	: 90	: 0,0101
20,625	: 70	: 1,444 x 10 ⁻⁴

La lame d'eau tombée est donc:

$$P = \frac{P \times A}{A} = \frac{0,129}{898,125} = 1.436 \times 10^{-4} \text{ km} = 144 \text{ mm}$$

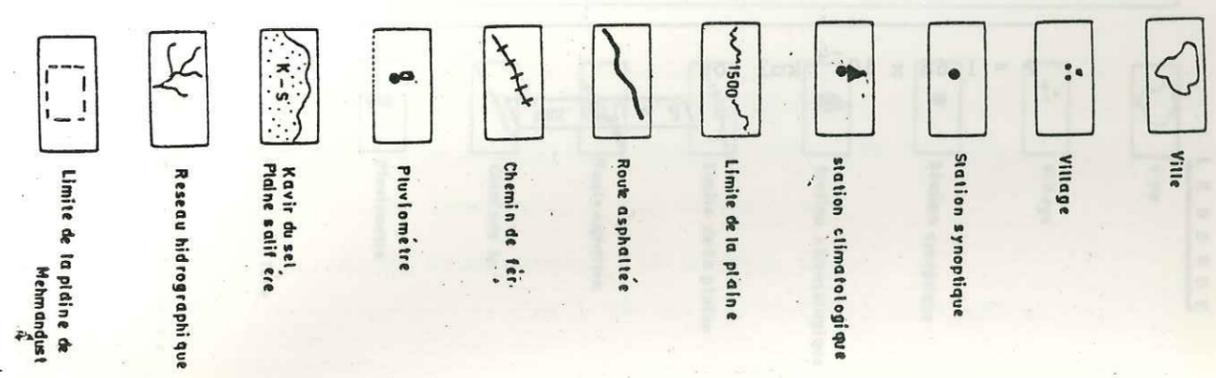
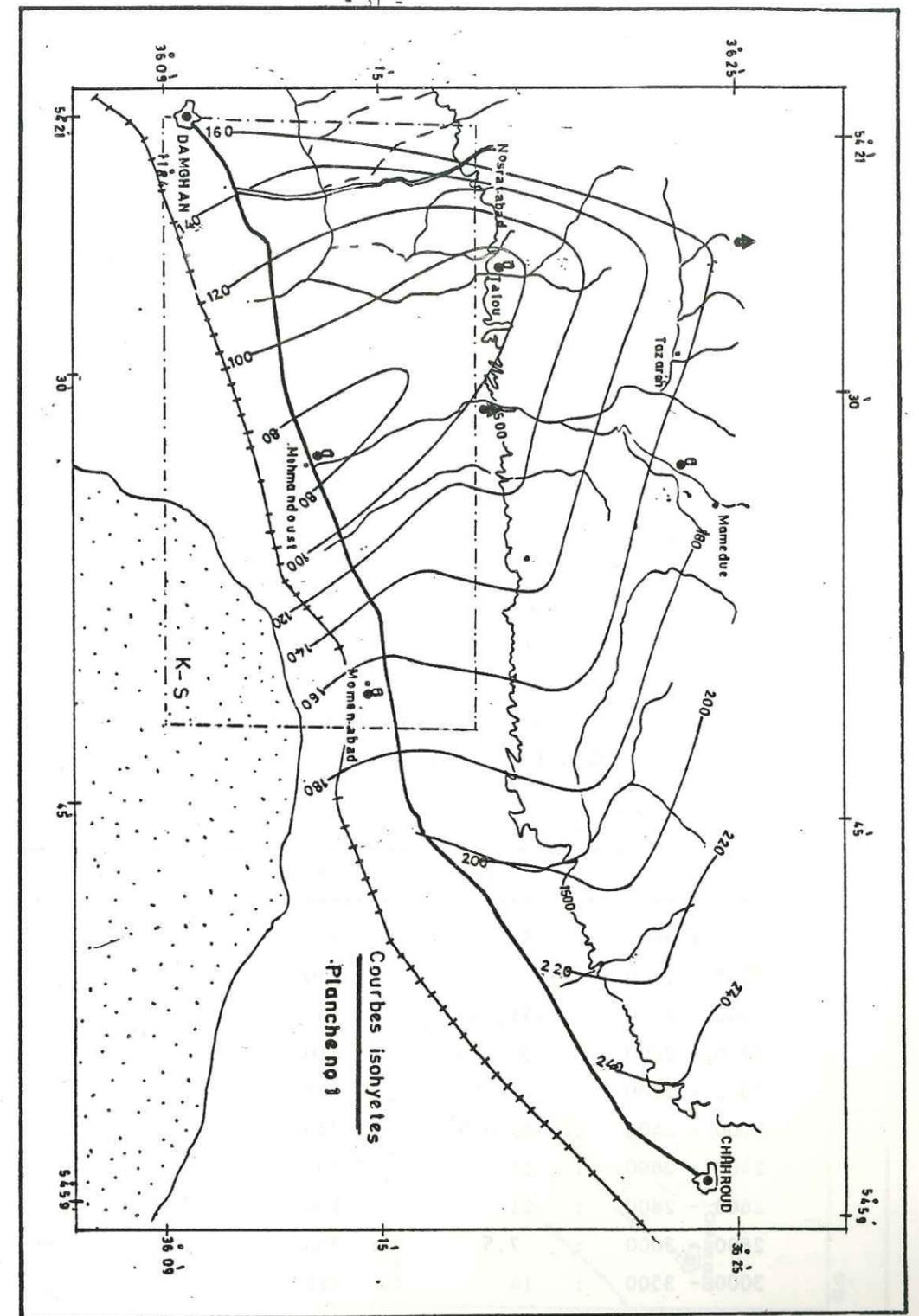
- Calcul par la méthode de Thiessen

Nous avons découpé la région en huit secteurs (Pl. n°2) suivant la même méthode que précédemment.

Nous présentons les résultats dans le tableau suivant n°12

TABLEAU n°12

Secteur	Superficie en Km ²	P en mm	P x A en Km ³
I	: 175	: 168,4	: 0,0295
II	: 187,5	: 93	: 0,0174
III	: 100	: 105	: 0,0105
IV	: 312,5	: 169	: 0,0528
V	: 100	: 102	: 0,0102
VI	: 112,5	: 69	: 7,76 x 10 ⁻³
VII	: 300	: 169	: 0,0507
VIII	: 344	: 256	: 0,088



P est donc égal à

$$\frac{P \times A}{A} = \frac{0,1267}{1631,5} = 1,64 \times 10^{-4} \text{ ou } 164 \text{ mm}$$

- Gradient altimétrique de précipitation

Sur le bassin versant de notre plaine (bassin versant de Tazareh) plus l'altitude croit, plus les précipitations croissent.

Les précipitations varient en gros proportionnellement à l'altitude. Nous n'avons pas pu établir une droite représentative du gradient altimétrique de précipitation, parce que la plupart des stations ne fonctionnent que depuis une année et que leur répartition entre la montagne et la plaine n'est pas convenable, donc nous avons choisi un gradient pluviométrique de l'ordre de 15mm/100m, ce qui paraît plus logique pour notre région.

On peut donc calculer le volume des précipitations par tranche d'altitude selon le tableau n°13.

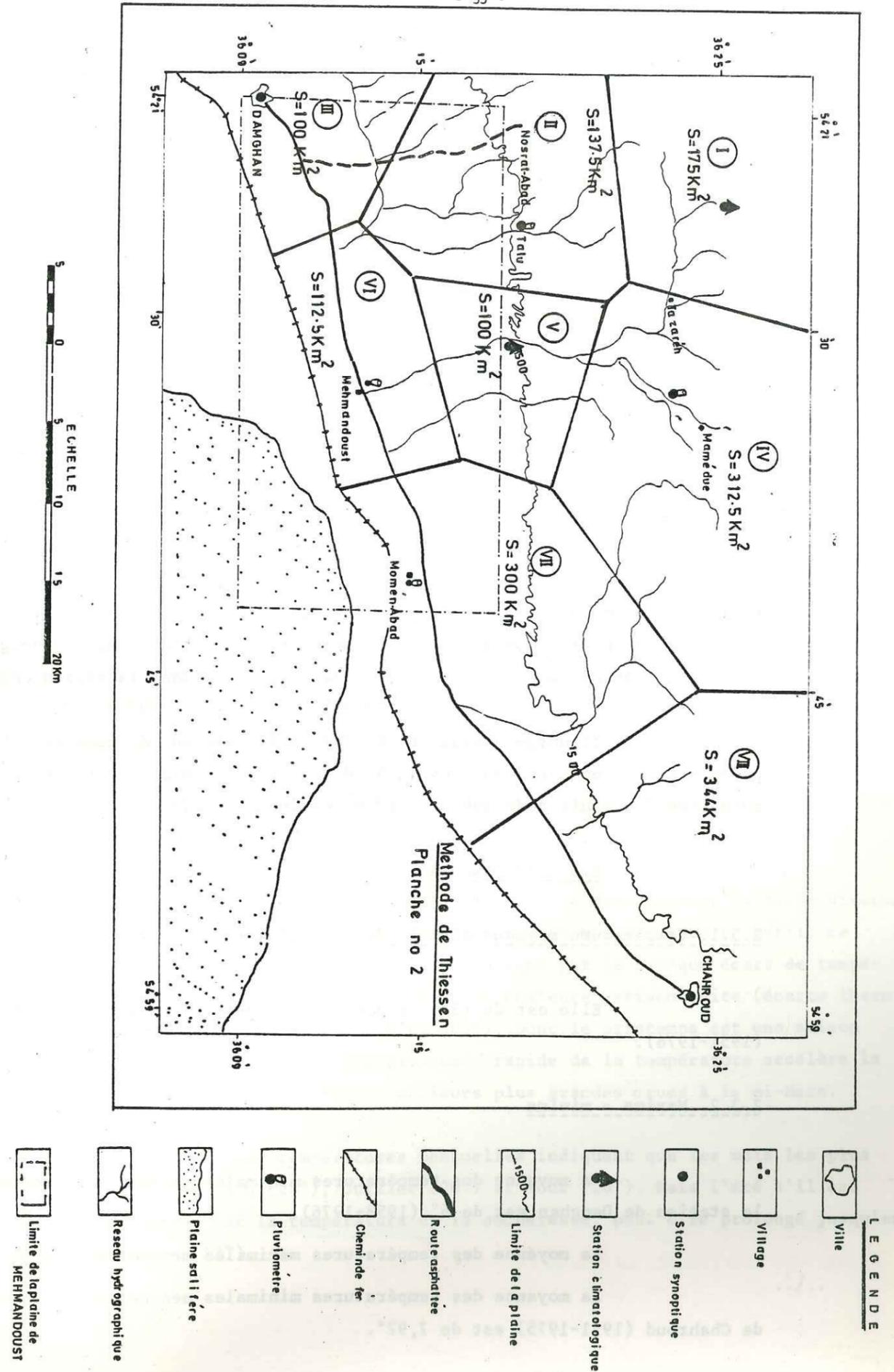
TABEAU n°13

hm	S km ²	P mm	V 10 ⁶ m ³
< 1200	287,5	105	0,030
1200 - 1400	194	120	0,023
1400 - 1800	151,25	165	0,032
1800 - 2000	38,425	210	8 x 10 ⁻³
2000 - 2200	48,25	240	0,0116
2200 - 2400	69,025	270	0,0186
2400 - 2600	58	300	0,0174
2600 - 2800	21	330	6,9 x 10 ⁻³
2800 - 3000	7,5	360	2,7 x 10 ⁻³
3000 - 3500	14	412,5	5,78 x 10 ⁻³
3800 >	1		
	Total 889		0,150

P = 1,68 x 10⁻⁴ km³ ou

/P = 169 mm /

.../...



Par cette méthode on trouve une lame d'eau de 169mm, soit 1.33×10^8 m³ pour l'ensemble de la région. Cette hauteur est de 110mm pour les secteurs de la plaine; ce chiffre est très proche des données de la station Damghan 105mm.

Conclusion.

Dans les pages précédentes nous avons vu les résultats des différentes méthodes pour calculer la lame d'eau tombée. On voit que les méthodes de la moyenne arithmétique et des courbes isohyètes donnent les mêmes résultats et aussi les résultats des méthodes gradient altimétrique de précipitation et isohyètes sont très proches.

Pour calculer le bilan hydrologique comme nous allons voir plus loin, la méthode de gradient altimétrique paraît la plus adaptée pour notre région.

2.2.6 Précipitation solide

Nous n'avons aucune donnée sur les hauteurs de neige précipitée. La limite des neiges persistant jusqu'au début de printemps se trouve vers 3500m sur les hautes montagnes de Tazareh et il n'y a donc pas de neige sur les flancs sud de la Montagne Karkassi de Tazareh pendant la saison chaude.

Il neige presque tout l'hiver et même en automne les chûtes peuvent être abondantes surtout au Nord. La neige persiste tout l'hiver au-dessus d'une altitude que nous avons estimée à 2500m

2.3. LES TEMPERATURES

2.3.1. Température moyenne normale de l'année

Elle est de 13°,3 à Damghan (1958-1976) - 14° à Chahroud (1951-1976).

2.3.2. Maxima - minima

La moyenne des températures minimales moyennes mensuelles à la station de Damghan est de 6° (1958-1976).

La moyenne des températures maximales mensuelles est de 23°6.

La moyenne des températures minimales mensuelles à la station de Chahroud (1951-1975) est de 7,97°.

Moyenne des températures maximales moyennes mensuelles: 20°39.

- Station Damghan

Moyenne des températures minimales absolues: 1°31 (1958-1973)
Moyenne des températures maximales absolues: 27°8 (1958-1973).

- Station de Chahroud

Moyenne des températures minimales absolues: 2°3 (1951-1974)
Moyenne des températures maximales absolues: 27°3 (1951-1974).

Le mois le plus chaud de l'année est Juillet (26° de moyenne).
Le mois le plus froid de l'année est Janvier (0°3 de moyenne).

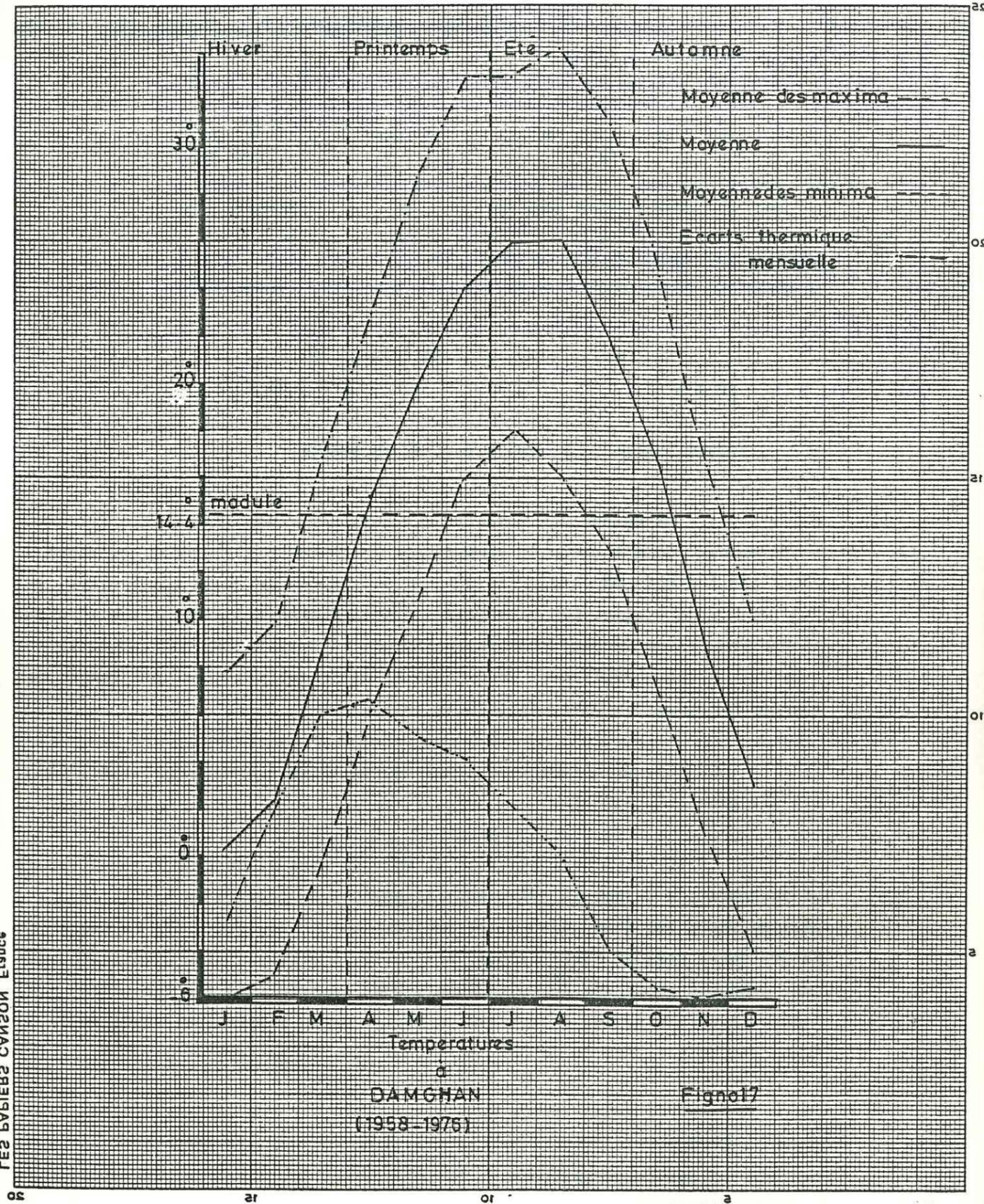
2.3.3. Régime thermique annuel - Station de Damghan (1958-1976)

La courbe des températures moyennes mensuelles (fig.n°17) est en forme de cloche à peu près symétrique, le sommet de la courbe est représenté par les mois de Juillet et d'Août, les températures moyennes entre ces deux mois sont égales. Les plus grands écarts thermiques d'un mois à l'autre s'observent entre Octobre et Novembre (7°48) et Mars -Avril 6°52. Donc la température chute rapidement en Automne et monte rapidement au printemps, ce qui donne une légère dissymétrie à la courbe.

Les différences de températures entre l'hiver (3°73) et l'été (24°66) sont très marquées.

La fraîcheur relative du mois de Mars allonge la durée hivernale et raccourcit d'autant le printemps; le printemps commence en Avril; ce passage entre les deux saisons est souligné par le brusque écart de température entre Mars et Avril (7°48). Les chaleurs arrivent vite (écarts thermiques mensuels prononcés jusqu'en Juin). Donc le printemps est une saison courte (Avril-Mai). Cet accroissement rapide de la température accélère la fonte des neiges; les oueds ont leurs plus grandes crues à la mi-Mars.

Les températures mensuelles indiquent que les mois les plus chauds sont Juin (24°), Juillet (26°) et Août (26°). Mais l'été s'il est caractérisé par la température et la sécheresse, peut être prolongé jusqu'en Septembre (22°).



Températures
à
DAMGHAN
(1958-1976)
Figure 17

Pendant la période (1957-1973) le nombre moyen de jours de gelée a été 97 jours. Il gèle en Novembre-Décembre-Janvier-Février-Mars; quelques gelées tardives sont à craindre en Avril. Dans le tableau ci-après (tableau n°14), nous récapitulons les données sur la température à Damghan.

TABEAU n°14 LES TEMPERATURES A DAMGHAN (1958-1976)

Mois	:Moyenne :Moyenne		.Moyennes mens. :		: Moyennes	: Ecart
	: mensuelle	: température journalière	: de températures absolues	: Saisonnières		
	Max. :	Min. :	Max. :	Min. :		
Janvier	: 0,32	: 7,8	: -6,4	: 12,6	: -10,4	: - 2,68
Février	: 2,4	: 10	: -4,6	: 16,2	: -10,4	: + 2,08
Mars	: 8,48	: 17	: 0,1	: 23,26	: - 5,7	: Hiver : + 6,08
Avril	: 15	: 23	: 6	: 31,6	: 1,6	: + 6,62
Mai	: 20	: 29	: 11	: 31,7	:	: 19,66 : Printemps : 5
Juin	: 24	: 33	: 15,6	: 37,4	: 14,5	: 4
Juillet	: 26	: 33	: 18	: 38,4	: 13,2	: 24,66 : Été : 2
août	: 26	: 35	: 16	: 37,8	: 12,34	: Été : -
Septembre	: 22	: 31	: 31	: 35,97	: 7,4	: - 4
Octobre	: 16,48	: 25	: 25	: 30,6	: 2,5	: 9 : - 5,52
Novembre	: 8,54	: 16,4	: 16,4	: 23,3	: -6	: Automne : - 7,94
Décembre	: 3	: 10	: 10	: 15	: -9,5	: - 5,54
	:	:	:	:	:	:

2.4. LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

Nous n'avons aucune idée sur la pression atmosphérique à la station de Damghan. Les données enregistrées au niveau de la station de Chahroud vont de 1950 jusqu'à 1971. La moyenne de la pression à Chahroud (1950-1971) est de 865 millibars.

- La pression en hiver est d'environ 865 mb
- " " au printemps " " 863 mb
- " " en été " " 863 mb
- " " en automne " " 868 mb

Elle diminue progressivement pour atteindre un minimum en Avril 861,1 et en Juillet (861,3 mb environ).

La pression atmosphérique est un agent climatique important à l'échelon du macro-climat, car sa distribution commande la répartition des vents.

Mais elle influe sur la vitesse d'évaporation de l'eau, qui lui est inversement proportionnelle. Les faibles pressions favorisent les dégagements gazeux, et par suite, les échanges entre l'atmosphère et le sol.

Enfin, les variations de la pression atmosphérique peuvent influencer les niveaux piézométriques des eaux souterraines.

2.5. LES VENTS

Dans notre région les vents soufflent de toutes les directions N E et S W, mais ce sont les vents de Nord-Est qui dominent en nombre et en intensité qui sont souvent très secs et violents. Ils donnent naissance à de vastes dunes au Sud de Damghan et aussi à des vents de sable dans le Kavir du sel.

2.6. HUMIDITE RELATIVE

Calculée sur une période de 16 ans (1958-1973), la moyenne annuelle de l'humidité relative moyenne est de 63 % à Damghan à 6h1/2 à Damghan. A 12 1/2h cette moyenne tombe à 45%.

L'humidité reste élevée en hiver à 6h1/2 du matin (maximum de Décembre 84% et Janvier 81%) elle devient rapidement faible dès 12h.

En Septembre 1964, l'humidité relative était de 22% à 12h1/2. Ces pourcentages traduisent bien la grande sécheresse de l'air à Damghan. Elle contribue à maintenir un climat sain qui ne débilite pas l'organisme humain comme sous les climats chauds et humides (Inde, Pakistan, Golfe Persique et les villes en bordure de la mer Caspienne).

Ces faibles pourcentages expliquent aussi l'absence quasi totale de nuages de brume, de brouillard; dans la région de Damghan, le ciel est pur et lumineux. La sécheresse et la pureté de l'air favorisent une insolation forte et ne filtrent que faiblement les radiations solaires. Ceci explique aussi les grandes amplitudes thermiques: les journées sont très chaudes en été mais les nuits fraîches.

../..

2.7. L'EVAPORATION

Si la différence entre la saturation de l'air et l'humidité relative indique le déficit de saturation de l'atmosphère, l'air à Damghan est pendant l'été et l'automne déficitaire même à l'heure maxima.

La faiblesse de l'humidité relative, (donc les forts déficits de saturation), se traduit par une évaporation intense. La forte insolation, les vents, les hautes températures, les forts déficits de saturation laissent prévoir des valeurs élevées pour l'évaporation.

L'évapotranspiration en un endroit donné et à un moment déterminé est fonction aussi:

- du degré de salinité du sol;
- de la quantité d'eau contenue dans le sol;

On appelle évapotranspiration réelle: Er dans un intervalle de temps déterminé, l'évapotranspiration qui se produit pendant cette durée dans les conditions réelles de teneur en eau du sol, ou la lame d'eau effectivement évaporée et transpirée. Si sans changer autre chose on augmente artificiellement la quantité d'eau disponible dans le sol, l'évapotranspiration augmente et atteint un maximum qu'on appelle: Evapotranspiration potentielle: EP - évapotranspiration qui se produirait si le sol contenait en permanence une quantité d'eau suffisante.

L'EP représente la quantité d'eau nécessaire pour que la végétation quelle qu'elle soit n'ait jamais à souffrir du manque d'eau et que le sol conserve en permanence une humidité suffisante, c'est ce que Coutagne a convenu d'appeler: l'évapotranspiration maximum hydrologique.

Les formules permettant de calculer l'évapotranspiration sont très nombreuses. Parmi les méthodes, nous avons choisi les formules de Turc et Coutagne pour l'évapotranspiration réelle et celle de Thornthwaite pour l'évapotranspiration potentielle mensuelle.

A/ Méthode de Turc

La formule de Turc est basée sur la température moyenne annuelle et la hauteur moyenne des précipitations annuelles.

../..

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

avec:

P = précipitation moyenne annuelle en mm

T = température moyenne annuelle en °C

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

Nous avons appliqué cette formule pour la période 1957-1976 de la station Damghan. La valeur obtenue avec P = 105mm - T = 14,34°C -

$$L = 805,94$$

d'où

$$Er = 109,66 \text{ mm} \approx 110 \text{ mm}$$

Cette valeur est très proche à la moyenne annuelle précipitée.

B/ Méthode de Coutagne

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

$$Er = P - \Lambda P^2$$

où

P = hauteur moyenne des précipitations exprimée en mètres.

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

T = température moyenne annuelle en °C.

Cette formule n'est applicable que pour P comprise entre $\frac{1}{8\Lambda}$ et $\frac{1}{2\Lambda}$. C'est à dire entre 351 et 1400mm. L'application de la formule de Coutagne pour la période de 1958-1974 à Damghan donne:

$$P = 0,105 \text{ m} - T = 14^\circ\text{C} - \Lambda = 0,362$$

d'où

$$Er = 0,101 \text{ m ou } 101 \text{ mm}$$

C/ Méthode de Thornthwaite

1) Calcul de l'EP à partir de l'abaque:

L'abaque est obtenu à partir de la formule:

.../...

$$Ep = 1,6 \left(10 \frac{t}{I}\right)^\alpha$$

avec

$$I = \sum_1^{12} i \quad i = \left(\frac{t}{5}\right) 1,514$$

et

$$\alpha = 0,49239 + 1792 \times 10^{-5} I - 771 \times 10^{-7} I^2 + 675 \times 10^{-9} I^3 \text{ (Thornthwaite)}$$

ou

$$\alpha = \frac{1,6}{100} I + 0,5 \text{ (Serra)}$$

Ep: Evapotranspiration potentielle

I : Indice thermique annuel - i : indice thermique mensuel

t : température moyenne annuelle.

Pour calculer l'évapotranspiration potentielle par la méthode de Thornthwaite, on calcule d'abord les indices thermiques mensuels par la table caractéristique (tableau n°15).

La somme des indices donne l'indice thermique annuel: I

Sur l'abaque (fig. n°18) on trace la droite qui joint l'indice, sur l'échelle des indices au point repéré marqué d'une croix (température 26°5 - Ep = 13,5mm).

Cette droite donne l'évapotranspiration potentielle du mois, non corrigée en abscisse en fonction de la température moyenne du mois en ordonnée.

Si la température mensuelle dépasse 26°5, on adopte les valeurs d'évapotranspiration potentielle marquée au bas du tableau n°15.

On multiplie l'Ep ainsi obtenue par le coefficient de correction donné par le tableau n°16 pour tenir compte du nombre de jours par mois et de la durée du jour en fonction de la latitude.

Selon la méthode de Thornthwaite (fig.n°19) on a évalué le pouvoir évaporant de l'air (tableau n°17-Bilan hydrologique de la plaine de Mehmandoust). La valeur moyenne de l'évapotranspiration potentielle (ETp) est de 825mm/an. Faible pendant la durée hivernale où elle est inférieure aux précipitations pendant 3 mois (Décembre à Février),

.../...

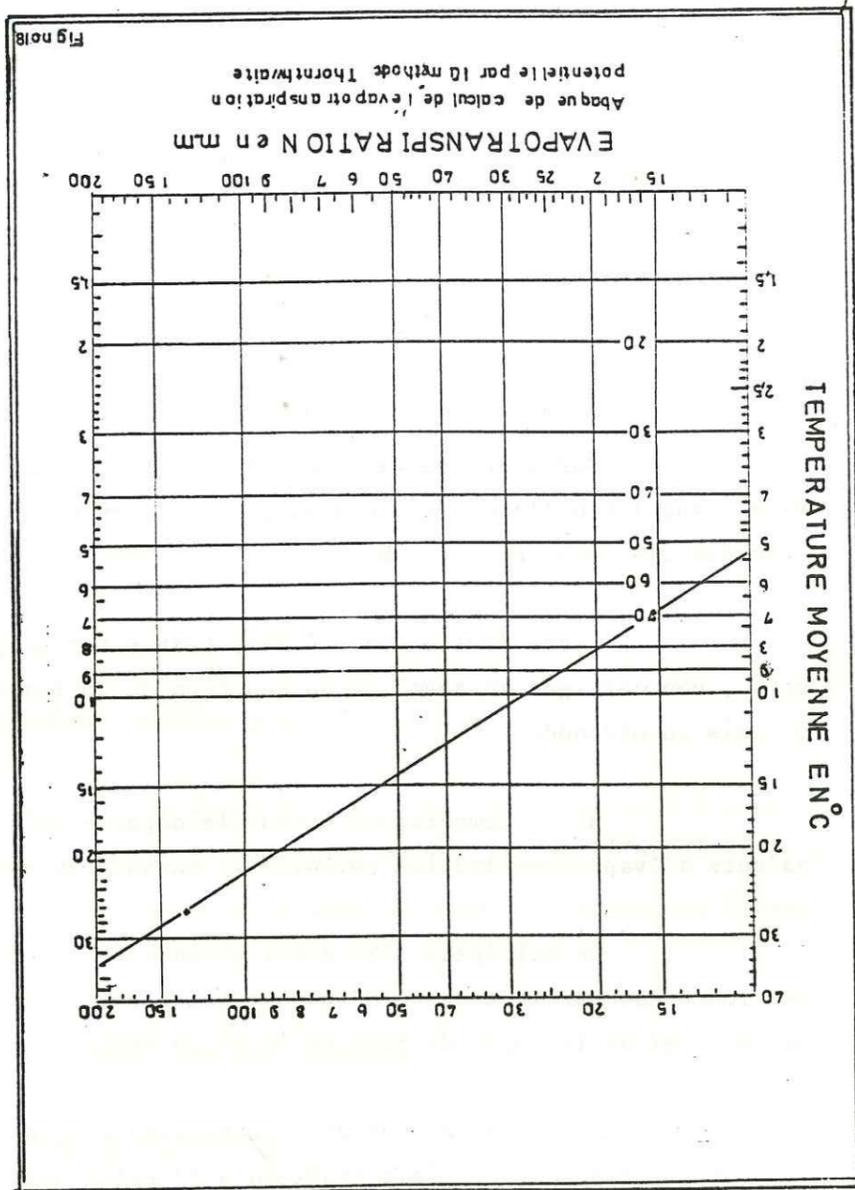


TABLEAU N° 15

VALEURS MENSUELLES DE I CORRESPONDANT AUX TEMPERATURES

MOYENNES

T°C	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0			0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
1	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.21	0.23
2	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.42	0.44
3	0.46	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58	0.61	0.63	0.66	0.69
4	0.71	0.74	0.77	0.80	0.82	0.85	0.88	0.91	0.94	0.97
5	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.22	1.25	1.29
6	1.32	1.35	1.39	1.42	1.45	1.49	1.52	1.56	1.59	1.63
7	1.66	1.70	1.74	1.77	1.81	1.85	1.89	1.92	1.96	2.00
8	2.04	2.08	2.12	2.15	2.19	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39
9	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.69	2.73	2.77	2.81
10	2.86	2.90	2.94	2.99	3.03	3.08	3.12	3.16	3.21	3.25
11	3.30	3.34	3.39	3.44	3.48	3.53	3.58	3.62	3.67	3.72
12	3.76	3.81	3.86	3.91	3.96	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20
13	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70
14	4.75	4.81	4.86	4.91	4.96	5.01	5.07	5.12	5.17	5.22
15	5.28	5.33	5.38	5.44	5.49	5.55	5.60	5.65	5.71	5.76
16	5.82	5.87	5.93	5.98	6.04	6.10	6.15	6.21	6.26	6.32
17	6.38	6.44	6.49	6.55	6.61	6.66	6.72	6.78	6.84	6.90
18	6.95	7.01	7.07	7.13	7.19	7.25	7.31	7.37	7.43	7.49
19	7.55	7.61	7.67	7.73	7.79	7.85	7.91	7.97	8.03	8.10
20	8.16	8.22	8.28	8.34	8.41	8.47	8.53	8.59	8.66	8.72
21	8.78	8.85	8.91	8.97	9.04	9.10	9.17	9.23	9.29	9.36
22	9.42	9.49	9.55	9.62	9.68	9.75	9.82	9.88	9.95	0.01
23	10.08	10.15	10.21	10.28	10.35	10.41	10.48	10.55	10.62	0.68
24	10.75	10.82	10.89	10.95	11.02	11.09	11.16	11.23	11.30	1.37
25	11.44	11.50	11.57	11.64	11.71	11.78	11.85	11.92	11.99	2.06
26	12.13	12.21	12.28	12.35	12.42	12.49	12.56	12.63	12.70	2.78
27	12.85	12.92	12.99	13.07	13.14	13.21	13.28	13.36	13.43	3.50
28	13.58	13.65	13.72	13.80	13.87	13.94	14.02	14.09	14.17	4.24
29	14.32	14.39	14.47	14.54	14.62	14.69	14.77	14.84	14.92	4.99
30	15.07	15.15	15.22	15.30	15.38	15.45	15.53	15.61	15.68	5.76
31	15.84	15.92	15.99	16.07	16.15	16.23	16.30	16.38	16.46	6.54
32	16.62	16.70	16.78	16.85	16.93	17.01	17.09	17.17	17.25	7.33
33	17.41	17.49	17.57	17.65	17.73	17.81	17.89	17.97	18.05	8.13
34	18.22	18.30	18.38	18.46	18.54	18.62	18.70	18.79	18.87	8.95
35	19.03	19.11	19.20	19.28	19.36	19.45	19.53	19.61	19.69	9.78
36	19.86	19.95	20.03	20.11	20.20	20.28	20.36	20.45	20.53	0.62
37	20.70	20.79	20.87	20.96	21.04	21.13	21.21	21.30	21.38	1.47
38	21.56	21.64	21.73	21.81	21.90	21.99	22.07	22.16	22.25	2.33
39	22.42	22.51	22.59	22.68	22.77	22.86	22.95	23.03	23.12	3.21
40	23.30									

VALEURS DE L' EVAPOTRANSPIRATION EN CM POUR LES TEMPERATURES

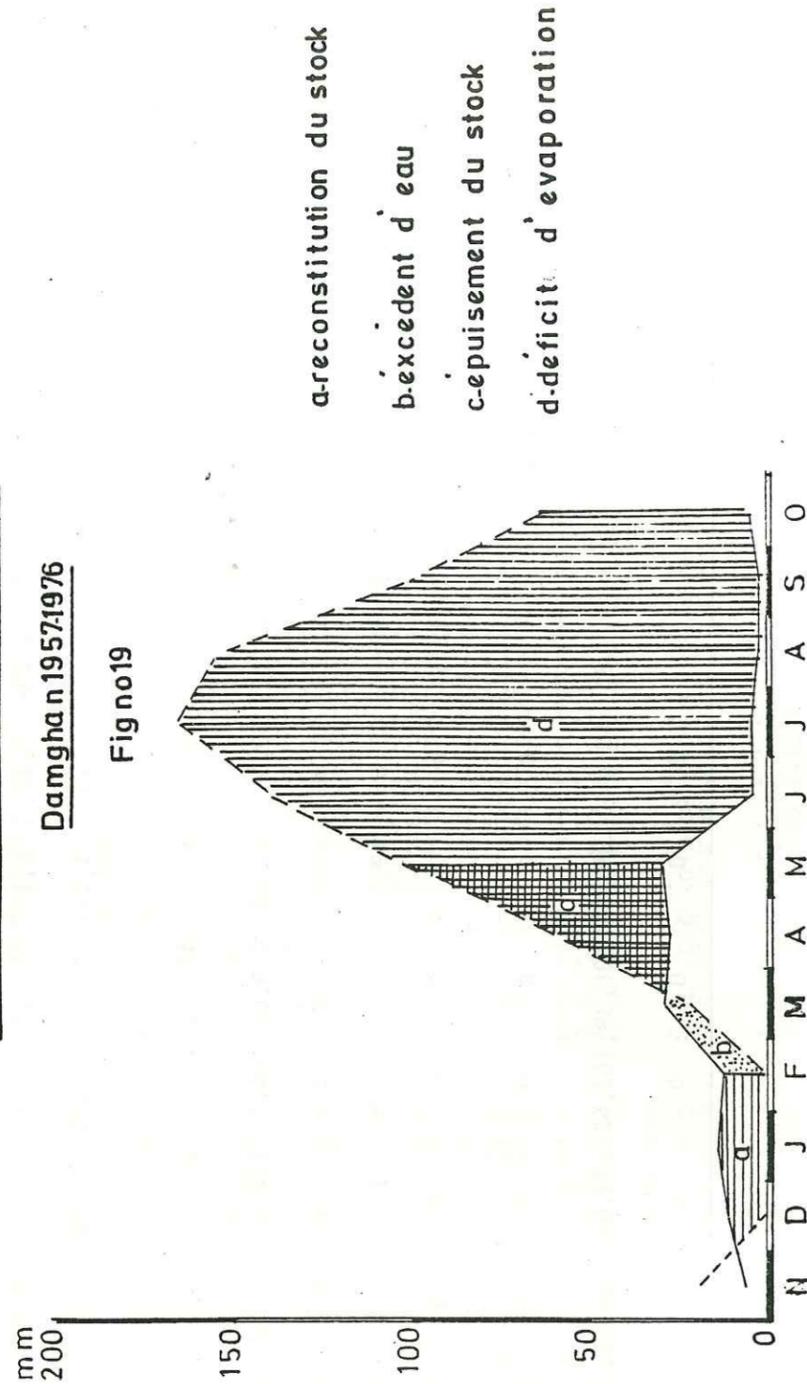
SUPERIEURES A 26° 5

T°C	26° 5, 27.0, 27.5, 28.0, 28.5, 29.0, 29.5, 30.0, 30.5, 31.0, 31.5, 32.0, 32.5
E _p	13.50, 13.95, 14.37, 14.78, 15.17, 15.54, 15.89, 16.21, 16.52, 16.80, 17.07, 17.31, 17.53, 17.72
T°C	33.5, 34.0, 34.5, 35.0, 35.5, 36.0, 36.5, 37.0, 37.5, 38.0, 17.90, 18.05, 18.18, 18.29, 18.37, 18.43, 18.47, 18.49, 18.50, 18.50

Le bilan de l'eau selon Thornthwaite

Damghan 1957/1976

Figno19



elle est très forte en été avec des maximas de Juillet et Août (165 et 154,28mm).

Mais si l'on s'en tient aux valeurs employées par Thornthwaite, les trois mois d'hiver à pluviosité excédentaire sur ETp sont insuffisants pour constituer les 100mm de réserves d'eau utiles à la végétation.

2.8. GENERALISATION DU PROBLEME

La température est le facteur essentiel de l'évapotranspiration. Sur le bassin versant de Tazareh qui domine notre plaine, plus l'altitude croit plus les précipitations croissent en moyenne et plus la température décroît.

Les précipitations varient en gros proportionnellement à l'altitude, tandis que la température varie en sens inverse. Dans le cas de notre région malgré l'absence de sol sur les montagnes, et par conséquent l'absence de végétation, nous constatons que les résultats de l'évapotranspiration calculée par la méthode de Turc dans le cas de Damghan sont assez satisfaisants. par analogie du climat de Damghan avec le climat de Kerman, (selon M. Fouroughi) et aussi en comparant les résultats donnés par les stations convenables de notre région, nous avons choisi un gradient pluviométrique de 15mm/100m et un gradient de température de 0,5/100m.

Pour améliorer les résultats obtenus, nous utilisons pour le calcul de l'évapotranspiration réelle les méthodes de Turc et de Coutagne, et nous divisons notre région en tranches d'altitudes différentes dont nous tenons compte pour la détermination de la pluviométrie et de la température moyenne. Les résultats de ces calculs sont donnés dans le tableau ci-après (tableau n°18).

TABLEAU n°18

Altitude :	Température : °c	Ruissellement : + infiltration : en mm	Pluviométrie : moyenne P _{mm}	Er	
				Turc	Coutagne
1200 :	14°	-	105	110	101
1200-1400 :	13,5°	-	120	125	115
1400-1800 :	12°	-	165	168	154
1800-2000 :	11,5°	-	210	210	192
2000-2200 :	10,5°	5	240	235	215
2200-2400 :	8,5°	18	270	252	233
2400-2600 :	7,5°	30	300	270	251
2600-2800 :	6,5°	48	330	282	266
2800-3000 :	5,75°	70	360	290	279
3000-3500 :	3,75°	119,5	412,5	293	285
3500-4000 :	1,25°	210,5	487,5	277	245

D'après les résultats obtenus par la méthode de Turc à une altitude inférieure à 2000m, il n'y a pas d'infiltration alors que d'après Coutagne même à 1200m une partie des pluies peut s'infiltrer dans le sol. Un doute peut donc subsister et puisque Coutagne n'est applicable que dans le cas où la pluviométrie est comprise entre 351 et 1400mm, et que les résultats des formules de Turc et de Coutagne pour les différentes tranches d'altitudes sont assez peu différents, dans nos calculs du bilan hydrologique nous adopterons les valeurs de l'évapotranspiration calculées par la méthode de Turc.

2.9. INFILTRATION

L'infiltration peut-être soit directe soit différée

L'infiltration peut-être considérée comme nulle dans les parties centrales des plaines et faible dans tous les secteurs situés à une altitude inférieure à 2000m où l'évapotranspiration est trop importante.

Par contre, au dessus de 2000m, la part des précipitations disponibles pour l'infiltration directe ou le ruissellement varie de 2 à 43%.

En raison de l'état de fissuration et de fracturation des massifs montagneux, on peut admettre que l'infiltration directe réelle est voisine dans de nombreux secteurs de 30 à 32%; chiffre assez généralement admis

.../..

pour les massifs karstiques.

Une infiltration directe se produit ainsi sur les piedmonts graveleux en bordure des plaines.

L'infiltration différée se produit soit après ruissellement, soit à la suite de la fonte des neiges. Elle est liée aux crues qui amènent les eaux des montagnes dans les zones de piedmont et les lits des oueds, et on peut admettre qu'une très grande partie de ces eaux ne parvient pas à l'aval de la plaine et est donc soit infiltrée, soit évaporée.

Il est donc extrêmement difficile de déterminer la part de l'infiltration indirecte dans la recharge des nappes et nous essayerons plus loin de préciser la valeur de cette part dans le calcul du bilan.

Toutefois, dans les massifs où il y a peu d'infiltration directe du fait de l'absence des calcaires fissurés (formation jurassique inférieur-moyen) le ruissellement étant très important, on peut estimer que la part des précipitation qui est utilisée sous forme d'infiltration différée peut se situer entre 2 et 25% des précipitations sur les massifs montagneux.

3. HYDROLOGIE DE SURFACE ET RUISSELLEMENT

Le régime pluviométrique de la région montre que les pluies violentes sont réparties sur une durée de 60 à 90 jours par an ce qui imprime un caractère torrentiel aux oueds. L'écoulement superficiel est très faible ou nul pendant la plus grande partie de l'année.

Le réseau hydrographique dans la région est assez développé. La plupart des oueds sont secs. Ce n'est qu'après les pluies abondantes qu'un écoulement temporaire peut se créer dans les oueds. L'oued le plus important dans la région est la Rud-é-Sarkhan, dans laquelle l'eau s'écoule pendant toute l'année, mais n'atteint qu'exceptionnellement la plaine salifère au Sud de Mehmandoust.

Cet oued draine le bassin versant de Tazareh. Son apport d'eau moyen annuel en 1976 était 4 x 10⁶m³/an qui servent à l'irrigation

.../...

des villages situés en dessous de la route asphaltée de Damghan-Chahroud.

3.1. STATIONS HYDROMETRIQUES

Pour calculer la lame d'eau écoulee en surface dans le bassin versant de la région de Tazareh, nous allons analyser le régime de la rivière de Sarkhan au point de sa sortie de la montagne et de son entrée dans la plaine.

3.2. REGIME DU RUD-E-SARKHAN

Le débit permanent qui coule en cette station est de l'ordre de 50 l/s, mais il provient pour la plus grande part des sources qui sont captées sur les versants S de Kuh-é-Tazareh.

La crue du Rud-é-Sarkhan est assez courte et ne dure que le temps de la pluie violente d'Avril et Mai.

Sur la figure n°20 nous avons montré la variation du débit et aussi la conductivité en 1976.

4. DEFINITION DU CLIMAT DE DAMGHAN ET CHAHROUD - L'ARIDITE

Il nous est maintenant possible de définir le type de climat qui règne à Damghan: climat semi continental à l'hiver froid, à précipitations hivernales et sécheresse marquée en saison chaude, à bilan hydrique fortement déficitaire.

Dans le détail, il est possible de rencontrer des variantes; la division phytogéographique de la zone "Irano-Touranienne" par Pabot (144) basée sur la pluie et les températures, pourrait servir d'exemple:

- Zone sub-désertique: P inférieur à 100mm. Bordure des Kévirs au Sud de Damghan et Chahroud;

.../...

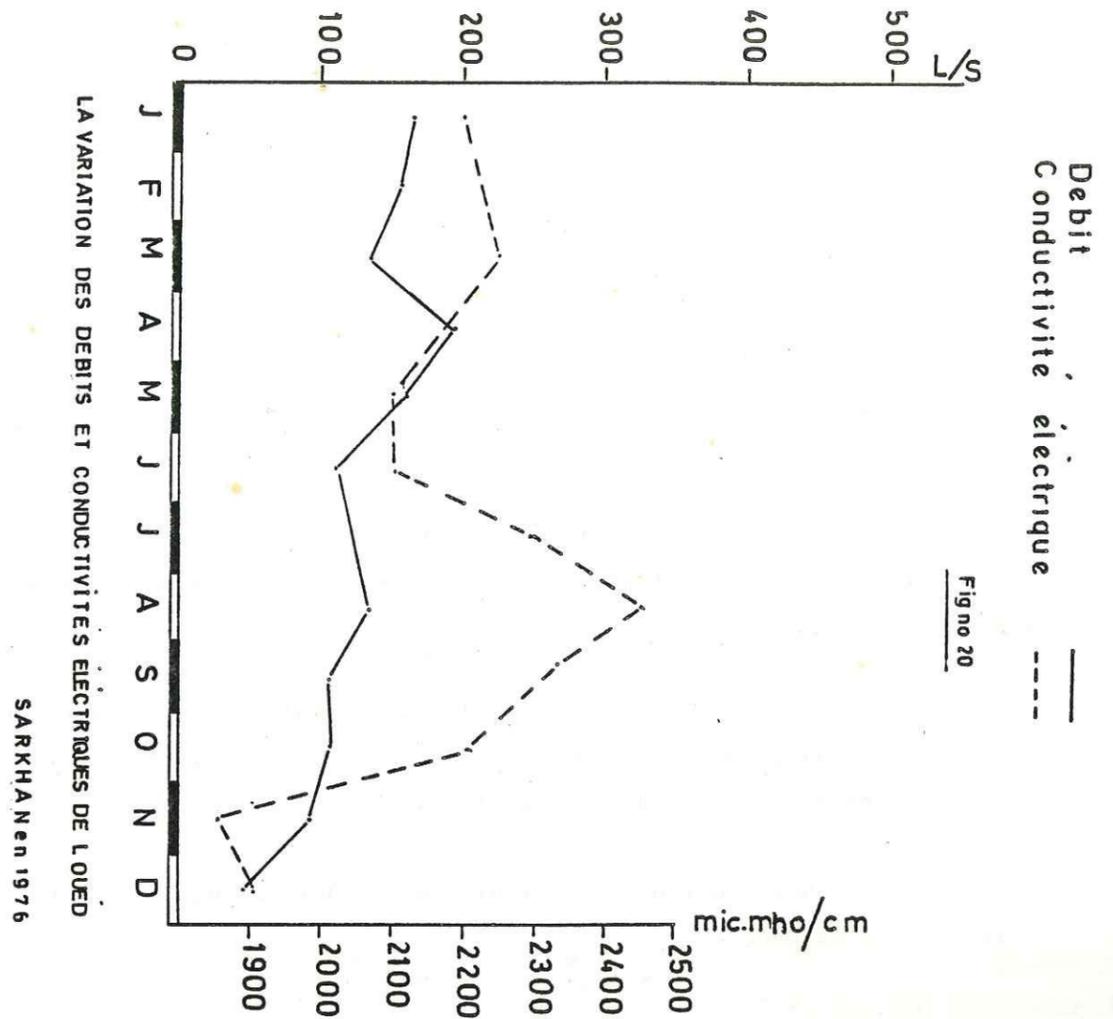


Fig no 20

- Zone steppique: P compris entre 100 et 250mm. La plaine limoneuse et les montagnes de Tazareh à l'altitude 2400m correspondent à cette zone.

- Zone sub-steppique: bande étroite le long des montagnes, correspond à la partie amont avec une altitude supérieure à 2400m: P de 250 et 400mm.

- Zone forestière xérophile: P entre 400 et 450mm complètement déboisée.

- Zone alpine sèche: entre 2600 et 4000m. Neige plusieurs mois.

Réajustée à la région, cette classification peut apporter des nuances climatiques, correspondant à des réalités d'ordre hydrologique, géomorphologique et certainement écologique.

Une division plus générale devenue classique est celle des agroclimatologues: détermination de la limite des cultures sèches par l'isoyète 250mm cette ligne permet la distinction d'une zone aride et d'une zone semi-aride.

Divers auteurs ont établi des formules qui permettent des classifications; des indices d'aridité ou de continentalité favorisent des comparaisons avec d'autres stations.

Nous retiendrons: l'indice de sécheresse d'EMBERGER pour la station de Damghan

$$G = \frac{P}{M^2 - m^2} \times 100 = 10$$

P = pluie

m = moyenne des "min. du mois le plus froid

M = moyenne des "max. du mois le plus chaud

Sur son graphique des affinités climatiques Damghan serait dans l'étage Méditerranéen aride à hiver, froid et été avec des pluies faibles à négligeables.

../..

Indice d'E de Maratonne

$$i = \frac{P}{T + 10}$$

Pour station Damghan avec

P = 105mm

T = 14°

nous avons:

$$i = 4,4$$

Cet indice d'aridité classe Damghan dans le climat désertique.

Indice de Gaussen (fig.n°21) Diagramme ombrothermique de la station de Damghan montre:

i = nombre de mois où P égal ou inférieur à 2 T = 9; c'est à dire 9 mois sec et 3 mois pluvieux (janvier-février mars). ou P > 2T.

La fig. n°22 présente le même diagramme pour la station de Chahroud 1951-1976.

Pour Chahroud

nous avons

i = 8 pour les mois secs et les mois pluvieux sont Janvier à Avril

$$\text{Le rapport } \frac{ETR}{ETP}$$

qui atteint l'unité dans les zones très humides, est ici égal à 0,13 - la sécheresse est fortement marquée.

CONCLUSION SUR LE CLIMAT DE DAMGHAN

Damghan est placé sur le mauvais côté d'une barrière montagneuse présentant une profonde asymétrie bioclimatiques: sur le versant intérieur de l'Elbourz, exposée au Sud, affectée par un degré de continentalité élevé, la région se caractérise par une forte sécheresse due plus à une évaporation intense qu'à une réelle insuffisance des pluies.

Une zonalité verticale très marquée implique des distinctions dans ce climat général. Semi-aride à l'amont de Damghan, le climat devient rapidement aride vers le Sud. La ville de Damghan sert de bon repère pour délimiter la zone aride et la zone semi-aride.

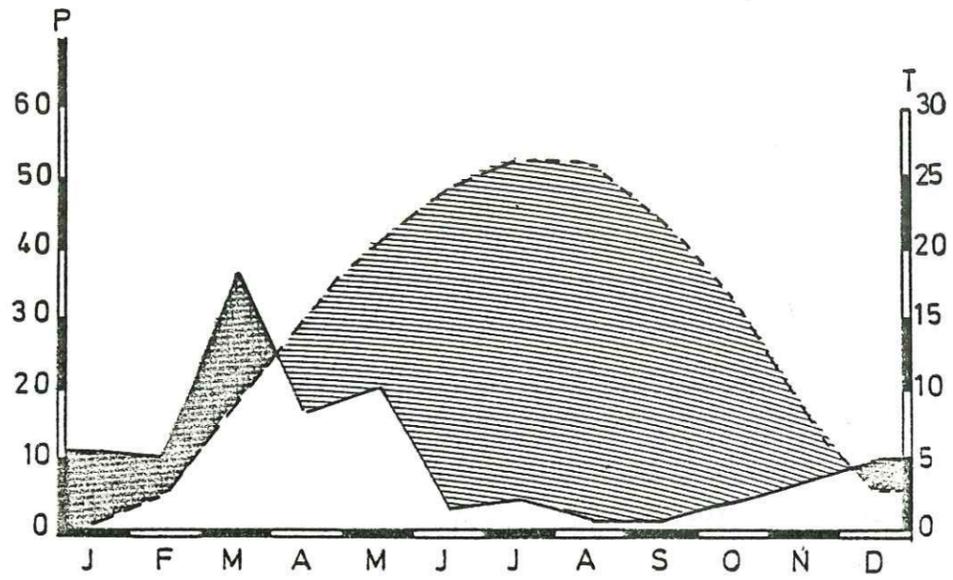
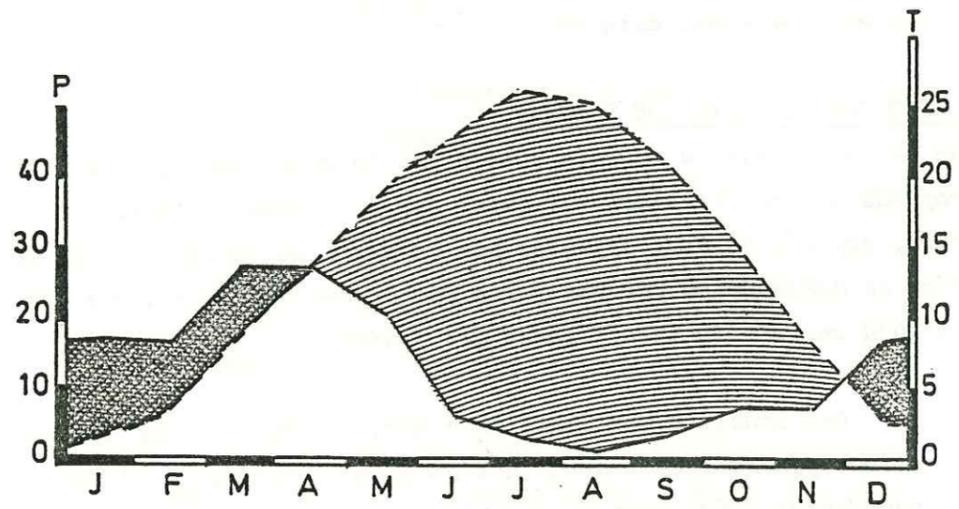


Fig no-21- Diagramme ombrothermique de la station de DAMGHAN(1958-76)

Les mois secs $P < 2 T$
Les mois pluvieuses $P > 2 T$



Figno-22- Diagramme ombrothermique de la station de Chahr ood(1951-76)

CHAPITRE III

GÉOLOGIE DE LA RÉGION

- *Stratigraphie des bordures*
 - *Géologie des formations alluviales de la plaine de Mehmandoust*
 - *Tectonique de la plaine de Mehmandoust*
 - *Conclusion sur la tectonique du piedmont*
-

3. GEOLOGIE DE LA REGION DE MEHMANDOUST

3.1. STRATIGRAPHIE DES BORDURES

Introduction

Avant la prospection du charbon par la Société Métallurgique d'Iran, en 1968 à Damghan-Chahroud, il n'existait que peu de travaux géologiques sur la région de Damghan, si ce n'est la carte géologique au 1/100.000 de N.I.O.C.

Lors des travaux géologiques concernant les minerais, on n'avait pas prêté beaucoup d'attention aux formations quaternaires de la plaine de Mehmandoust.

Après avoir commencé les recherches sur les mines de charbon, nous avons établi avec la collaboration de géologues russes la première carte géologique détaillée de toute la région intéressée à l'échelle de 1/50.000. En 1972-73 on a préparé, en vue de l'exploration, d'autres zones nouvelles de charbon, la première carte au 1/250.000, comportant les différentes formations géologiques des flancs Nord (bordure de la mer Caspienne) et Sud de l'Elbourz oriental.

L'étude des eaux souterraines, pour l'alimentation en eau potable et industrielle de la ville de Mehmandoust, qui est en cours de construction, a nécessité des études géologiques et aussi géomorphologiques des différentes formations alluviales.

Dans le chapitre, ci-après, nous décrirons les campagnes sédimentologiques et géophysiques réalisées pour étayer notre étude géologique du remplissage de la plaine de Mehmandoust.

La géologie de la région de Damghan-Chahroud peut-être considérée comme assez compliquée, car toutes les séries stratigraphiques, à partir du protérozoïque jusqu'aux formations récentes du quaternaires sont présentes dans la région.

La carte géologique jointe (planche n°3) couvre donc l'ensemble des massifs environnant la plaine de Mehmandoust à une cote un peu supérieure à 1600m sur "la limite Nord de notre travail" et toutes

les formations quaternaires de la plaine.

3.1.1. Infracambrien

- Formation de Soltanier (Es)

La formation la plus ancienne de la région de Chahroud est la formation de Soltanier. Elle affleure à la bordure NE de la plaine de Mehmandoust, près du village de Deh-Molla, à 4km de la route asphaltée Damghan-Chahroud, sur la route de la mine de charbon de Deh-Molla.

Le nom de Soltanier est celui d'une petite ville historique située au Sud-Est de Zendjan, et ancienne capitale de l'Iran sous les derniers Ilkans Mongols.

La coupe type choisie par le Service Géologique d'Iran se trouve dans la région de Soltanier (Stöcklin, Nabavi, Samimi - 1965).

La formation de Soltanier consiste essentiellement en une dolomie massive de couleur claire. L'épaisseur de la formation peut atteindre 1000m. Cette dolomie est fortement recristallisée et contient en abondance des Cherts en lits ou en concrétions.

Vers la base de la formation, un épais banc de schistes contenant des "problematica" ("Fermoria"), a reçu le nom de "Chapoghlu member". Les "Fermoria" semblent être les premières traces d'êtres vivants en Iran.

Dans la coupe type, plus haut dans la série, on trouve des "stromatolites" concrétions dues à des algues bleues, dont les conditions de vie sont déterminées par la chaleur et la salinité. Il faut remarquer que, d'une manière générale, les dolomies représentent un faciès latéral bordier des bassins évaporitiques.

- Formation de Barut (Eb)

Elle affleure au dessus de la formation de Soltanier dans le même secteur. C'est une alternance assez régulière de schistes colorés

souvent rouges, de calcaires et de dolomies.

Celles-ci contiennent souvent des nodules de cherts. Comme dans le cas précédent, cette formation est associée à des bassins évaporitiques. Les bancs de dolomie excèdent rarement quelques mètres. La coupe typique se trouve à 18km au Sud-Ouest de Zendjan. L'épaisseur de l'ensemble de la série est de l'ordre de 500m.

Conclusion

Cet ensemble, épicontinental, est marqué par une grande homogénéité des faciès sédimentés dans un bras de mer qui se dessèche sur place, avec une répartition des faciès conforme à la loi de Walther (l'évolution verticale des faciès est la même que celle que l'on peut observer latéralement).

3.1.2. Paléozoïque

- Paléozoïque inférieur

Généralités

Le passage du Précambrien au Cambrien est progressif. Il se marque par la disparition graduelle des dolomies. Elles sont remplacées d'abord par des formations détritiques silteuses, micacées, bariolées, lagunaires, auxquelles succèdent des formations détritiques gréseuses peu profondes marquant le début d'un nouveau cycle de sédimentation.

La série devient de plus en plus marine.

A/ Cambrien inférieur

- Formation de Zaigun (EZ)

A cause de l'érosion, nous n'avons pas pu distinguer sur le terrain le contact entre les formations du précambrien et les grès du cambrien.

Le type de la formation a été pris dans l'Elbourz, au village de Zaigun, dans la haute vallée du Djadjeroud., au Nord de Téhéran (Assereto - 1963) . Ce sont des schistes rouges violacés, avec des intercalations gréseuses. L'épaisseur est variable selon les

coupes (dans la coupe type:450m).

- Formation de Lalun (εL₁ et εL₂)

Cette formation correspond à ce que l'on nommait, il y a quelques années encore les "old red sandstons", les vieux grès rouges, terme qui englobe d'ailleurs également les deux formations précédentes.

Ce terme de vieux grès rouge avait été introduit en Iran il y a une centaine d'années par suite de la découverte d'une faune du Dévonien moyen dans des calcaires surmontant ces grès. D'autre part, il y avait analogie de faciès avec les "old red sandstons" du Dévonien anglais.

Cette étude a été révisée à la suite de la découverte par un groupe de géologues du Service Géologique d'Iran (Stöcklin, Ruttner, Nabavi) de niveaux fossilifères surmontant les grès rouges et dont l'âge a été fixé au Cambrien moyen supérieur.

La coupe type a été choisie entre les villages de Zaigun et de Lalun, dans la haute vallée du Djadjeroud (Assereto - 1963). La formation de Lalun est un grès arkosique à ciment siliceux, à stratification entrecroisée, venant de l'érosion d'une arène granitique et de terrain métamorphique (présence d'apatite et de grenat). Il faut aussi signaler la présence de glauconie, ce qui indique un milieu marin peu profond, et de débris phosphatés déposés dans les mêmes conditions.

Au sommet, un membre de grès arkosique blanc quartzifié dit "Top quartzite" est un bon marqueur visible sur de grandes surfaces dans le Nord et l'Est de l'Iran. L'épaisseur de la formation à Lalun est d'environ 1000m et dans notre région le maximum de l'épaisseur se trouve vers Nosrat-Abad et atteint 500 à 1000m.

Les études pétrographiques de Steiger (1966) nous permettent de mieux comprendre les conditions de dépôts. Cet auteur a étudié systématiquement les variations de la granulométrie, l'"arrondi" des grains et le pourcentage des feldspaths plagioclasés, en allant de la base au sommet.

Le grain petit augmente de la base au sommet tandis que le pourcentage des feldspaths diminue. Ceci montre une maturité progressive, de la base au sommet. Au début les dépôts devaient se sédimenter rapidement. Le milieu devient de plus en plus marin, les feldspaths disparaissent par altération et par usure mécanique. On aboutit ainsi au "Top quartzite" qui par sa vaste répartition géographique, est une remarquable couche repère. Aussi uniformément répandu, il n'a pu se déposer qu'en milieu marin.

Sa couleur rouge est un caractère important. On a pensé longtemps que la couleur était un caractère désertique. On sait maintenant qu'il n'en est rien et que cette couleur est due à des conditions physico-chimiques fortement oxydantes. Comme cette couleur rouge se retrouve ailleurs à la même époque (par exemple aux U.S.A.), il s'agit d'un caractère climatique à l'échelle du globe.

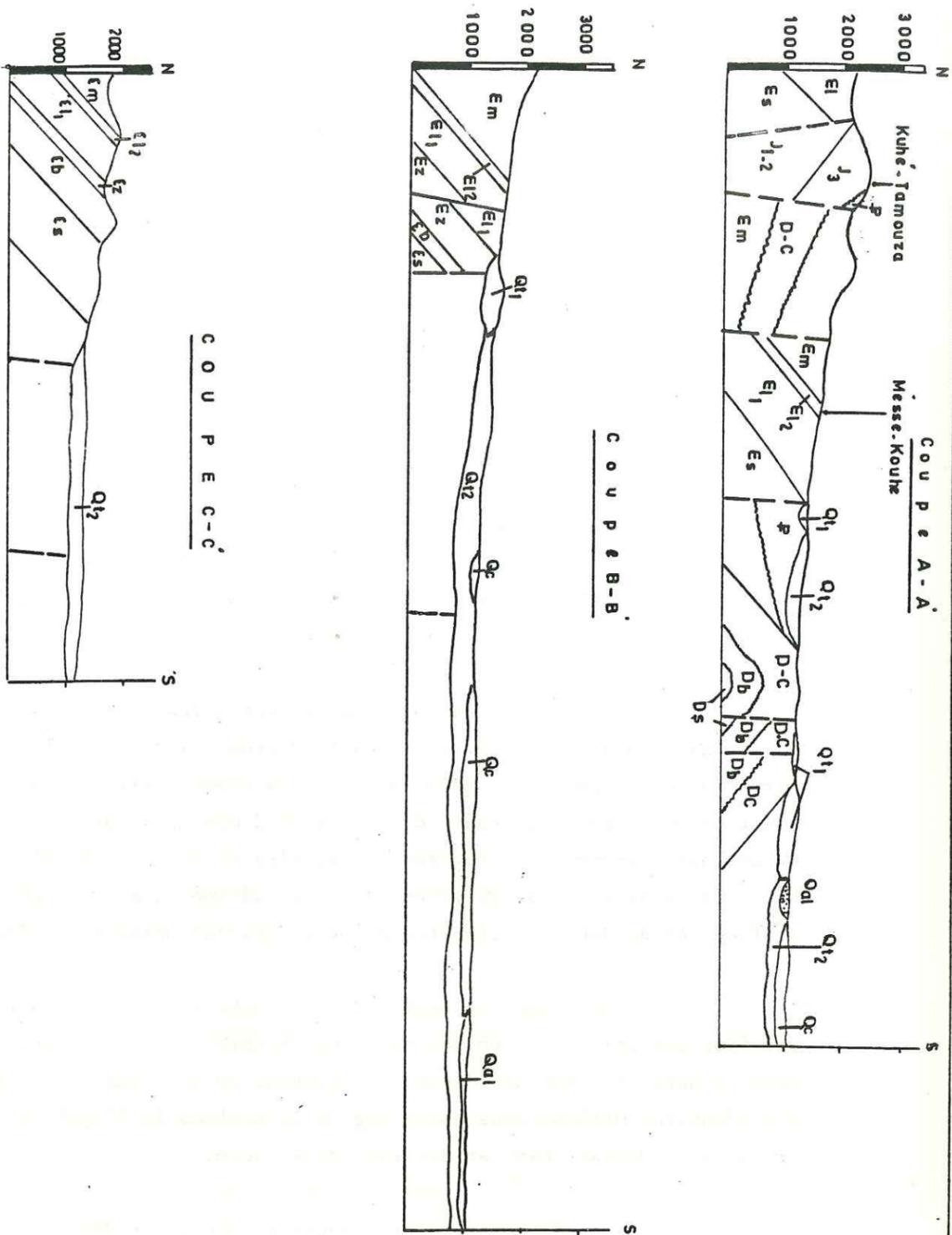
B/ Cambro-Ordovicien

- La formation de Mila (em₁ - em₂)

La formation de Mila a été définie pour la première fois en 1963 au pied Sud du Mila-Kuh, à 50km à l'W-SW du village Ghucheh, près de Damghan. Dans sa localité-type étudiée par (Stocklin, Ruttner, Nabavi - 1964) se trouve la coupe la plus complète et la plus riche en fossiles. La formation de 600m d'épaisseur, a été divisée en cinq membres. Au-dessus du "Top quartzite" de la formation de Lalun les 190 premiers mètres sont surtout dolomitiques, la partie médiane surtout calcaire, la partie supérieure surtout détritique.

La partie moyenne a livré de nombreux fossiles: Brachiopodes, (Hyolites, Obolus) et surtout des Tribolites: Chuangia s.p., Iranochuangia s.p., cf. Iranoleesia s.p. (H. K. Erben,) groupe Lioporella et Anomocarella (T. Kobayashi),

Les fossiles suggèrent un âge cambrien moyen à supérieur.



LEGENDE

Qal								
Qc								
Q12								
Q11								
D-C								
Ds								
P	P	P	P	P	P	P	P	P
J3								
J1-2								
Em								
El1								
El2								
Es								
Ez								
Eb								
Ea								

Coupses géologiques de la plaine de MEHMANDOUST

Fig no 23

La formation de Mila est bien répandue au-dessus du "Top-quartzite" dans la zone de Nosrat-Abad et aussi à l'Est de la ville de Mehmandoust où elle est bien reconnaissable.

C/ Ordovicien (or)

L'Ordovicien découvert par Bobek en 1934 à l'Alam Kuh a été décrit par Gansser et Huber - 1962, sous le nom de Formation de Lachkerak. Il a été décrit en détail par Glauss (1965). Dans notre région, les formations silteuses, au coeur de synclinal de Hert paraissent être d'âge ordovicien.

Considérations générales sur la paléogéographie du Cambrien en Iran

Dans la plus grande partie de l'Iran, les sédiments du Cambrien inférieur sont formés surtout de schistes, souvent rouges, de siltstones, indiquant un milieu continental (Formations de Zaigun et de Lalun).

Les conditions franchement marines ne commencent qu'avec la formation de Mila. Dans tout le Cambrien moyen et supérieur, nous avons une transgression continue, avec dépôts de calcaires. Il semble que cette mer transgresserait du Sud-Est vers le Nord-Ouest.

A la fin de cette période, la mer régresse mais persiste dans la partie est et sud-est de l'Iran.

- Paléozoïque supérieur

Nous avons déjà indiqué dans le chapitre précédent que la plaine de Mehmandoust qui a fait l'objet de notre étude hydrogéologique se place à la limite entre la chaîne de l'Elbourz et l'Iran Central. Elle correspond paléogéographiquement à deux secteurs: le secteur nord qui se rattache à l'Elbourz et le secteur sud, qui fait partie de l'Iran Central. La limite entre ces deux secteurs correspond à un accident structural déjà figuré sur différentes cartes géologiques. M. Alavi, dans son travail sur l'étude géologique de la région de Djam près de Semnan (*Rapport n°23 du Service Géologique de l'Iran-1972*) l'a appelé "Accident d'Atarie". Cette faille passe au milieu de la plaine de Mehmandoust. Elle a affecté la couverture du tertiaire et au milieu de la plaine vers Nosrat-Abad, elle recoupe des forma-

../. ..

tions du Dévonien de l'Iran Central, les grès fossilifères du Lias et vers l'Est les formations calcaires du Jurassique supérieur.

Donc à la bordure nord de la plaine de Mehmandoust, les formations du Dévonien supérieur chevauchent directement sur les formations plio-pleistocènes, mais à cause de "l'Accident d'Atarie" au milieu de la plaine près de Nosrat-Abad les formations du Dévonien Carbonifère de l'Iran Central se manifestent sous forme d'un anticlinal cassé avec un contact latéral anormal avec les grès du Lias.

La coupe géologique A-A' (figure n°23) montre l'effet de cette faille au milieu de la plaine de Nosrat-Abad.

3.1.3. Mésozoïque

Introduction - Contrairement aux temps paléozoïques, période assez calme du point de vue orogénique, les temps secondaires sont en Iran, plus agités. Le Mésozoïque commence cependant par une période assez calme, allant du Trias au Jurassique supérieur. Pendant ce temps, la sédimentation est assez homogène.

A partir du Crétacé inférieur, commencent des mouvements importants et des bassins de sédimentation s'individualisent. Les dépôts sont alors très variés.

- Trias

Nous ne l'avons pas rencontré aux limites Nord et Sud de notre plaine. Il affleure plus loin vers le Nord dans la zone des mines de charbon de Tazareh avec une extension considérable.

- Jurassique

D'après les études de R. Assereto - 1966 et Fantini Sestini 1968, le Jurassique peut se diviser en quatre formations ci-dessous.

A) Jurassique inférieur

Formation de Shemshak - J₁

La coupe type (Assereto, 1966 et 1968) a été prise à Shemshak, 50km au Nord de Téhéran. Elle comporte 1000m de grès et de

../. ..

schistes qui se divisent en quatre membres, de la base au sommet:

- 1) un membre gréseux inférieur
- 2) un membre à charbon inférieur
- 3) un membre gréseux supérieur
- 4) un membre à charbon supérieur

Dans notre région, le Jurassique a une extension très considérable et affleure sur plusieurs dizaines de kilomètres carrés. L'épaisseur de cette formation dans le secteur de la mine de Tazareh atteint l'ordre d'environ 3000m et il existe les quatre membres étudiés ci-dessus.

Il affleure également en bordure de la plaine sous les calcaires du Malm dans les secteurs de Mehmandoust près du village de Hert (mine de charbon de Hert) et aussi dans le secteur du village de Talu (mine de charbon de Talu).

Il constitue le flanc sud de l'anticlinal de Tazareh en bordure de la plaine.

B) Jurassique moyen et supérieur

Le Dogger et le Malm, avec des caractères assez voisins de ceux qu'on rencontre dans les Alpes françaises sont bien représentés dans l'Elbourz et connus depuis longtemps.

Dogger: Formation de Delitchai (J₂)

La coupe type a été donnée par Steiger (1966) sur le flanc est de la vallée du Delitchai, sur la route de Damavend à Firuzkuh, à l'est du Zarin Kuh.

L'épaisseur de cette formation dans notre région varie entre 30 et 50m; elle est représentée par des calcaires en petits lits, gris-verts, des calcaires marneux. Elle repose en concordance sur la formation de Shemshak ~~ou~~ la formation de Lar. A cause de sa petite épaisseur en bordure de la plaine, elle est souvent cachée sous les éboulis de pente de la formation de Lar. Nous ne l'avons pas séparé de la formation de Shemshak. Elle est souvent fossilifère, et d'après ces fossiles l'âge de la formation est bajocien à callovien.

Formation de Lar (J₃)

La coupe type est située au nord-est de Garmabdar (vallée du Lar, à l'amont du Demavend (Asserreto - 1966). Elle a plus de 800m d'épaisseur dans notre région où elle est très répandue constituant la barre de calcaire blanc qui culmine à plus de 3000 mètres d'altitude: flanc sud du synclinal de Mianab).

En bordure de la plaine, elle affleure à Nosrat-Abad, Talu et Mehmandoust et forme le flanc sud de l'anticlinal de Tazareh. Elle chevauche directement sur les formations plio-pleistocènes avec un pendage vers le Sud.

Elle comporte deux parties, dont la partie inférieure est micritique en petits lits avec des Ammonites *Berberyceras* SP. *Ebrayiceras* SP. *Indosphinctes* qui indiquent un âge oxfordien supérieur à Kimméridgien.

- Crétacé

En bordure de la plaine nous n'avons pas pu le distinguer des calcaires du Jurassique supérieur, et il semble absent dans notre région.

3.1.4. Cénozoïque

Formation de Karadj - Eocène p

Synonymie: série verte (Tietze 1877); couches vertes (Rivière 1934 - Schröder 1945 - Dellenbach 1964); couches vertes oligocènes (Bailey, Jones et ~~Asfia~~ 1948).

Ces "couches vertes" de l'Elbourz frappent tout le monde, géologue ou non, par l'aspect qu'elles impriment au paysage. C'est un type de dépôt assez exceptionnel, formé essentiellement de matériel pyroclastique sous-marin, associé d'une part à un volcanisme effusif classique en coulées, dykes, sills, agglomérats etc..... et d'autre part à de véritables sédiments: schistes, calcaires.

.../...

La coupe type a été étudiée par Dedual(1966) dans la vallée du Karadj, elle comprend des alternances de tufs, shales et schistes. L'épaisseur de la formation dans la coupe type est de 3500m.

Selon Iwao et Houchmand (travail à paraître au G.S.I. dont nous avons eu communication), cet ensemble a subi un léger, métamorphisme généralmarqué pour le métamorphisme le plus important, par les faciès classiques verts (épidote, chlorite, montmorillonite) et, pour les parties à métamorphisme plus faible, par des faciès zéolithiques.

Dans notre région, cette formation affleure à Nosrat-Abad et repose en discordance sur les formations anciennes avec une épaisseur de l'ordre de 1000 mètres.

- Eocène terminal

Vers l'Ouest du village de Nosrat-Abad, on a observé une couche épaisse de gypse qui nous paraît être de l'Eocène terminal.

J. Dellenbach les a rencontrés à l'Ouest de Saran, à l'extrémité Sud-Est de Téhéran, et aussi au Nord-Ouest du village de Kond près de Téhéran.

La coupe type a 250m d'épaisseur.

Cette formation est nommée: Formation de Kond par La Commission stratigraphique.

CONCLUSIONS GENERALE SUR L'EOCENE

L'étude géologique de dépôts éocènes de l'Elbourz nous conduit aux conclusions suivantes. L'ensemble des dépôts éocènes forme un cycle de sédimentation complet. Il débute par des dépôts conglomératiques surmontés de dépôts peu profonds. Puis vient une période de subsidence avec les dépôts de tufs sous-marins de la formation de Karadj: exceptionnellement épaisse et marquée par une intense activité volcanique.

A la fin de cette période, la subsidence est terminée. On trouve de nouveau des dépôts peu profonds, puis vient une régression marquée par du gypse (formation de Kond) observée à l'Ouest de Nosrat-Abad.

../. ..

- Miocène (Ng_m - Ng_c)

Dans notre région, "une formation rouge supérieure" transgresse sur le Jurassique supérieur dans la zone de Talu-Mehmandoust.

Cette formation est l'équivalent de la "upper formation" du bassin central, formation qui s'étend sur une bonne partie de l'Iran, très épaisse, équivalente du "Fars" du Sud de l'Iran.

Pour le Sud de l'Elbourz, H. Huber a établi une stratigraphie commode.

La formation rouge supérieure (U.R.F.) est subdivisée en deux membres M₁(Ng_m) et M₂ (Ng_c).

Le membre M₁ est formé de 700m environ de marnes gréseuses à intercalations de calcaires gréseux en plaquettes avec lits gréseux.

Dans la région, le Miocène se trouve sous forme d'un synclinal de direction E-W.

Le membre M₂, qui est un conglomérat très induré transgresse sur les couches anciennes (Formation de Lar, Mila et Lalun dans notre région) et représente des arrivées torrentielles dans une mer peu profonde ou peut-être même un lac subsident, en voie de comblement.

Comme nous le verrons plus loin, cette formation constitue une grande partie du substratum de la plaine de Mehmandoust.

La composition pétrographique de ce conglomérat est à base d'éléments du Jurassique supérieur, de grès du Jurassique moyen, inférieur et d'éléments paléozoïques du massif de Tazareh.

Tout cet ensemble miocène est, indiscutablement, de caractère molassique. Il s'agit de formations résultant de l'érosion d'une chaîne en voie de surrection et dont la signification est la même que celle des molasses subalpines. Leur épaisseur est au moins égale à celle des molasses alpines, ce qui suppose une érosion considérable.

=====

3.2. GEOLOGIE DES FORMATIONS ALLUVIALES DE LA PLAINE DE
MEHMANDOUST

3.2.1. Stratigraphie du piedmont de "Mehmandoust"

Introduction historique

Rieben dans son étude de la stratigraphie des alluvions de Téhéran a distingué quatre grands ensembles appelés A, B, C, D - la formation A étant la plus ancienne.

J. Dresch (66) dans une étude postérieure a voulu modifier cette classification, mais en introduisant des critères morphologiques.

Nous avons adopté pour base de notre stratigraphie, celle de Rieben en modifiant les termes "A, B, C, D" en ceux de "Qt₁, Qt₂, Qc, Qa1" adoptés par les Géologues du "Service Géologique d'Iran"

On trouve aussi une bonne description des alluvions de Téhéran dans le rapport de Sir A. Gibbs.

3.2.1.1. La formation "A" Qt₁

Description

Ce sont les alluvions conglomératiques les plus anciennes de la région. Elles sont représentées par de fortes épaisseurs de cailloutis roulés d'origine fluviatile. Notre étude sédimentologique dans le chapitre ci-après confirmera cette hypothèse.

Les différents cycles d'érosion et les actions tectoniques ne permettent pas de distinguer la morphologie fluviatile originelle, mais une des caractéristiques de ces alluvions est leur homogénéité qui est due à un bon calibrage des galets, à une stratification assez régulière, à une lithologie pauvre en variétés, et à une couleur uniforme.

- Observations macroscopiques : D'une façon générale la longueur des galets n'excède pas 4,5cm, la largeur moyenne est de 1,25cm. Sur une section de 2km, on trouve des formations Qt₁, sur la route de Mehmandoust à

.../...

Tazareh, nous avons prélevé deux lots de 100 galets chacun. La longueur des galets est comprise entre 3,5 à 1,25cm. Dans le paragraphe d'analyse de la formation Qt₁, nous parlerons en détail des différents indices caractéristiques tels que les indices d'éroulé, d'aplatissement et de dissymétrie.

- Origine des sédiments: Nous pensons que les apports se faisaient essentiellement depuis le Nord et en direction du Sud. Les alluvions "Qt₁" de la région de Mehmandoust ne sont que la continuation vers le Nord d'une grande masse de cailloutis fluviatiles qui a rempli la dépression synclinale de la plaine. Ces alluvions se sont localisées entre l'Elbourz et les formations d'Iran Central. Les agents de transport pourraient être les cours d'eau et les oueds importants dont l'oued de Sarkhan. Cette hypothèse sera confirmée par les analyses sédimentologiques de cette formation dans le prochain chapitre.

- Détermination de l'âge du Qt₁

- Pliocène

Un changement de climat à la fin du Pontien a permis de fortes accumulations détritiques. A ce changement radical de climat a dû se superposer une phase tectonique. Cette phase tectonique se traduit par une forte discordance.

Ainsi, nous caractériserons le Pliocène par ce brusque changement de climat par rapport à la précédente période "Miocène".

Rieben a donné le nom de "Formation Hezardarez" à ces cailloutis pliocènes de la région de Téhéran.

Localisation du Pliocène

Le Pliocène forme les plus hautes collines du piedmont de Mehmandoust. Il est épais et recouvre une grande surface dans la plaine entre Damghan et Mehmandoust, et le long du pied de la montagne à l'Ouest vers l'Est.

3.2.1.2. La formation "B" Qt₂

Comme pour les alluvions "A" il est difficile de distinguer la morphologie de l'appareil hydrographique qui est à l'origine des dépôts "B".

Ces alluvions ont des caractères communs, des épaisseurs variables et sont en position horizontale en général.

Il y a une discordance très marquée entre "A" et "B".

La couleur, en coupe, ressemble beaucoup à celle des formations "A" Qt_1 . Ceci est dû à l'origine commune des galets.

La présence d'un matériel terreux et fin donne une coloration brunâtre en surface - Rieben a appelé ces alluvions dans la coupe type "formation intermédiaire hétérogène". L'assise Qt_2 se présente souvent avec des galets bien roulés, disposés en bancs réguliers et peut se confondre aisément avec les couches "A".

Le passage de "A" à "B" se fait cependant par l'intermédiaire d'une surface d'érosion très marquée. Il faut ajouter un autre caractère important de cette formation qui est la présence en surface d'encroûtements calcaires, blanchâtres, pulvérulents. Nous les avons rencontrés dans les sondages. Dans le paragraphe "Géomorphologie" nous en parlerons en détail.

La plus grande partie des limons de la plaine de Mehmandoust appartient à la formation Qt_2 ou "B", ce qui n'exclut pas un recouvrement par des limons plus récents.

- Origine des sédiments: Dans la plaine de Mehmandoust, les alluvions Qt_2 cachent la quasi totalité des dépôts pliocènes. La granulométrie décroît du Nord vers le Sud.

Rieben désigne les alluvions Qt_2 ou "B" sous le nom de "formation de Kahrizak" près de Téhéran.

3.2.1.3. Les alluvions "Qc"

Ces alluvions, correspondent à des périodes géologiques proches de nous. Leur destruction par l'érosion ne fait que commencer; elles ont conservé leur morphologie originelle, et leurs appareils fluviaux sont bien reconnaissables.

Ce sont des dépôts fluviaux de piedmont, ils ne sont pas tectonisés, avec un pendage normal pour un dépôt entre 0 à 30°.

../..

Ils reposent indifféremment sur les alluvions Qt_1 ou Qt_2 par l'intermédiaire de la surface d'érosion.

Dans la plaine de Mehmandoust, ils représentent toutes les surfaces d'épandages qui ne sont pas sous forme de collines.

Comme on peut le voir sur la carte géologique de notre région, (Planche n°3), ces limons Qc occupent une vaste surface. Les dépôts Qc sont représentés par des limons sableux avec de minces lits de graviers et des alignements de petits graviers à l'emplacement des anciens chenaux d'écoulement. Les briquetteries de la ville de Damghan et Chahroud exploitent aussi bien les limons Qc et Qt_2 , toutefois les limons Qc sont moins encroûtés.

Cette formation dans la région de Téhéran est appelée par Rieben "formation de Téhéran".

3.2.1.4. Les alluvions "Qa1" ou "D"

Les alluvions $Qa1$ sont les formations les plus récentes de la région de Mehmandoust. Leur origine, l'agent transporteur et le climat sont autant de facteurs connus.

Ces alluvions torrentielles sont localisées dans les lits et sur les aires d'épandages des cours d'eau fonctionnant actuellement.

Les alluvions $Qa1$ se présentent sous la forme d'amas de galets arrondis de taille très variable, de couleur claire et lavés de matériel fin. Le manque d'éléments fins ne permet pas le développement de végétation.

Elles affleurent dans les lits des oueds dans leurs cours montagneux ainsi qu'à la sortie des reliefs.

La couleur dominante est le gris-vert très clair qui tire sur le blanc après par une sécheresse prolongée et une longue exposition au soleil.

../..

Les apports de l'Elbourz sont des galets de calcaires jurassique supérieur de grès et de quartz du Jurassique moyen et inférieur et des galets de calcaires paléozoïques.

Le tonnage de galets transportés actuellement est très faible par rapport aux accumulations antérieures. L'assise Qal correspond à une phase morpho-climatique qui est très récente.

Au cours de l'étude géomorphologique du chapitre suivant nous compléterons cette étude des alluvions.

3.3. TECTONIQUE DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST

La plaine de Mehmandoust qui est une partie de la vaste plaine de Damghan-Chahroud est limitée par deux grandes unités structurales:

- la bordure nord du bassin central iranien
- la ceinture plissée du flanc sud de l'Elbourz oriental

qui forme la bordure nord de la plaine de Mehmandoust.

3.3.1. Histoire orogénique et évolution structurale

Dans ce paragraphe nous allons étudier les principales orogénèses et épirogénèses ayant affecté notre région.

- Phase anté-éocène (Laramienne)

A la fin du Crétacé supérieur et au début de l'Eocène, des mouvements orogéniques résultants de la phase laramienne ont affecté la région de Nosrat-Abad et du Nord de Damghan. Ils se traduisent par une discordance angulaire entre les couches de l'Eocène et les formations plus anciennes.

Dans cette zone, l'Eocène transgresse sur les calcaires du Jurassique supérieur de la formation de Lar au NW de notre terrain.

- Phase Oligocène terminal - Miocène

On constate aussi, une discordance antérieure à l'Oligocène terminal-Miocène entre la formation rouge supérieure et les sédiments

.../..

d'âge mésozoïque à l'Est de Mehmandoust qui recouvrent transgressivement la formation de Lalun "Cambrien inférieur".

- Phase anté-Quaternaire ancien

Les dépôts plio-pléistocènes qui sont les terrains les plus jeunes ayant été affectés par des mouvements orogéniques, sont couverts par les couches horizontales du Quaternaire ancien, ce qui témoigne d'un mouvement orogénique anté-Quaternaire ancien dans notre région.

3.3.2 Description tectonique régionale

La limite nord de notre plaine est formée par le système d'anticlinaux de la région de Tazareh qui fait l'objet d'une autre thèse (Nadjm).

Ces terrains anciens disparaissent brutalement (commencement de la plaine). Le déversement des flancs sud anticlinaux et synclinaux au-dessus des étendues planes de la plaine peut trouver une explication dans les actions tectoniques; une grande faille marginale sub-verticale ou un chevauchement semblable à celui de l'Elbourz est sur le piémont.

Nous avons deux séries d'unités tectoniques dans notre région:

- Tous les accidents majeurs et anciens tels que: les failles, les chevauchements et les axes des synclinaux et anticlinaux ont une direction plus ou moins EW;
- Dans les massifs du Cambrien au Nord Est de la plaine et aussi au Nord Ouest existent des fractures de directions (NW) et (SE) avec un pendage vers l'Est qui paraissent être plus jeunes que les précédentes. Ce deuxième groupe de faille joue un rôle très important dans l'alimentation de la nappe des piémonts, à partir du substratum d'où leur intérêt dans les recherches hydrogéologiques dans la région.

Il faut ajouter que, selon notre carte géologique (planche n°3) au milieu de la plaine, au S de Nosrat-Abad, nous avons un affleurement formant un petit anticlinal du Dévonien qui est dû au rejet d'une grande faille qui est probablement le prolongement de la faille d'Atarie.

.../..

3.3.3. Tectonique des alluvions de la plaine de Mehmandoust

Le piemont de Mehmandoust est tectonisé. Il faut préciser que chaque colline des formations alluviales présente une structure anticlinale et que les axes synclinaux se localisent dans les dépressions.

Le parallélisme entre les axes structuraux et les accidents nous suggère une étroite dépendance entre la tectonique cassante du substratum et celle plus souple des alluvions.

Les anticlinaux et les synclinaux (colline de la formation Qt₁) qui affectent les alluvions du piemont de la plaine, se moulent sur des compartiments surélevés ou effondrés du substratum affectés par une tectonique cassante du style "en touches de piano". Notre campagne géophysique de sondage électrique confirmera cette hypothèse dans le prochain chapitre.

Une tectonique souple de "couverture" se superpose à une tectonique cassante de "socle".

Donc un axe anticlinal doit correspondre en profondeur à un accident, ce sont des failles rectilignes très redressés ou verticales, parallèles entre elles.

Ces accidents cassants doivent être semblables à ceux qui affectent la partie centrale de la plaine et ont donné naissance à des affleurements anticlinaux du Dévonien et aux collines des formations Qt₁ et Jurassique supérieur à l'Est.

Cette faille nous paraît être celle que M. Alavi - Naïni a appelé dans son étude géologique de la région de Djam près de la ville de Semnan, centre du Département de notre région "L'accident d'Atarie".

Cette faille a servi de limite aux domaines de l'Elbourz et de l'Iran Central.

../..

3.4. CONCLUSION SUR LA TECTONIQUE DU PIEMONT

L'étude des structures et des accidents du piemont de Mehmandoust nous a permis d'établir les conclusions suivantes:

3.4.1. Le pied sud de l'Elbourz

La grande unité structurale a évolué, depuis la fin de l'Eocène dans le sens du soulèvement. Les pulsations de cette chaîne ont provoqué localement des accidents importants. Ainsi peut-on comprendre les chevauchements locaux et de faible ampleur qui affectent le contact Elbourz-piemont.

3.4.2. Le piemont de Mehmandoust

Le piemont est le siège d'une tendance à l'affaissement alors que l'Elbourz est une masse en voie d'élévation. Mais l'affaissement est très anarchique, et implique une zone ayant une certaine indépendance tectonique.

Le substratum du piemont de Mehmandoust est morcelé en une série de fossés d'effondrement. Ces zones peuvent être limitées par des zones surélevées.

Les failles sont rectilignes, parallèles et à forts pendages; elles découpent le piemont et sont conforme avec une structure en horsts et grabens.

La tendance au soulèvement de la grande chaîne de l'Elbourz a permis une accumulation très importante de sédiments au cours du Tertiaire et du Quaternaire, favorisée par un changement climatique que l'on ne peut négliger.

3.4.3. Le plateau central

La troisième unité tectonique de la région qu'on peut indiquer ici, est celle du "Plateau central iranien". Il a une grande extension vers le Sud et supporte les grandes étendues planes limoneuses.

Ce plateau correspond à un vaste socle semi-rigide affecté par des ondulations à grands rayons et par des assises en liaison avec ces plis.

Des épanchements volcaniques soulignent ces cassures. Les reliefs sombres volcaniques et d'immenses étendues roses de Miocène continental particularisent et uniformisent cette unité structurale.

CHAPITRE IV

ÉTUDE DÉTAILLÉE DU REMPLISSAGE DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST

- Etude géologique de surface
- Etude géomorphologique de la région de Damghan
- Etude générale du Quaternaire par prospection géophysique
- Etude des sondages, des carottages géophysiques et des échantillons des sondages mécaniques
- Etude de la sédimentologie de la plaine de MEHMANDOUST

4 - ETUDE DETAILLEE DU REMPLISSAGE DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST

Introduction - Dans ce chapitre nous allons essayer de donner les documents assez précis sur la nature et la structure du comblement alluvial du Quaternaire de la plaine.

Souvent, les formations actuelles d'âge "pleistocène-holocène" sont impossibles à séparer des formations plus anciennes du Quaternaire. La nature du remplissage, aussi bien que la nature du Bed Rock sont très variables dans la plaine de Mehmandoust. Nous avons mis en oeuvre toutes les méthodes possibles pour étudier le remplissage quaternaire de notre région telles que les suivantes:

- Etude géologique de surface
- Etude géomorphologique et étude des photos aériennes
- Prospection géophysique (méthode électrique)
- Sondages mécaniques
- Etude granulométrique d'échantillons.

4.1. ETUDE GEOLOGIQUE DE SURFACE

La prospection géologique de surface et en plus la reconnaissance générale de l'ensemble de la plaine ont consisté à visiter le maximum de chantiers de creusement de puits en cours de réalisation. D'autre part, nous avons pu visiter des travaux de curage de puits et aussi examiner les déblais des puits nouvellement créés.

L'exploration des lits des oueds et des ruisseaux nous a fourni de précieux renseignements sur les matériaux charriés lors des crues de ces cours d'eau. C'est l'étude géologique de surface qui a tracé les grandes lignes des différentes opérations ultérieures pour l'étude du remplissage plio-quaternaire de la plaine.

../. ..

4.2. ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE DE LA REGION DE DAMGHAN

Introduction générale

Située entre deux zones tectoniquement différentes, celles des reliefs d'Iran central et des hautes chaînes de l'Elbourz, la région étudiée offre une grande variété de formes originales de reliefs.

Depuis la fin des temps tertiaires, le relief de la région de Damghan a constamment évolué sous les actions simultanées des changements de climats et des pulsations tectoniques.

4.2.1. Les conditions de la morphogénèse

4.2.1.1. Les facteurs climatiques

Nous avons précisé plus en détail dans le chapitre de la climatologie les données qui caractérisent le climat actuel. Mais il est bon de préciser dès maintenant certaines valeurs qui nous aideront à mieux comprendre les formes de paysages et leur évolution. Les facteurs climatiques qui ont caractérisé le Quaternaire ancien seront étudiés plus loin avec les paléoformes du relief.

La plaine de Mehmandoust et aussi la ville de Damghan sont situées sur le versant Sud de la chaîne de l'Elbourz. Cette chaîne est une barrière qui isole efficacement le bassin central des influences de la mer Caspienne.

Aussi le climat qui règne à Damghan est sous l'influence plus ou moins prépondérante de la continentalité, de la présence des reliefs et des résidus Caspiens.

a) Les précipitations

Il faudrait distinguer plusieurs zones dans leur répartition spatiale:

- les reliefs de l'Elbourz - ils s'élèvent jusqu'à près de 4000m. La pluviométrie y est la meilleure, quoique limitée, le climat est du

type aride froid: les précipitations se font surtout sous forme de neige, mais la sécheresse se prolonge sur de nombreux mois en été.

- le piemont - s'étage de 1200m à moins de 1500m. Les influences continentales y sont prépondérantes.

- la plaine - elle est nettement aride avec moins de 100mm de "p" en bordure deskavirs. Quelle que soit la zone, les précipitations sont insuffisantes. Elles sont irrégulières au cours de l'année, et d'une année à l'autre. Leur durée est limitée. Les pluies correspondent avec le début et la fin de la saison froide.

Etant donné la faible nébulosité, l'altitude élevée, l'importance des radiations solaires et l'extrême sécheresse de l'air, l'évaporation est très forte; on estime que toute l'eau précipitée sur la plaine est reprise par l'évaporation.

b) Les températures

Leur répartition obéit aux mêmes remarques que ci-dessus. Les hivers sont froids dans toutes les zones. Il gèle pendant trois mois à Damghan. Même en hiver, l'ensoleillement est très fort. La limpidité du ciel permet des nuits fraîches en été. Cet ensoleillement permet la fonte de la neige plusieurs fois au cours de l'hiver. Les étés sont très chauds mais secs.

4.2.1.2. La végétation

Damghan est une ville oasis. La végétation se limite à des bouquets d'arbres le long des cours d'eau (peupliers) et à une pelouse très clairsemée de graminées dans la plaine limoneuse, avec des tamaris dans les zones d'épandage à limons salés; sur le piemont caillouteux destouffes d'épineux constituent "l'herbe à chameaux".

Au printemps des taches herbeuses fugaces verdissent dans les bas-fonds terreux. Les flancs de l'Elbourz sont quasi-stériles; ils supportent une maigre végétation herbeuse à la fonte des neiges, localisée sur les manteaux d'altération rougeâtre qui recouvrent les ressauts à pente faible

../..

L'irrigation permet l'existence de cultures toute l'année, toutefois, dans la plaine de Mehmandoust, il y a de grandes étendues de terre qui sont libres de toute végétation une grande partie de l'année. Ces terres limoneuses, sans culture, fournissent une quantité illimitée de poussière au moindre souffle de vent.

4.2.1.3. Les sols

A) Dans le piemont

Dans le piemont caillouteux, seules les alluvions "c" sont aptes à supporter des cultures. Ce sont les seules formations qui soient recouvertes par un sol; leur teneur en matériel fin, ainsi que des actions climatiques favorables ont permis une action pédologique. Les terrains antérieurs sont trop caillouteux, ou ravinés, ou encroûtés pour donner naissance à un sol. Ils forment des régo-sols stériles.

B) Dans la plaine

La plaine limoneuse de par sa nature et sa situation climatique, porte des sols steppiques, sols châtaîns calcaires à croûtes. Mais l'horizon humifère est peu développé; lorsque la croûte affleure ou est sub-affleurante, la stérilité est accrue.

C) Dans les reliefs

Les reliefs, à de rares exceptions près, portent des sols squelettiques ou des régo-sols.

Les collines sont dénudées. Les pentes sont recouvertes d'éboulis exempts de matériel fin. Dans l'Elbourz, les versants sont tellement abrupts qu'ils ne portent ni des éboulis, ni des placages terreux. La roche est à nu.

4.2.1.4. L'écoulement superficiel

Il diffère selon les zones considérées.

../..

A) Dans l'Elbourz

Le ruissellement est concentré en un réseau hiérarchisé.

Dépendant de précipitations désordonnées et surtout de la fonte des neiges, les cours d'eau ont un écoulement temporaire. L'été et l'automne assèchent les lits. Ils présentent un bassin de réception bien marqué avec des flancs abrupts, pauvre en végétation; les hautes altitudes de ces bassins contribuent à cette stérilité.

L'écoulement se concentre dans un chenal généralement très encaissé et étroit dans lequel le flot dévale à grande vitesse.

B) Dans le piemont

Dans les conditions climatiques actuelles, les rivières creusent, sauf l'oued Sarkhan, les autres ne sont pas pérennes. Les cours d'eau sont profondément encaissés dans les alluvions si bien que le piemont joue le rôle de relief: le flot qui descend de l'Elbourz continue à dévaler sous forme d'écoulement concentré dans les lits étroits et profonds. Aux sorties des gorges, l'écoulement concentré se transforme en écoulement en nappe.

Le flot se divise en une multitude de filets qui divergent suivant les génératrices des cônes de déjection. Il n'y a plus de lits mais quelques rigoles peu marquées, rapidement submergées par les crues. Sur ce cône, le flot abandonne sa charge, et se livre à des divagations latérales.

Par infiltration sur un matériau très perméable (remontée de la surface piézométrique dans le piézomètre n°1 de Méhmandoust, après avoir dérivé une branche de l'oued Sarkhan) et par évapotranspiration très active sur un écoulement divisé, le cours d'eau meurt en général sur son cône de déjection.

Seul l'oued le plus important de la région (oued Sarkhan) et seulement au cours des hautes eaux, se libère de son cône. Les autres ne laissent échapper que de maigres filets d'eau, qui naissent à la terminaison du cône. S'ils sont suffisamment alimentés, ces filets peuvent s'anastomoser pour former un ruisseau qui s'encaisse dans les limons.

C) Dans la plaine limoneuse

L'écoulement se désorganise. Epuisé par l'épreuve du cône de déjection et ralenti par la rupture de pente qui caractérise le passage du piemont à la plaine, l'écoulement dans la plaine de Mehmandoust n'est plus représenté que par de rares lits souvent secs.

La rivière de Sarkhan a conservé ses écoulements grâce à des débits plus importants.

4.2.1.5. Les vents

Ils soufflent en toutes saisons, mais sont plus importants pendant la saison chaude. Les vents correspondent souvent à des orages secs qui soulèvent de gigantesques nuages de poussière limoneuse ocre clair; l'été ils sont plus fréquents en fin d'après-midi.

Les tourbillons verticaux, cyclones réduits, se déplacent rapidement en soulevant toutes sortes de débris; des graviers de 1 à 2cm sont ainsi véhiculés avec force.

4.2.1.6. Les facteurs géologiques

A) Facteurs tectoniques - Nous rappellerons que la région peut se diviser en trois grandes zones structurales qui ont réagi différemment aux actions tectoniques

- les reliefs montagneux de l'Elbourz
- le Piemont;
- le plateau d'Iran Central.

Ces zones structurales se superposent à des contrastes climatiques et topographiques. Les reliefs jouent dans le sens de l'élévation. Le plateau est subsident, déformé par des courbures de grand rayon. Ces grands plis peuvent s'accompagner de cassures. Le piemont est affecté par une tectonique très cassante, en constante évolution qui se traduit en surface par un plissement de la couverture alluviale.

B) Facteurs lithologiques - Ces différences tectoniques s'accompagnent de différences lithologiques:

- le substratum est rocheux;
- le piemont est caillouteux; sa composition lithologique a favorisé son style de plissement - elle permettra la conservation de certaines formes de relief;
- la plaine est limoneuse, plane, recouverte de sédi-

ments, meubles et relativement récents. Dans son uniformité, il est difficile de lire le passé géologique. Mais ce passé a inscrit ses marques dans le relief;

le plateau d'Iran-Central avec une topographie molle dans l'extrême sud de notre région possède une lithologie très diverse; marnes rouges, calcaires, conglomérats, roches cristallines offrent une gamme variée de duretés et de formes de relief.

4.2.1.7. Le facteur anthropique

A) Influence de la végétation - Notre région n'est pas très riche en agglomérations humaines, sauf quelques villages très éparpillés au Sud de la route Damghan-Chahroud. Actuellement la quasi-totalité de la végétation de la région est due au travail de l'homme. Dans cette partie de la région le sol est régulièrement labouré, mais la sécheresse estivale ne permet pas des cultures sans irrigation qui se fait à partir de quelques puits, ghanate, et une partie de la région utilise l'eau de l'oued de Sarkhan. De grandes étendues de terre demeurent de nombreux mois sans couverture végétale. La récupération systématique des résidus des cultures et des chaumes (nourriture des animaux, combustibles, matériaux de construction) prive le sol de son moyen de fixation naturel, et de tout engrais. Le travail de la terre fournit des éléments meubles aptes à être emportés par le vent.

B) Influence du ruissellement - Il n'y a pas le ruissellement superficiel important, sauf la rivière de Sarkhan, il n'existe donc pas de canaux de dérivation pour l'irrigation. Les habitants du village de Mehmandoust ainsi que deux moulins qui fabriquent de la farine utilisent l'eau de l'oued de Sarkhan.

C) Conséquences diverses - L'irrigation dans le sud de la plaine avec des eaux salées, favorise la concentration des sels à la surface du sol; les argiles et les limons foisonnent et se déflocculent fournissant une poussière meuble et très fine directement éolisable. Le temps "géomorphologique" n'a pas encore joué, nous n'avons pas assez de recul, mais des modifications sont prévisibles dans la morphogénèse.

4.2.1.8. Conclusion sur les facteurs de la morphogénèse

Au cours de l'énumération des facteurs qui définissent le milieu morphoclimatique actuel, nous avons été amenés à distinguer trois zones ayant leurs caractères propres:

- la bordure montagneuse
- le piémont
- la plaine limoneuse

Ces trois zones possèdent des particularités topographiques,

tectoniques, lithologiques, climatiques, bioclimatiques et hydrogéologiques. Dans une même zone, ces facteurs se superposent pour accentuer les phénomènes morphologiques.

Après les événements tectoniques plio-villafranchiens, un climat moyennement aride régnait dans la région et les paysages étaient très voisins de ceux d'aujourd'hui. Autrement dit, les facteurs de la morphogénèse ont dû être très voisins tout au long du Quaternaire. Le climat du Quaternaire n'a pas dû changer avec grande amplitude en raison du degré de continentalité; on peut être étonné de l'instabilité des formes de reliefs.

4.2.2. Les formes locales du relief

Introduction - Pour définir dans ses grandes lignes le relief de notre région, il suffit de reprendre les trois grandes zones qui se sont dégagées de l'étude géologique et de celle du milieu morphoclimatique:

- la bordure montagneuse du flanc sud de l'Elbourz Est;
- le piémont caillouteux, riche en forme de relief;
- la plaine limoneuse ou dépressions salées.

4.2.2.1 La bordure montagneuse

L'ELBOURZ

a) Jeunesse des reliefs et altitudes

Situées dans un système en évolution tectonique constante, ce sont des montagnes à tectonique positive récente et par suite les reliefs sont vigoureux. Sur une distance horizontale de 16km (entre Mehmandoust et le sommet des calcaires du Jurassique supérieur de la montagne de Tazareh - la dénivellation est de 2600m. A cette notion de reliefs élevés, s'ajoute le critère de l'altitude et ses conséquences climatiques. Au fur et à mesure que l'on s'élève les facteurs climatiques changent. Par suite de l'influence de l'aridité, la neige ne persiste que pendant la saison froide; mais l'ensoleillement est tel que la neige peut fondre plusieurs fois au cours d'un même hiver.

L'action mécanique de l'alternance gel-dégel est dominante. Les éboulis de pente sont abondants au-dessus de 2400m (station climatologique de Tazareh, au pied de la montagne de Tazareh). Le dégel provoque des phénomènes de solifluxion.

b) Les torrents de boue

Au printemps, les roches meubles et les éboulis fins imprégnés d'eau provoquent des torrents boueux, très visqueux et étroits qui chassent aussi les blocs latéralement. Le même phénomène se répète après une pluie violente mais courte.

c) Les éboulis

Au-dessous de 2500m, les versants ne portent pratiquement pas d'éboulis. Il faut dire que ces versants sont très abrupts et se terminent sur des torrents encaissés dans les formations de Chemchak (grès et schistes-argiles et charbon du Lias) qui emportent immédiatement les débris.

En effet, les éboulis assez volumineux ne sont fournis que par les calcaires, très compacts et durs du Jurassique supérieur qui forment des falaises. Dans l'état actuel des choses, il semble que le ruissellement est suffisant pour véhiculer les produits de l'érosion.

4.2.2.2. Le piémont de Mehmandoust

Zone de transition entre l'Elbourz et la plaine salifère, le piémont de Mehmandoust est profondément marqué par les actions climatiques et tectoniques. Le piémont est caractérisé essentiellement par des formes d'accumulation. Le piémont détritique se raccorde immédiatement avec les reliefs. Aux débouchés des vallées importantes, le piémont se continue vers l'amont. Comme nous l'avons vu au cours de l'étude stratigraphique, quatre formations principales se distinguent dans l'imposante masse alluvionnaire.

Comment reconnaître morphologiquement ces différentes formations?

- par le degré d'érosion qui se traduit par des réseaux de thalwegs typiques;
- par la couleur;
- par l'étagement par rapport au lit actuel.

A) Le degré d'érosion des formations alluviales

a) Les alluvions "A" - Cartographie "Qt₁" sont caractérisées par un réseau de thalwegs si dense, que les principaux affleurements au Nord-Est de Téhéran s'appellent les "Hezar-Dareh", c'est à dire les Mille-vallées. L'érosion linéaire récente a imposé un tracé rectiligne aux principaux thalwegs. Mais les grands interfluves situés entre les oueds principaux sont cisellés par des entailles en V, sinueuses possédant quelques affluents. Mais ce qui caractérise le plus ce réseau, c'est la présence d'une

multitude de ravins rectilignes, et parallèles entre eux, qui festonnent tous les versants (fig.n°32).

Un très bel exemple de cette morphologie s'observe dans la colline qui se situe entre la route non-asphaltée de la "ville-neuve" de Mehmandoust. Les interfluves aigus et les versants abrupts indiquent une certaine jeunesse du relief malgré une tendance à la hiérarchisation des cours d'eau. Une telle morphologie, assez fouillée dans le détail s'est établie dès le Quaternaire ancien et n'a pas été altérée dans ses grandes lignes par les cycles morphoclimatiques qui se sont succédé. Cette morphologie est aussi la résultante de plusieurs cycles d'érosion. Même les formations "A" qui ont été ennoyées sous les dépôts "B" (Qt₂) et qui sont actuellement sub-affleurantes, laissent deviner cette topographie frippée sous la fine couverture résiduelle.

La conservation de cette morphologie ancienne laisse supposer une certaine uniformité dans les agents de l'érosion.

b) Les alluvions "B" "Qt₂" : La morphologie est aussi très typique. L'ensemble "B" Qt₂ forme des reliefs assez mous. La surface est ravinée, mais bien moins que celle de l'ensemble "A". En général, l'ensemble "B" se présente sous forme de plans inclinés séparés par un réseau de thalwegs parallèles. Il n'y a pas de thalwegs élémentaires. Par suite, les interfluves sont beaucoup moins fouillés que pour l'ensemble "A". Dans l'ensemble "A", les vallées divergent fréquemment à partir de points hauts. Ces derniers n'existent pratiquement pas dans "B". Les vallées se parallélisent à partir d'une ligne de crête ou d'une rupture de pente.

c) Les alluvions "C" "Q_c" - Elle ne sont attaquées par l'érosion que depuis peu. Le ruissellement diffus domine sur la quasi totalité de la surface de "C", mais l'érosion linéaire actuelle trace des sillons profonds au droit des oueds principaux. Parfois des rigoles rectilignes et parallèles frippent la surface de "C".

d) Les alluvions "D" Qal - Elles se différencient bien plus par la couleur que par la morphologie. Les formes les plus représentatives sont les accumulations des cônes de déjection à surface caillouteuse unie.

B) La couleur des formations alluviales

Les couleurs sont dues aux conditions climatiques qui régnaient au moment du dépôt, aux phénomènes d'altération qui ont affecté ces formations après leur sédimentation, et à la couleur propre des éléments.

a) Les cailloutis "A" - Ils sont en général de couleur claire.

Cette couleur est due à l'homogénéité de la sédimentation, de la lithologie (dominance des galets calcaires du Jurassique supérieur) et de la faible proportion des galets de grès du Lias, et des calcaires bruns du paléozoïque; la couleur du ciment est rouge. Ces formations sont comparables à celles décrites par M. Engalenc en 1968, qui signalait la teinte rouge foncé de la formation de Hézardareh dans la région de Téhéran.

Les sols sont rares sur l'ensemble des alluvions "A" et la couleur rouge claire domine.

b) La formation "B" Qt₂ - Hétérogène, elle peut-être colorée dans les teintes rousses, au sein même des dépôts. La coloration rousse est surtout marquée vers la surface par les phénomènes d'encroulements qui se sont accompagnés de dépôts terreux rouges. L'ensemble "B" Qt₂ est plus foncé que le Qt₁ ou A.

c) La surface des alluvions "C" - Dans notre région, à cause de la sédimentation du sel et des limons, elle est plus claire; à la couleur jaune roussâtre de la masse, due à la forte proportion des éléments fins s'ajoute celle des altérations climatiques. L'érosion n'a que très peu décapé les sols superficiels.

d) Les cailloutis "D" - Qal - Enfin les accumulations torrentielles "D" se caractérisent par leur couleur claire. Les éléments fins sont entraînés plus loin vers l'aval. Le remaniement des dépôts à chaque crûe, empêche les effets de la rubéfaction. Ainsi l'analyse rapide des nuances des grisés, rend de grands services au cours de la reconnaissance sur photographie aérienne.

4.2.2.3. Les sols salés

A) Les zones d'épandages à sols salés

Dans les régions de convergences des oueds, au Sud de la plaine (l'extrémité sud de notre carte), s'accumulent des limons très fins surchar-

gés de sels. Ces zones correspondent à des gouttières qui drainent non seulement les eaux des oueds, mais aussi les eaux souterraines.

Ce sont des étendues très planes favorisant les épandages sur de grandes surfaces, mais sur de très faibles épaisseurs. Ces surfaces correspondent aux épandages des rivières à l'époque. Actuellement les oueds creusent les limons salés. Ce sont aussi des zones d'évaporation des eaux de ruissellement et des eaux souterraines. La surface piézométrique est à moins de 5m de profondeur. Au moment des hautes eaux (fin de printemps) la région est impraticable en raison des marécages qui détrempe les sols. Mais rapidement l'évaporation assèche superficiellement les limons qui se chargent de dépôts de sels. La surface est unie, durcie par un glaçage surtout après les pluies, mais en général blanchie par une mince couche de sel qui crisse sous les pas. Localement, là où l'eau a détrempe le plus longtemps le sol, des efflorescences salines boursoufflent les limons argileux qui se déflocculent et qui donnent, quand ils sont secs des plages poussiéreuses. Au moindre souffle de vent, ces poussières sont balayées. Les formes éoliennes sont réduites à des stries, au déchaussement des galets et à des faibles accumulations de 50cm de haut et de quelques mètres de long (Sebka) qui prennent naissance derrière les touffes végétales.

Les cultures sont impossibles en raison de la salinité des sols et surtout des fortes teneurs en résidu sec des seules eaux disponibles pour une éventuelle irrigation.

B) Les dépressions

La plaine salée du Kavir de Nemkak - forme un "lac" salé. Selon la définition Nord-Africaine, une sebka et un chott. En Farsi, nous dirons que c'est un kavir. Selon M. Engalenc (1968), sa présence est l'indice et la conséquence de faits morphoclimatiques importants. Toute sa surface est recouverte par une croûte de sel. L'altitude approximative du kavir est inférieure à 1000m. Ce kavir recueille les eaux de ruissellement du piémont environnant. Mais il sert aussi de surface d'évaporation des eaux souterraines provenant du Nord depuis les chaînes montagneuses du Nord de Damghan: Nosrat.-Abad Tazareh - Dehmola.

Il faut donner ici que les sols salés se montrent en polygones plus ou moins réguliers. On peut donner de nombreuses explications à ce sujet. On s'accorde volontiers sur le fait que les polygones se

superposent à des fentes de dessiccation. Une disharmonie entre la croûte saline superficielle et les limons ou argiles salés humides, ou avec les boues visqueuses peut donner naissance à ce phénomène.

M. Engalenc (1968) a ajouté à ce sujet que les fentes de dessiccation qui affectent les éléments argileux sont dues à des tensions de rétraction (de direction centripède). La croûte saline est le siège de tensions inverses, centrifuges dues à l'expansion des cristaux de sel. Or le développement de la croûte va de pair avec la phase d'évaporation qui contracte les argiles. L'interface argile-croûte saline doit être une surface de glissement avec éventuellement un point mort au centre de la figure polygonale.

Age du kavir de Nemaq - Ce kavir est assez ancien. Son âge est contemporain de la fin de la période d'érosion qui a dégradé le troisième glaciais d'Elbourz.

4.2.2.4. Les croûtes et les encroûtements

Nous avons parlé dans le chapitre géologique de l'existence de croûtes et encroûtements dans les différentes formations alluviales de la plaine.

Les formations Qt_2 ou "B" sont principalement encroûtées, et aussi les cailloutis "A" de notre région sont encroûtés. On peut donc dire que ces alluvions ont affleuré au moment du troisième glaciais.

Les dépôts "C" ou Q_c possèdent des croûtes, mais plus localisées et moins développées. Les croûtes sont essentiellement calcaires. Localement dans des conditions spécifiques, elles sont gypseuses. Selon la classification faite par M. Engalenc en 1968, sur la région de Téhéran, on peut classer les croûtes et encroûtements de notre région en trois catégories suivant leur morphologie et leur origine probable.

A) Les croûtes d'origines morphologiques

Elles sont peu épaisses et rarement dures. Leur couleur est claire et souvent blanche, dans les limons, elles sont roses claires et souvent blanches. Elles sont toujours superficielles et facilement érodables. Elles forment des glaçages qui durcissent les limons et qui enrobent des cailloutis isolés. Elles correspondent aux épandages d'eau en nappe. Leur

fragilité explique leur faible extension. Elles n'ont qu'un rôle secondaire dans la morphologie. Les croûtes existant dans les piemonts de Qt_1 ou Formation "A" se placent dans cette catégorie.

B) Les croûtes d'origine pédologique

Elles sont très répandues surtout dans les alluvions "C" qui ont une couverture de sel. La croûte suit en général les ondulations de la topographie. Dans les coupes étudiées, au dessus de la route Damghan-Chahroud, la croûte calcaire blanc-crème, friable, contient des poudres farineuses, friables avec des argiles rouges de plus en plus claires. Vers le village de Dehmola, sur la route de Damghan-Chahroud, l'extension de cette croûte dans Q_c est bien visible.

Cette croûte a un rôle morphologique plus important que la précédente.

C) Les croûtes d'origine hydrogéologique

Dans la plaine limoneuse, notamment dans la plaine formée par les dépôts de Qt_2 , les croûtes prennent une importance considérable. Nous avons visité beaucoup de puits qui les ont traversé sur plusieurs mètres. Elles se superposent en alternant avec les limons; ce sont les croûtes rose-saumon. Mais il est remarquable que les croûtes solides se situent dans la partie supérieure ou au-dessus des couches perméables servant d'aquifère ou ayant pu servir d'aquifère dans les temps anciens. Cette croûte tout en étant compacte est poreuse. Ces croûtes semblent s'être formé "in situ" sous une forte accumulation de limons. La couleur dépend uniquement de celle de la formation encroûtée. La relation entre les croûtes et les aquifères est due à la zone de saturation des eaux souterraines. Les dépôts calcaires se font dans la zone de battement entre les hautes et les basses eaux. Donc la croûte, elle-même, peut avoir pour origine la remontée de l'eau en charge.

L'origine du calcaire des croûtes n'est pas toujours la présence d'une roche mère calcaire. La teneur en CO_3Ca des eaux souterraines est suffisante pour donner naissance à des dépôts de calcaire si un certain équilibre physico-chimique est rompu.

Donc dans les limites imposées par la concentration, un dépôt de calcaire peut se former uniquement à partir de la teneur en CO_3Ca des eaux souterraines indépendamment du terrain. Ce phénomène est courant et correspond à une certaine zonalité dans la répartition des salinités des eaux souterraines. Largement favorable à cette hypothèse est l'existence des croûtes gypseuses correspondant à une zonalité dans la répartition des salinités des eaux souterraines. Les croûtes gypseuses se trouvent au-dessus des croûtes calcaires où à l'aval de ces croûtes. Ces croûtes se trouvent dans les limites de la zone du sol atteintes par l'évaporation. Cette croûte à une relation très étroite avec l'évaporation; donc c'est l'évaporation qui est le facteur essentiel de la concentration des eaux parce que les sels de SO_4Ca précipitent.

A la limite des dépôts salins, les kavirs correspondent à la précipitation des chlorures à partir des eaux souterraines sur-salées par l'évaporation.

4.2.3. Conclusion

Les déformations et les dislocations des différentes formations du Quaternaire ont mis en évidence une tectonique en constante évolution. La constance de reliefs et de dépressions synclinales fait penser à la permanence des actions tectoniques.

Les agents climatiques sont-ils suffisants pour expliquer l'étalement régulier des formations quaternaires. Ces actions s'associent très souvent aux effets de la tectonique. Le climat aride à semi-aride qui s'est instauré aux débuts des temps quaternaires et des écarts thermiques de quelques degrés peuvent avoir des conséquences géomorphologiques suffisantes pour expliquer les principaux faits du Quaternaire. L'agent principal du modelé est l'écoulement superficiel. En dehors des grands oueds, les creusements et les accumulations plus importantes ont oblitéré les formes anciennes.

../..

4.3. ETUDE GENERALE DU QUATERNAIRE PAR PROSPECTION GEOPHYSIQUE

Une étude géophysique par prospection électrique dans la plaine de Mehmandoust a été effectuée par notre Service Hydrogéologique en collaboration avec des Ingénieurs Russes. Nous avons pu exploiter les résultats de cette étude et les utiliser pour compléter notre connaissance de la structure profonde de la plaine de Mehmandoust.

4.3.1. Exposé de la méthode

La prospection électrique consiste à mesurer la résistivité des différentes tranches de terrain des formations meubles de surface. Pour cela, le dispositif en courant continu a été utilisé.

Principe de la méthode: Soit un quadripôle AMNB quelconque, par les électrodes A et B on envoie un courant continu d'intensité i dans le sol et on mesure entre M et N la différence de potentiel et à partir de la formule ci-après, on mesure la résistivité du terrain:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I}$$

D'après la loi d'Ohm on a:

ρ = résistivité apparente du terrain

I = l'intensité de courant émise entre A et B

V = la différence de potentiel mesurée entre M et N

K = est calculé à partir de longueurs exprimées en mètres avec:

$$K = \frac{2 \pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}$$

Si le terrain n'est pas homogène, on obtient à partir de K et ΔV et I une résistivité apparente ρ_a liée par des relations complexes aux résistivités vraies et aux épaisseurs de toutes les couches intéressées par le dispositif AMNB de mesure.

En agrandissant le dispositif, on augmente la profondeur d'investigation. On trace la courbe $\rho = f(AB/2)$ sur diagramme bi-logarithmique. Son interprétation se fait en la comparant à des abaques précalculées et l'on détermine à partir de certaines hypothèses l'épaisseur et la résistivité des différentes couches de terrain. La précision de l'interprétation est fonction des hypothèses de départ que l'on a faites.

4.3.2. Campagne générale de prospection géophysique

Généralité

Les reconnaissances ont comporté l'exécution de sondages électriques, selon la méthode de Schlumberger. Il s'est avéré que les alluvions étaient un réservoir aquifère.

Mais, il ne faut surtout pas perdre de vue que cette campagne a été réalisée en site vierge et qu'elle avait avant tout un rôle de "dégrossissage", il s'agissait d'orienter les recherches d'eau vers les secteurs les plus intéressants.

Sur la planche "n°4" nous avons montré les situations des profils et les points de sondage électriques et les sondages mécaniques.

4.3.2.1. Interprétation des résultats

La première phase de l'interprétation d'un sondage électrique consiste à individualiser les différentes couches résistantes et conductrices. Nous avons pu interpréter les résultats donnés à partir de la campagne géophysique à partir:

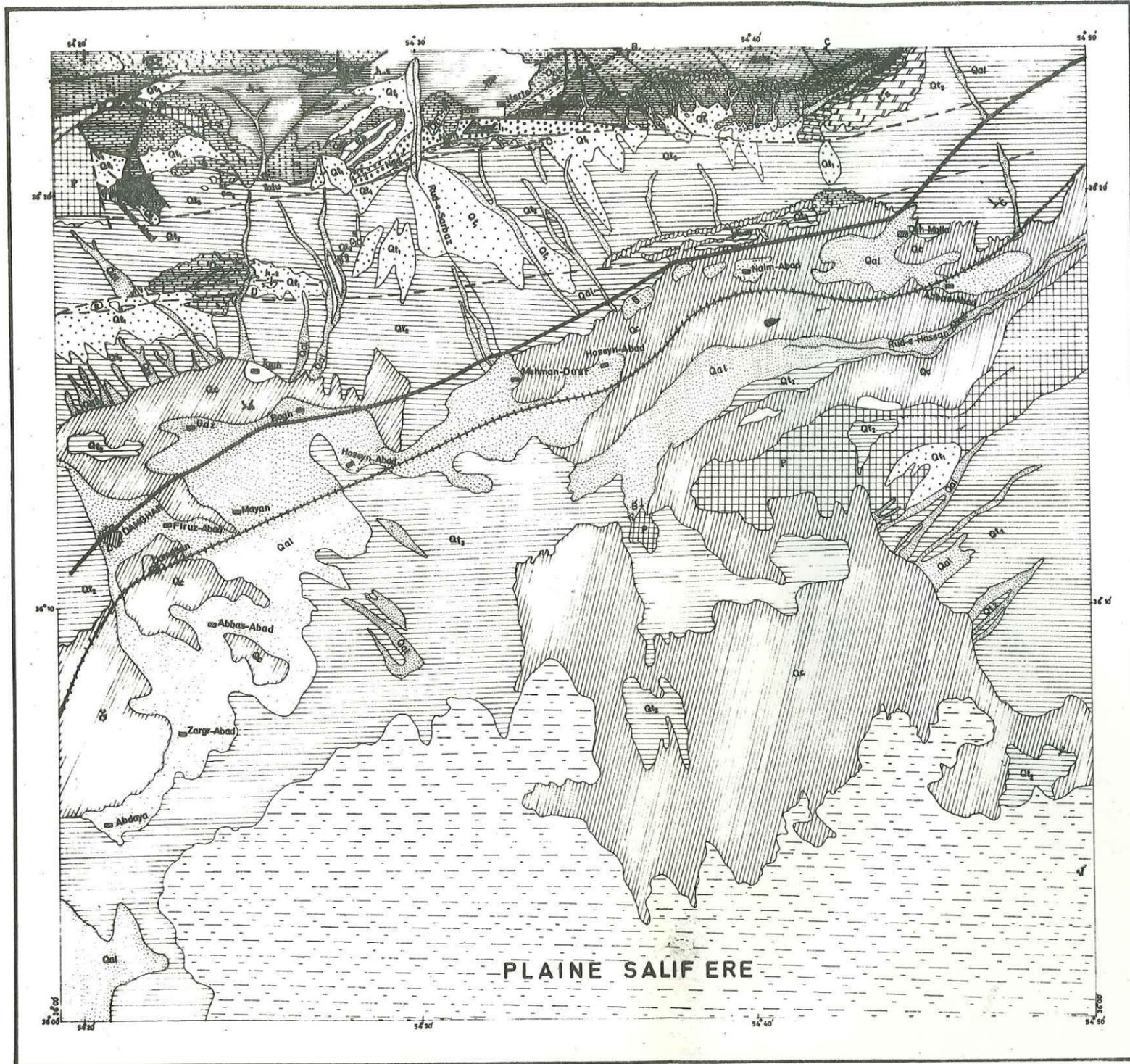
- a) des profils de résistivité
- b) les cartes d'isorésistivités à profondeurs constantes

a) Interprétation des résultats de la campagne géophysique à partir des profils de résistivité

Nous avons établi 8 profils sur toute la longueur de la plaine pour étudier la valeur de la résistivité latérale et verticale des terrains dans notre région. La distance entre les profils varie de 2,5 à 5km; leur direction est d'environ S-N, donc perpendiculaire au relief topographique. Sur la figure (n°24-25) on a assemblé les profils interprétés.

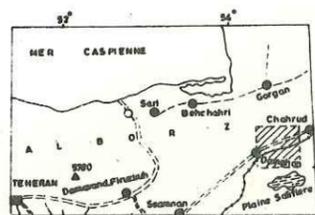
- Profil n°V - Ce profil se situe à 9km à l'E du village de Mehmandoust dans la zone de Ghader-Abad. Le sondage n°16 se situe sur ce profil entre les points de sondage électrique n°30 - 35. Ce profil montre entre les points P_0 et P_{10} des alluvions conductrices (15-36ohm) La faible résistivité est due à une sédimentation fine de la formation "Q_c" telle que nous l'avons vue dans les chapitres précédents, et d'autre part à la salinité des eaux souterraines vers la zone de la plaine. Nous en parlerons plus en détail dans le chapitre d'étude hydrogéologique.

CARTE GEOLOGIQUE de l'EST de DAMGHAN



LEGENDE

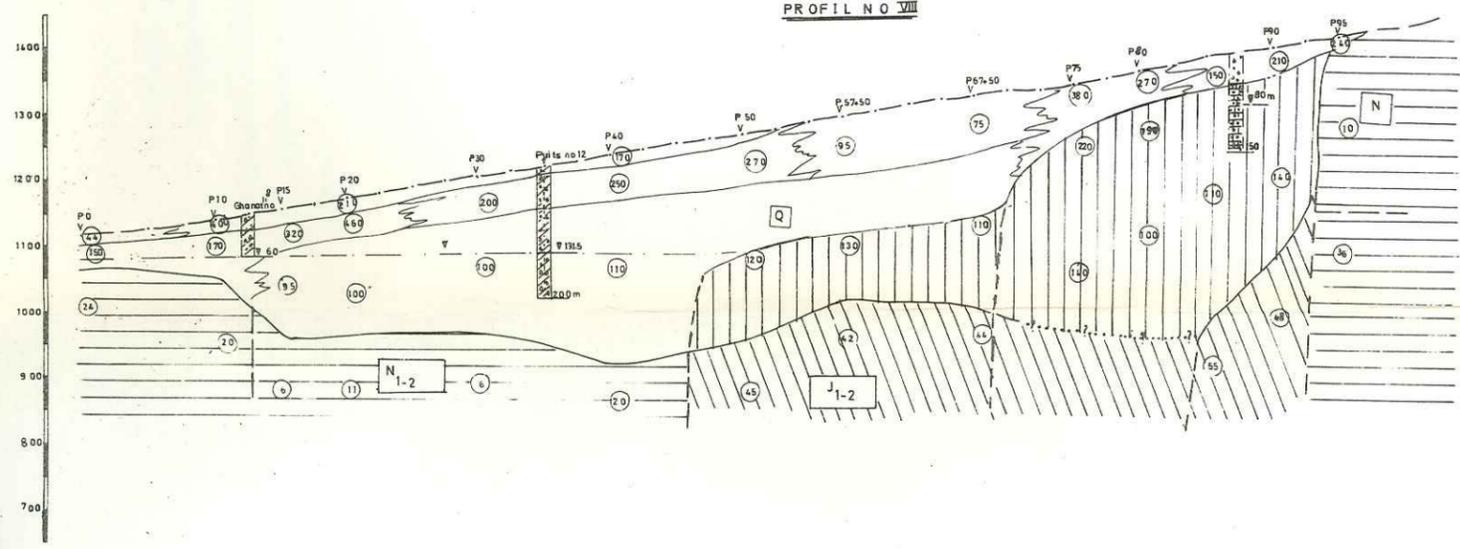
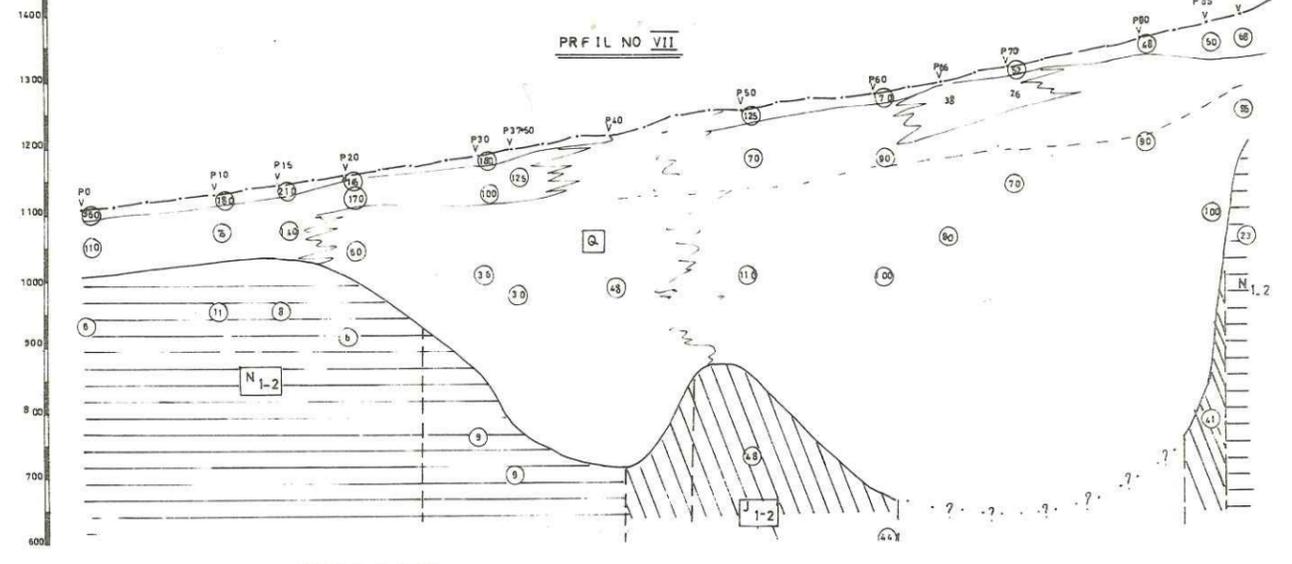
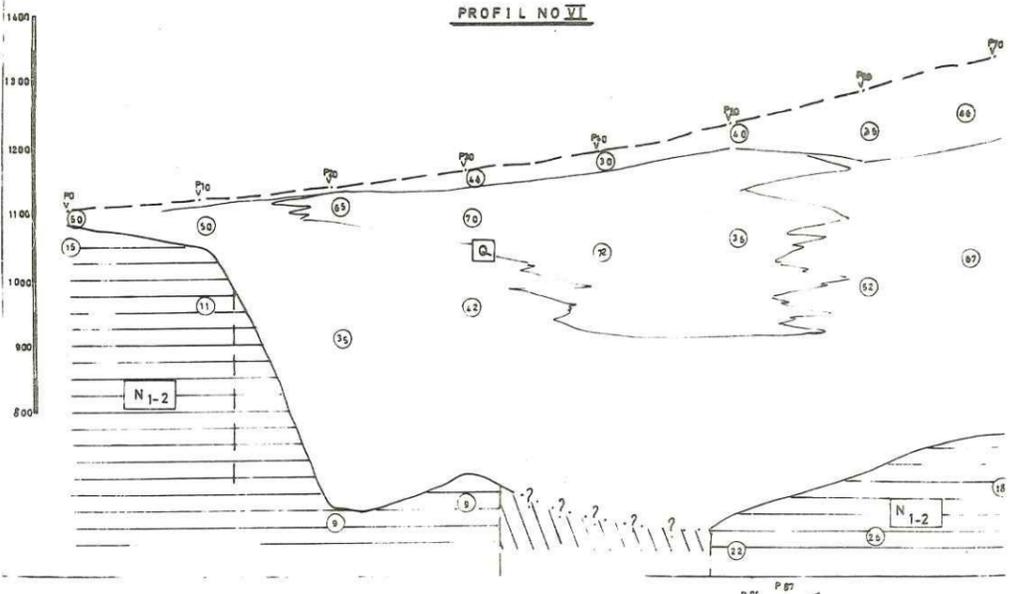
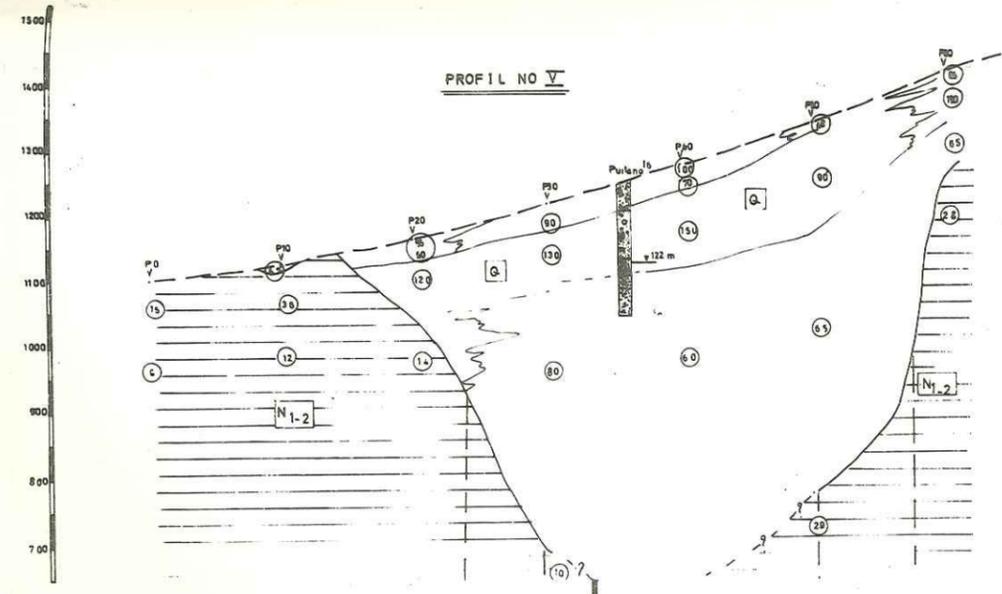
Quaternaire		Plain salifere	
		Alluvium actuels	
		Limons-Gres-Argiles	
		Terrasses jeunes de la plaine d'asth	
		Terrasses anciennes	
Ere Tertiaire		Conglomerats du Neogene	
		Marnes du Neogene	
		Conglomerats-grés-grés fins-calcaires-marneux	" Karogj
Ere Secondaire		Calcaires massifs	" de Lar
		Charbons-grés-Argiles avec debris de plantes	" de Delli Chale
		Calcaires-grés-marne-calcaire, conglomérats chistes	" Getroud
Ere Primaire		Calcaires et schistes	" Vatan
		Dolomites-calcaires-grés marneux avec crustacés	" Mita
		Gres rouges avec bancs de quartzites	" Lalun
		Alternance de dolomites et schistes rouges	" Baroute
Pretertiaire		Dolomite massive avec nodules de Quartz	" Soltanah
		Axe anticlinal	
	Axe synclinal		
	Falte visible		
	Falte non visible		
	a-Pendage 30°		
	b-Pendage 30°-50°		
	Mine		
	Route asphaltée		
	Chemin de fer		
	Village		



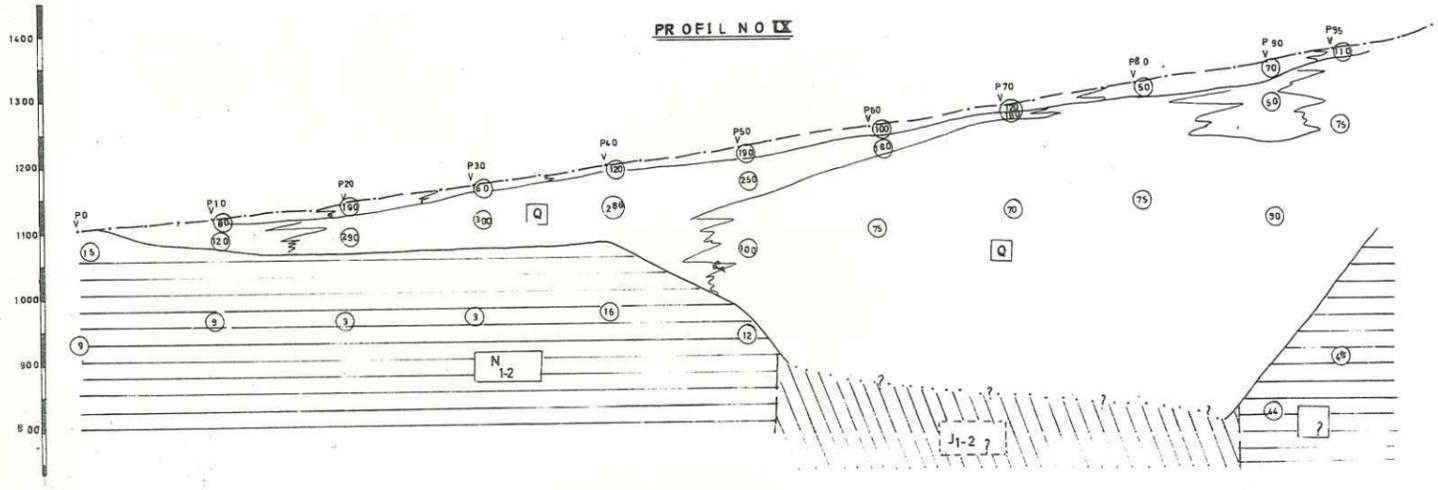
Echelle: 1:100 000
0 1 2 3 4 5 Km

PLANCHE no 3

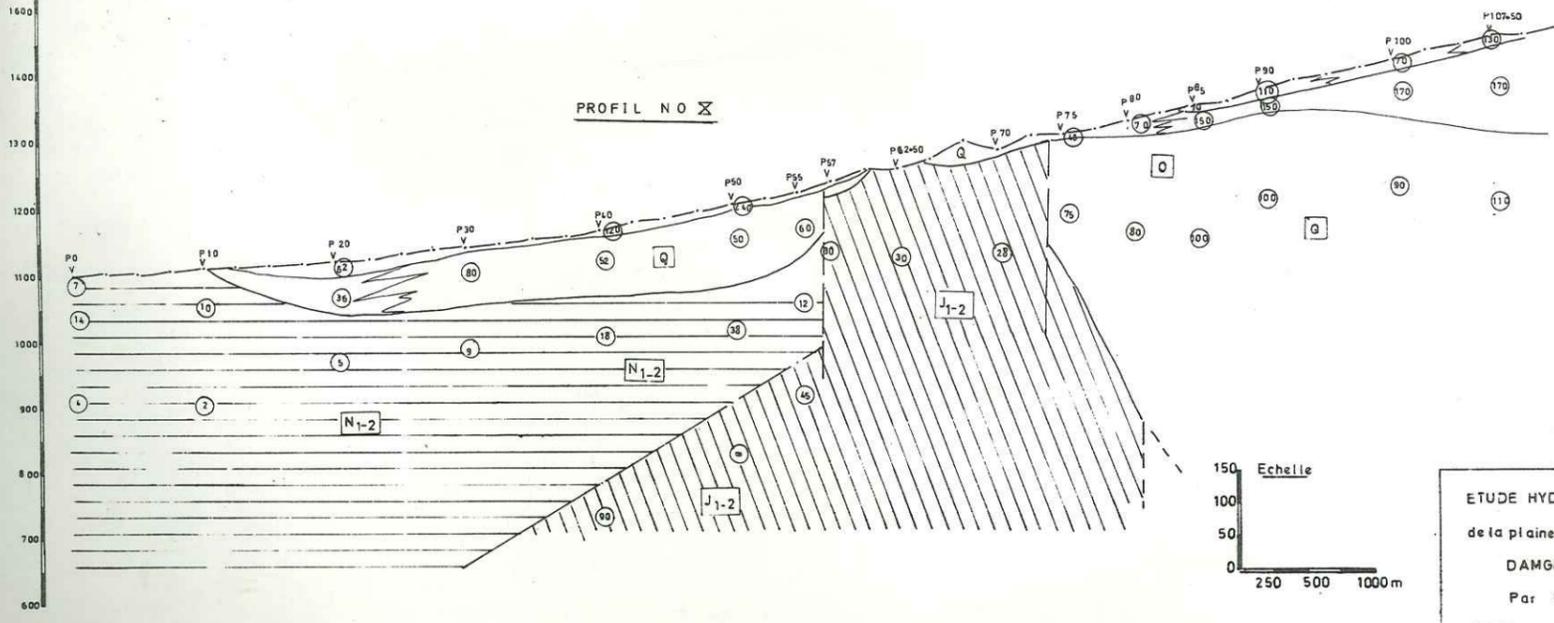
0 50 100 150 200 Km



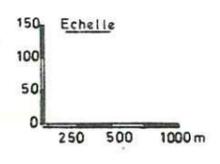
- LEGENDE**
- Sondage électrique et son numéro
 - La valeur de résistivité
 - Contacte entre des alluviums
 - Faille de substratum
 - Substratum
 - Limite approximative des alluviums
 - Puits et son numéro
 - Niveau statique



- Sondage électrique et son numéro
- Valeur de la résistivité
- Contacte entre des alluviums
- Faille
- Limite approximative des alluviums
- Substratum
- substratum résistant



- Sondage électrique et son numéro
- Valeur de la résistivité
- Contacte entre des alluviums
- Faille
- Limite approximative des alluviums



ETUDE HYDROGEOLOGIQUE
de la plaine de MEHMANDOUST
DAMGHAN - IRAN
1976
Par M. MAHVI
COUPS ELECTRIQUES

Fig no 24

Vers le Nord, la granulométrie devient plus grossière et l'eau moins salée. Donc nous avons un accroissement de la résistivité entre les points n° 20 et 60 à la profondeur de 50 mètres. Les alluvions sont plus résistantes (150 ohm).

Des terrains peu résistants (60 - 80 ohm) se situent environ entre 50 et 300 mètres de profondeur, au-dessous de la couche précédente. Ce sont apparemment des masses alluvionnaires constituées par des sables argileux, contenant des eaux douces; l'épaisseur atteint 250m. Cette couche constitue une zone très favorable pour l'exploration des eaux souterraines. Toutes les couches ci-dessus, reposent sur un substratum conducteur dont la résistivité varie de 6 à 30 ohm. C'est le prolongement des formations Miocènes. Ce profil met en évidence aussi, l'existence de différentes failles verticales sous les masses d'alluvions.

- Profil n° VI - La profondeur de la masse d'alluvions varie sur ce profil de 50 à plus de 300 mètres. La résistivité des comblements alluvionnaires en surface et jusqu'à 50m de profondeur est comprise entre 30 à 50 ohm, ce qui indique une granulométrie fine. A la profondeur de 50m entre les points n° 20 et 50, l'existence d'une poche sablo-argileuse aquifère a fait chuter la résistivité à une valeur de 60 - 70 ohm.

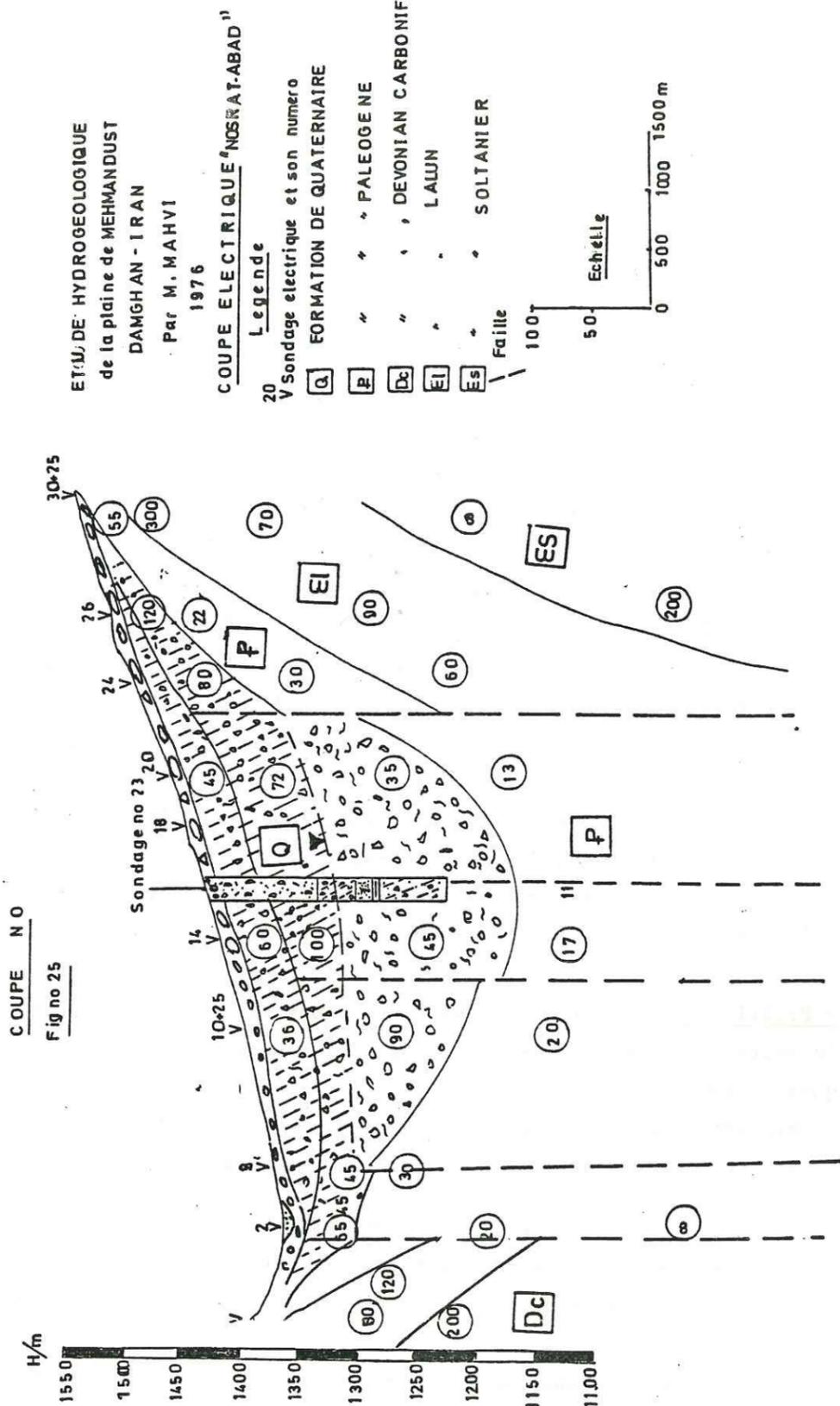
La résistivité a diminué en profondeur, ce qui résulte d'un effet de zonalité verticale, en plus de la zonalité latérale de la composition chimique des eaux souterraines dans les nappes des alluvions (H. Schoeller 1962). Plus loin, nous donnons les explications nécessaires à ce sujet. Le substratum est le même que dans le profil précédent. Il faut remarquer qu'il est affecté de failles formant un système "graben-horst".

- Profil n° VII - Ce profil nous a donné une structure de la plaine dans le secteur de Mehmandoust. Sur ce profil nous avons deux sondages mécaniques n° 12 et n° 1.

L'interprétation de ce profil nous confirme les résultats déjà tirés des études tectoniques et géomorphologiques du Quaternaire de la plaine de Mehmandoust.

Dans le chapitre précédent, nous avons montré que les collines et dépressions dues aux anticlinales et synclinales dans les formations quaternaires anciennes sont liées aux effets de soulèvements et d'effondrements d'origine tectonique du substratum. Pour donner une raison plus valable à ce sujet, nous allons comparer les résultats des sondages mécaniques n° 1 et n° 12 avec ceux des profils de résistivité. Dans le sondage n° 1 après 50m de gravier sec, nous avons atteint un substratum conglomérati-





que bien induré du Miocène "formation rouge supérieure" contenant de l'eau très salée et présentant une transmissivité très faible (voir l'analyse du pompage du puits n°20). Sa résistivité est de 100 - 140 ohm. L'existence de l'eau salée dans cette couche est la cause de la diminution de sa résistivité. Les puits n° 19 et 20 aussi ont atteint le même substratum que le forage précédent.

Le sondage n°12 qui se situe à l'amont du sondage n°1 n'a pas rencontré le substratum conglomératique du Miocène, et jusqu'à 200 m de profondeur, il était toujours dans le Quaternaire. Pour cela, nous avons conclu qu'un soulèvement bien marqué au niveau des collines de formation Qt₁, sur la route de la ville neuve de Mehmandoust, est en cause.

Ce soulèvement a entraîné l'existence d'un substratum moins conducteur formé par des grès, argiles, schistes du Jurassique inférieur et moyen entre les points n° 4 - 60 du profil n° VII et 50 à 75 du profil n° IX et 57 à 75 du profil n° X.

Dans la zone du profil n° XII de Nosrat-Abad, toutes les formations du Quaternaire, du Paléogène et du Néogène reposent: au N sur le substratum gréseux du Cambrien inférieur (Lalun formation a une résistivité de 60 - 300 ohm), au Sud sur un substratum résistant de calcaires dolomitiques, grès et quartzites du Dévonien d'Iran Central avec une résistivité variant entre 180 - 200 ohm. Sur ce profil, nous avons un sondage mécanique n°23. Il est resté dans les formations meubles du Quaternaire sur toute sa profondeur, donc dans ce secteur l'épaisseur du Quaternaire varie entre 50 et 250 mètres.

Dans le tableau n°19, ci-dessous, nous allons regrouper les valeurs des résistivités déduites des campagnes sur les différents secteurs de la plaine de Mehmandoust.

TABLEAU N°19

	Nom de formation	Nature de terrain	Résistivité ohm
Comblement d'alluvion	Quaternaire	argiles silteuses avec quelques galets secs	30 - 45
		sable argileux et galets secs	120 - 450
		sable argileux et galets gorgés d'eau douce	60 - 110
		sable argileux gorgés d'eau salée	50 - 20
Substratum	Miocène	Conglomérats indurés à l'eau salée	100 - 140
	J ₁ -J ₂ F. de Shemshak	Silte + argile gypsifère	4 - 45
		Grès-argile-charbon	28 - 48
	Cambrien infér. F. de Lalun	Grès - quartzite	70 - 300
	F. de Geiroud	Calcaire dolomitique	200

b) Interprétations des cartes d'isorésistivités

Sur toutes les cartes d'isorésistivités des terrains, en lignes AB de 200 à 1000 mètres, soit aux profondeurs de 50 à 200 mètres, nous pouvons distinguer les plages suivantes: plage n°1 dans la zone de Nosrat-Abad, plage n° 2 et 3 dans la zone centrale de la plaine de Mehmandoust, plage n°4 dans la zone de Kalavan, plage n°5 à l'extrémité Est de notre travail.

- Carte d'isorésistivité des terrains à la profondeur de 50m
longueur AB = 200 mètres

Cette carte montre une résistivité forte pour les plages n°2 et 3 (Planche n°5). La coupure entre les courbes est due à l'effet d'une faille, qui a soulevé la formation Qt_1 où Hezardareh, et aussi le substratum rocheux à l'Ouest et à l'Est de la plaine de Mehmandoust.

La résistivité de la plage n°2 atteint 180 ohm et pour la plage n°3 elle est de 250 ohm. La plage n°1 a une résistivité moins grande que les précédentes, et, elle arrive à une valeur de 140 ohm. La plage n° 4 est caractérisée par une résistivité de 50 ohm et la plage n°5 par une résistivité de 80 ohm.

La juxtaposition de cette carte sur celle de la carte d'iso profondeur de la nappe donne les résultats suivants/

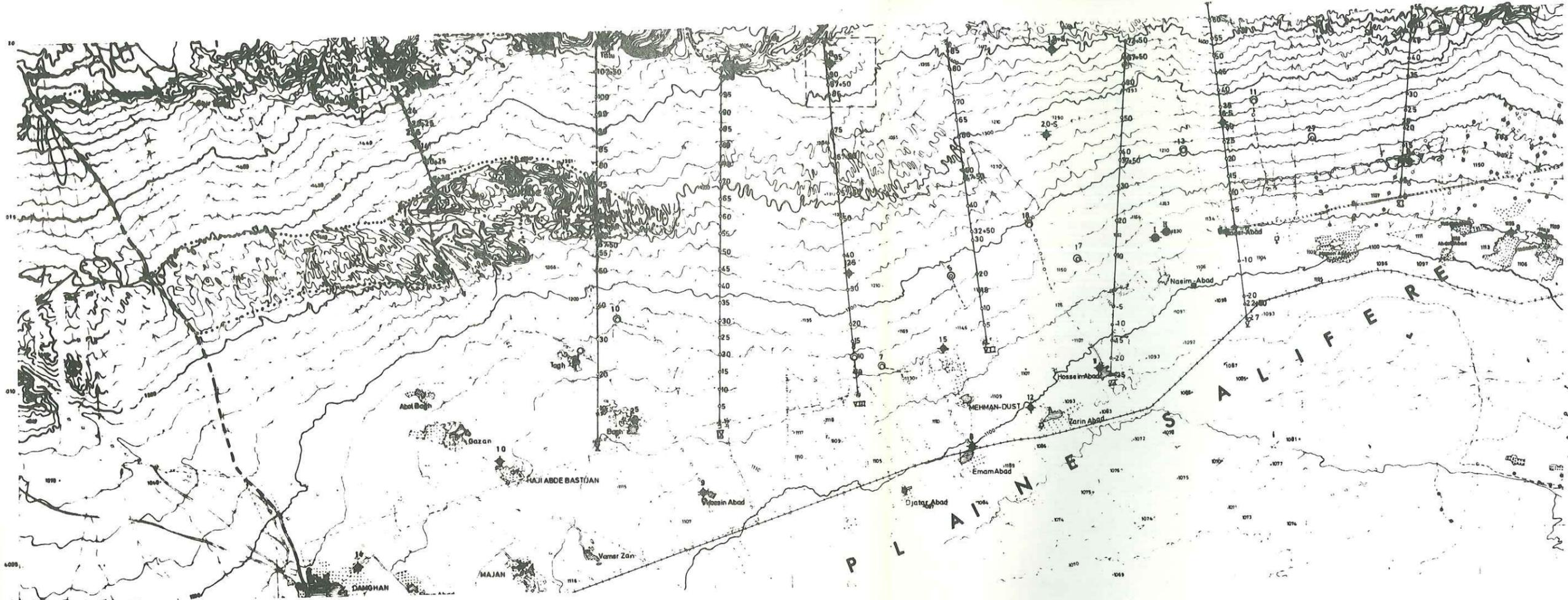
Le niveau statique de la nappe à 50m de profondeur se raccorde au Sud de la plage n°3 avec la courbe de 100ohm de la résistivité et à l'Est avec celle de 60 ohm. Ensuite, la résistivité décroît vers le Sud, ce qui montre une salinité très forte de la nappe "nous l'appellerons plus loin zone d'évaporation". Au-dessus de la courbe de la résistivité 100 ohm l'épaisseur du comblement fluvioglaciale est supérieure à 50mètres et par conséquent la surface de la nappe devient plus profonde. Donc la résistivité sera une fonction de l'état de la sédimentation des alluvions et aussi de la tectonique du substratum; or les terrains grossiers secs ont une valeur élevée de la résistivité et les terrains argileux ou silteux secs se distinguent par une valeur plus faible.

- Carte d'isorésistivité de terrain à la profondeur de 100m
Longueur AB environ 400m

Cette carte est en accord avec les constatations qui précèdent. Les différentes zones apparaissent clairement: (planche n°6).

- Les plages n° 2 et 3 présentent les mêmes variations de résistivité que sur la carte précédente (dans cette zone la nappe a une profondeur supérieure à 100 mètres).

La résistivité diminue dans la plage n°1 par rapport à la carte précédente

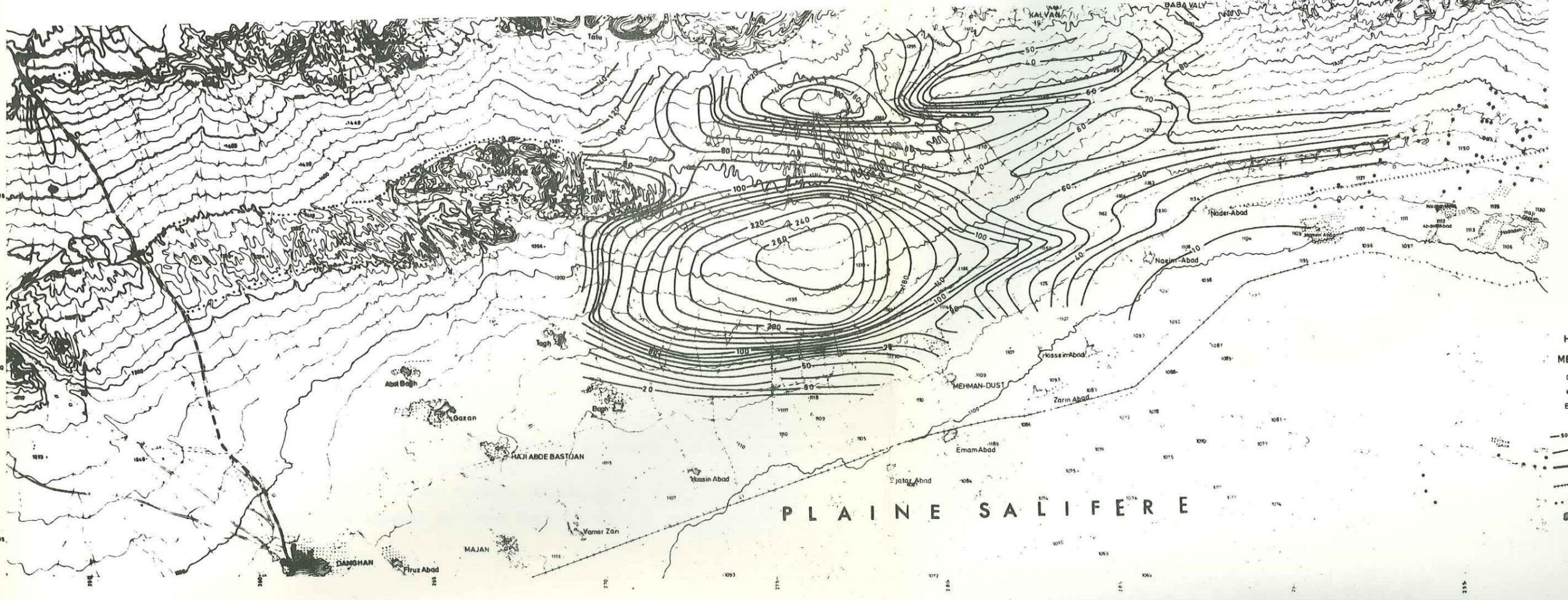


CARTE DE SITUATION DES
SONDAGES ELECTRIQUES ET DES
POINTS D'EAU DE LA PLAINE DE
MEHMANDOUST DAMGHAN (IRAN)
Par MMAHVI-1976

LEGENDE

- Puits creusés à la main
 - ◆ Puits forés mécaniquement et tubés
 - Galeries drainantes (ghanat)
 - ⊙ Puits "mère" de ghanat (modar echa)
 - Profils de sondages électriques
 - Route asphaltée
 - Chemin de fer
 - ... Limite de La Plaine
 - Ville - village
- Echelle 0 3 Km

PLANCHE no4



HYDROGÉOLOGIE DE LA PLAINE DE
MEHMANDOUST DAMGHAN IRAN

Carte Isoresistivité des terrains
électrique par M. MAHVI
Echelle 0 3 Km Profondeur 50 m

LEGENDE

- Courbe Isoresistivité et sa valeur
- Sens d'écoulement des eaux
- Route asphaltée
- Chemin de fer
- ... Limite de La plaine
- Ville - village

PLANCHE no5

(effet de la nappe aquifère salée; son résidu sec est plus de 2g/l).
La résistivité augmente dans la plage n° 5 de 100ohm à l'extrême Est de notre carte (masse alluvionnaire contenant de l'eau douce avec une valeur de résidu sec de 1g/l.).
La résistivité de la plage n°4 a augmenté aussi à une valeur de 60ohm ce qui montre une perméabilité forte à ce niveau du terrain. La surface de la nappe est plus profonde que 100m pour cette zone.

- Cartedisorésistivité à la profondeur d'environ 200m -

-Longueur AB = 1000 m

(Planche n°7)

Sur cette carte les plages n° 1, 2, 3 montrent une décroissance de la résistivité par rapport aux cartes précédentes, qui peut-être due à la salinité accrue de l'eau en profondeur et d'autre part à des composants plus fins des terrains. La résistivité des plages n° 4 et 5 augmente, ce qui résulte peut-être de l'apparition du toit du substratum.

4.3.2.2. Conclusion *Les formations quaternaires d'origine fluvio-glaciaire de la plaine de Mehmandoust recouvrent divers substratums: conglomérats et couches rouges du Néogène, formations du Jurassique inférieur et moyen: Formation de Shemshak, et formations du primaire. Ainsi, cette plaine est-elle scindée en deux secteurs par une crête des formations primaires à l'Ouest, de la formation Hézardarez au centre et du Jurassique supérieur à l'Est.*

Quant aux dépressions, elles se situent au Nord et au Sud de la barrière principale des formations ci-dessus. Cette configuration a une incidence importante dans l'allure de la nappe aquifère. La campagne de mesure indique qu'il faut porter une attention particulière aux zones suivantes:

- passages plus perméables, lavés, dans les formations hétérogènes du fluvio-glaciaire
- passages des eaux moins salées
- secteurs où l'on trouve une épaisseur importante de graviers aquifères.

4.4. ETUDE DES SONDAGES, CAROTTAGES GEOPHYSIQUES ET DES ECHANTILLONS DES SONDAGES MECANIQUES

Il y a moins de deux ans que le groupe d'Hydrogéologie de la Société Métallurgique Nationale Iranienne (Elbourz Est) a entrepris avec l'efficace collaboration des experts Russes les forages et les carottages géophysiques d'une dizaine de puits dans la section intéressée de la plaine de Méhmandoust.

Ces forages ont en général plus de 100m de profondeur. Il existe des puits dépassant 200m. Ces puits portent le nom de "Tehah Amigh" puits profonds.

Dans ce chapitre nous donnons en détail toutes les caractéristiques de ces puits.

La situation des sondages est montré sur la planche n°4. La plupart de ces sondages ont été effectués pour la reconnaissance du niveau des aquifères et de l'épaisseur des alluvions et n'ont pas été utilisé pour l'irrigation. nous a permis l'interprétation des profils géophysiques, tenant compte des profondeurs du Bed-Rock et de l'épaisseur des alluvions.

4.4.1 Puits n°12

(fig. n°26)

4.4.1.1. Ouvrage de sondage

Ce puits est situé sur le profil n° VII de sondage électrique à 5km au NW de la route de Damghan-Chahroud au lieu du village de Mehmandoust à une cote de 1249m avec $Z = 1249 - X = 276\ 872.29$ et $Y = 4012\ 913.49$

4.4.1.2. Les travaux de sondage

Les travaux de sondage ont commencé le 12/2/1975 et ont été terminés le 16/3/75 à la profondeur de 200m.

Diamètre de sondage 10m en 14" - 190 m en 10"

Diamètre du tubage: 10m en 10" et 200m en 6"; 137m en 6" non crépiné - 30,6 en 6" crépiné; 5m en 6" non crépiné; 10,45m en 6" crépiné et 12,5m en 6" non crépiné.

Le contact de l'eau était à 131,31m.

4.4.1.3. L'auscultation électrique: carottages géophysiques du sondage n°12

Remarque: Dans ce chapitre nous utiliserons les travaux de carottages géophysiques de l'équipe des experts russes qui ont travaillé en collaboration avec notre groupe.

a) résistivité - La méthode n'est réalisable que dans un ouvrage foré mais non tubé et rempli de boue.

Les diagrammes n_1 et n_2 de log électrique de ce puits indiquent jusqu'à 60m de profondeur des intercalations de sables grossiers avec des pics de résistivité vers la droite, et des argiles avec des déviations nettes de courbes vers la gauche.

A partir de 60 à 63m, une déviation très marquée vers la droite, montre bien une couche sableuse. La chute de résistivité au niveau de 127m indique le toit de l'aquifère. Ces diagrammes montrent une hétérogénéité très forte de la formation aquifère rencontrée dans ce puits.

.../...

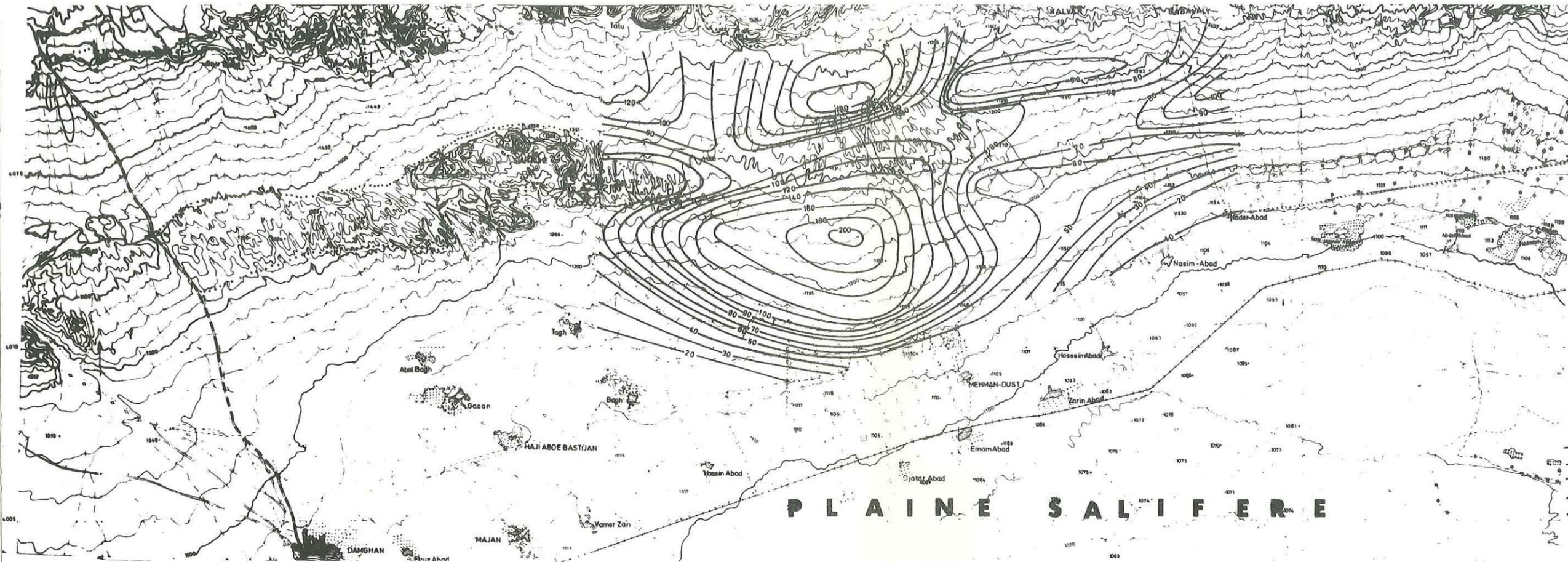


PLANCHE no 6

HYDROGEOLOGIE DELA PLAINE DE
MEHMANDOUST DAMGHAN IRAN
Carte Isoresistivite des terrains Prospection
electrique Par M. MAHVI
Echelle 1:30000 Profondeur 100m

- LEGENDE
- - - Courbe Isoresistivite et sa valeur
 - Sens d'ecoulement des eaux
 - Route asphaltée
 - Chemin de fer
 - • • Limite de La plaine
 - Ville - Village

PLAINE SALIFERE

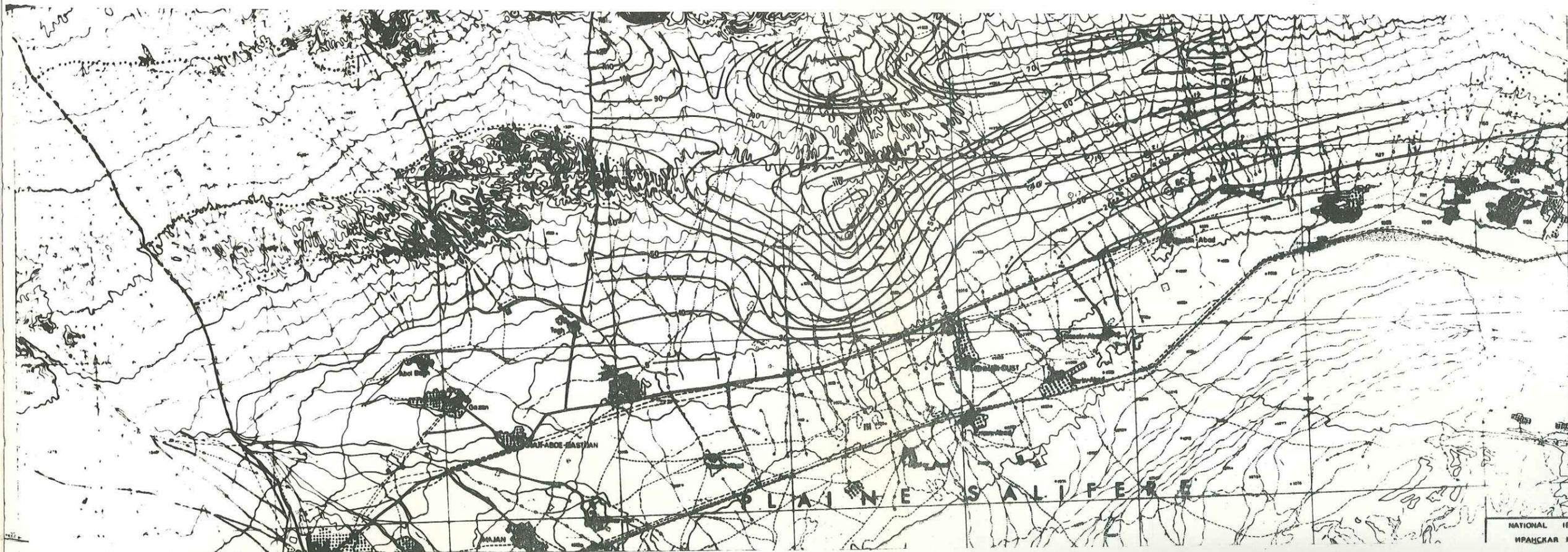


PLANCHE no 7

HYDROGEOLOGIE DELA PLAINE DE
MEHMANDOUST DAMGHAN IRAN
Carte Isoresistivite des terrains Prospection
electrique Par M. MAHVI
Echelle 1:30000 Profondeur 200m

- LEGENDE
- - - Courbe Isoresistivite et sa valeur
 - Sens d'ecoulement des eaux
 - Route asphaltée
 - Chemin de fer
 - • • Limite de La plaine
 - Ville - Village

PLAINE SALIFERE

b) potentiel - Après avoir tracé la ligne de base de l'argile, on s'est aperçu qu'il y a un passage très argileux entre 45 à 70m dans ce sondage. Un pic au niveau de 137m montre le niveau statique de la nappe. Nous avons installé le premier tube à crépine selon le niveau donné par ce diagramme.

La déviation de la courbe vers la droite par rapport à la ligne de base de l'argile montre les éléments grossiers "propres" et la déviation sur la gauche donne les niveaux argileux "sales".

c) Rayons Gamma - L'avantage de cette méthode par rapport aux méthodes précédentes est qu'elle peut être employée aussi bien dans les forages tubés que dans les forages non tubés, qu'ils soient remplis ou non d'eau de boue ou de circulation.

On peut effectuer une "auscultation" aux rayons Gamma sur des forages anciens sans aucune difficulté pour étudier leur situation géologique. Les diagrammes de rayons Gamma de notre figure ne sont pas très parlants ; nous pouvons seulement dire que les déviations des diagrammes vers la droite montrent les zones argileuses et les déviations vers la gauche les zones sableuses et grossières.

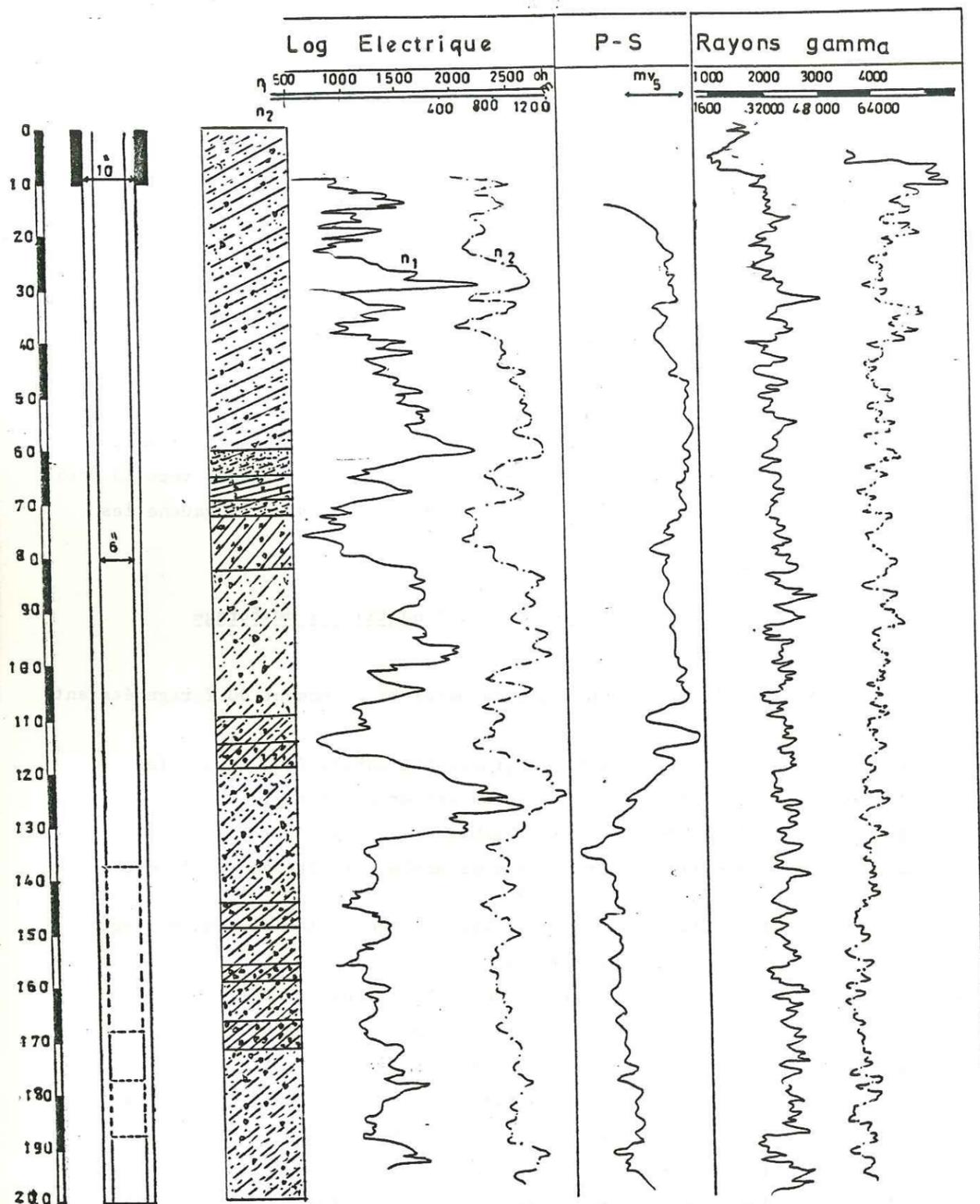
4.4.1.4. Observations des échantillons de forage

Les différents éléments lithologiques observés au moment du forage étaient :

1	0 - 65m	sables grossiers, sables fins et argiles
2	65 - 73	sables grossiers et peu d'argiles
3	81 - 109m	gravier, sables avec argiles
4	109 - 115m	graviers avec sables et alternance d'argiles et silts
5	115 - 121m	sables grossiers avec sables fins et passages d'argiles
6	121 - 144m	argiles avec sables fins et sables grossiers
7	144 - 150m	graviers avec sables fins et sables grossiers
8	150 - 156m	silts avec sables fins
9	156 - 168m	argiles silteuses avec sables et sables fins
10	163 - 173	sables fins et silts
11	173 - 186	sables fins avec sables et sables grossiers
12	186 - 200	silts avec sables fins

Puits no 12

Fig no 26



Echelle 1/1000

4.4.2. Puits n°16

4.4.2.1. Ouvrage de sondage

Le puits est situé sur le profil n°V de sondage électrique à une cote environ 1217m à 2,5km au Nord du village de Ghaden-Abad et 12km à l'Est de Mehmandoust. Il a une profondeur de 200mètres.

4.4.2.2. Les travaux de sondage

Le forage de ce puits s'est fait entre le 9/9/1975 et le 22/11/1975 - le diamètre de sondage est: 10,30 m en 16"; 155,55 m en 12" ; 34,15m en 8". Le diamètre de tubage est: 10,30m en 14"; 165,85m en 10"; 129,5 m en non crépiné; 31,5 m crépiné; 42,65 m en 6"; 9,85 m en 6" crépiné et 24,40 m en 6" non crépiné.

4.4.2.3. Carottages géophysiques

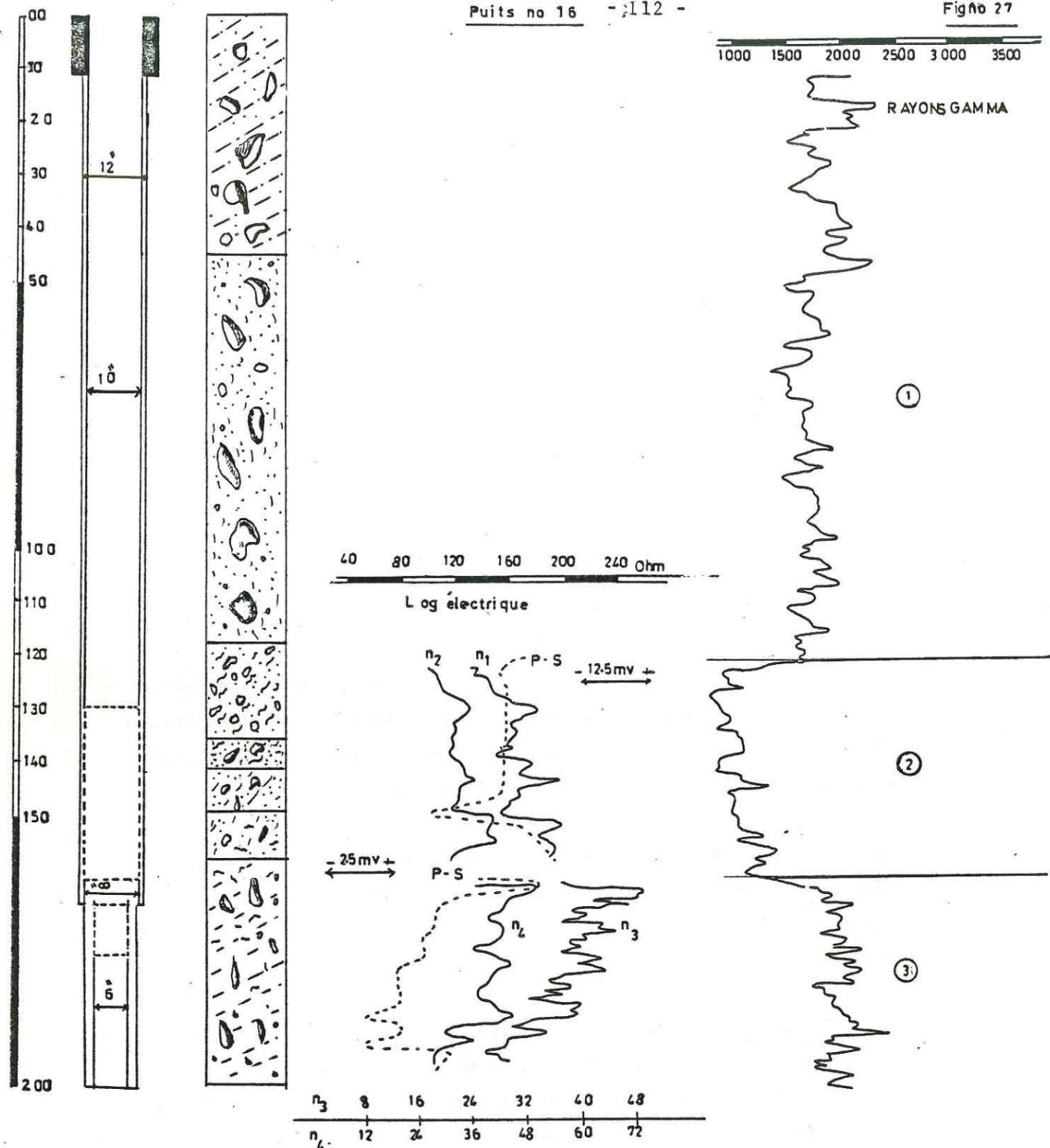
a) Courbe de résistivité: Nous avons réalisé la méthode de résistivité à deux échelles différentes à partir de 120m de profondeur (fig.n°27). Les courbes n_2 et n_1 , au niveau de 130m montrent le niveau statique de la nappe. Donc nous avons crépiné le forage dès ce niveau.

b) Courbe de PS: Cette courbe ne donne pas une interprétation très claire. La diminution de la résistivité vers le fond du forage nous montre l'existence de terrains peu perméables et peut-être un accroissement de la salinité.

c) courbe de rayon Gamma: Le diagramme est bien parlant et on distingue trois zones différentes et proches des interprétations précédentes:
 1- entre 0 et 117m un terrain grossier avec des alternances d'argiles
 2- de 117 m à 157 m une déviation très nette sur la gauche montre une augmentation de la perméabilité et l'existence de la nappe aquifère. L'épaisseur de la couche atteint 40m.
 3- une zone qui commence au niveau de 157m environ; elle est très argileuse et constitue donc le mur de la nappe.

4.4.2.4. Observations des échantillons de forage

La coupe lithologique au moment du forage était:



Echelle 1:1000

- | | | |
|---|------------|---|
| 1 | 0 - 90m | sables fins, sables grossiers, graviers argiles |
| 2 | 90 - 100m | sables avec des passages silteux et argiles avec les galets de graviers |
| 3 | 100 - 135m | sables et argiles |
| 4 | 135 - 150m | alternance de sables grossiers et argiles silteuses. |
| 5 | 150 - 160m | sables avec graviers et argiles |
| 6 | 160 - 200m | argiles, sables et graviers |

4.4.3. Puits n° 19 Figure n° 28

4.4.3.1. Ouvrage de sondage

Ce puits est situé à 6km à l'Est de la ville de Mehmandoust sur les formations quaternaires de la plaine à une cote de 1397m avec X = 282.975 et Y = 4019162.

Les travaux de sondage commencés le 1/7/1975 ont été terminés au 27/7/1975 à la profondeur de 295m.

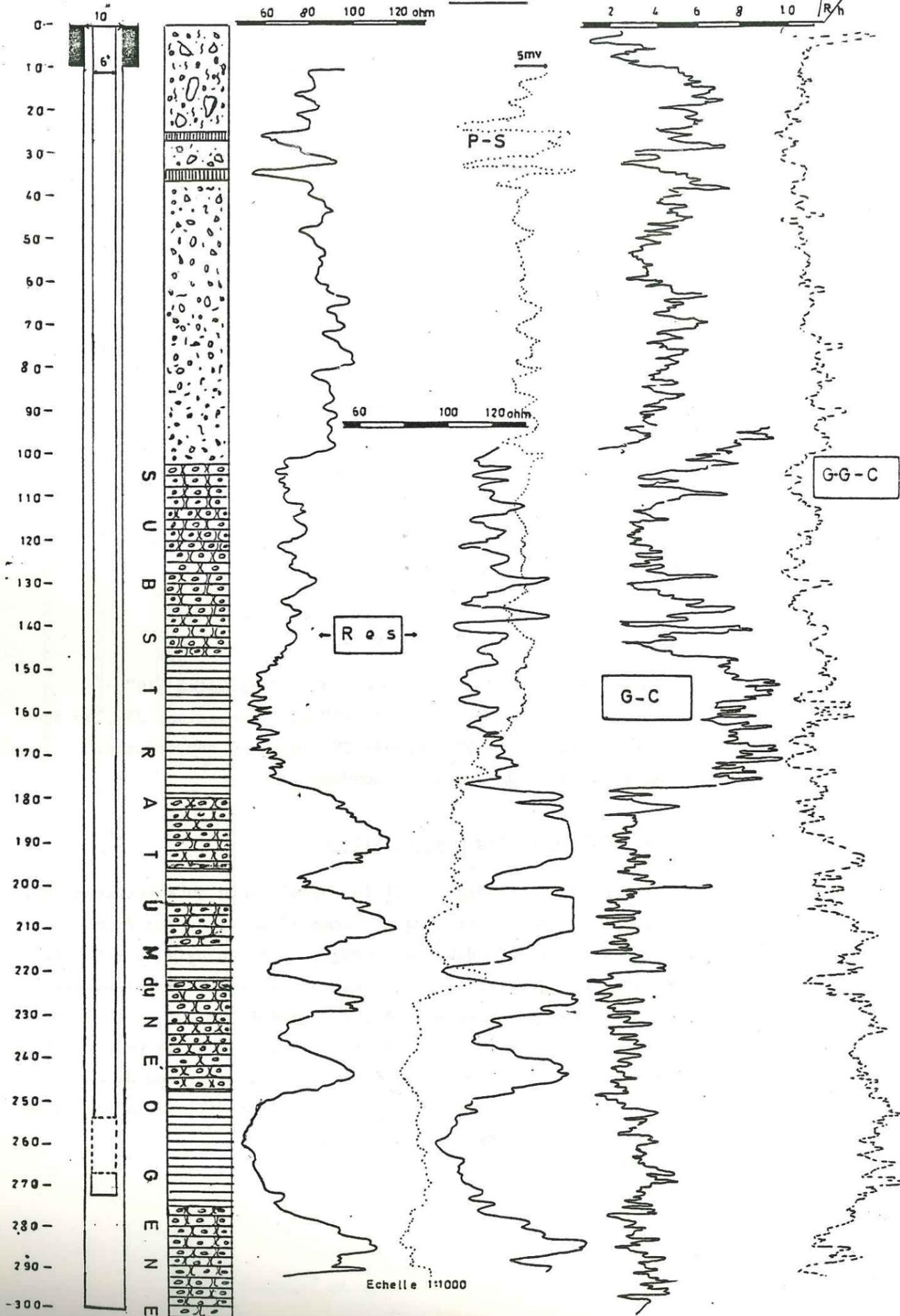
4.4.3.2. Les travaux de sondage

Diamètre de sondage: 9,50m en 16"; 288,50m en 10" -

Diamètre de tubage: 9,50m en 10" et cimentation; 253,76m en 6" non crépiné; 13,13m en 6" crépiné; 28,11m en 6" non crépiné. Contact de l'eau 216,83m après le sondage.

4.4.3.3. Carottages géophysiques

Le but de ce sondage était la connaissance du substratum. Selon les diagrammes de résistivités, Ps et Gamma, l'épaisseur des formations quaternaires atteint 100m dans ce sondage. La lithologie de cette formation est celle de graviers à galets calcaires déjà remaniés, sables et silts, sauf deux passages argileux à 26m et à 34m qui sont bien visibles sur tous les diagrammes. Le niveau statique de la nappe est très bas et on l'a trouvé à 254m dans le substratum conglomératique du Néogène. L'existence d'eau très salée dans cette formation diminue la valeur de la résistivité jusqu'à la résistivité de l'argile.



4.4.4.1. Ouvrage de sondage

Ce puits est situé à 2,5km au Sud du puits n°19 à une côte : Z = 1276m - X = 282 735,68 et Y = 4016 738,31.

Le but de ce sondage était aussi la reconnaissance du substratum et du niveau de l'aquifère à son altitude.

4.4.4.2. Les travaux de sondage

Les travaux de sondage commencés le 8/2/1976 ont été terminés le 20/3/1976 à la profondeur de 239,50m.

Diamètre de sondage: 10,40m en 16"; 229,10m en 10"

Diamètre de tubage: 10,40m en 10" et cimentation du puits; 0,151m en 6" non crépiné; 10m en 6" crépiné; 9,50m en 6" non crépiné; 10m en 6" crépiné; 11m en 6" non crépiné; 11m en 6" crépiné.

Contact de l'eau 140,33m; après le sondage, 141,36m.

4.4.4.3. Carottages géophysiques

Les diagrammes de résistivité montrent que jusqu'à 50m, il y a trois couches argileuses et le reste est formé de sables grossiers fins et silts secs avec une résistivité relativement élevée. L'épaisseur du Quaternaire atteint 100m et l'augmentation de la résistivité jusqu'à 93m montre une croissance de la perméabilité et donc, que les sédiments sont plus grossiers. Au niveau de 100m un pic vers la gauche de la résistivité montre l'existence d'une couche argileuse et tout de suite après la déviation des diagrammes vers la droite montre le commencement du substratum conglomératique qui est en alternance avec les formations marneuses et gypsifères du Néogène (déviations des diagrammes sur la gauche). Le niveau statique était vers 150m de profondeur dans le sondage, mais comme l'eau est très salée, la déviation des diagrammes n'est pas bien nette.

4.4.5. Puits n° 23 Figure n° 30

4.4.5.1. Ouvrages de sondage

Ce puits est situé sur les formations du comblement alluvial à 13km à l'W de la ville de Mehmandoust, près du village de Nosrat-Abad. La cote de ce puits est 1427,19m avec les coordonnées X = 264452,27 et Y = 4016956,40.

Puits no 20

Figno 29

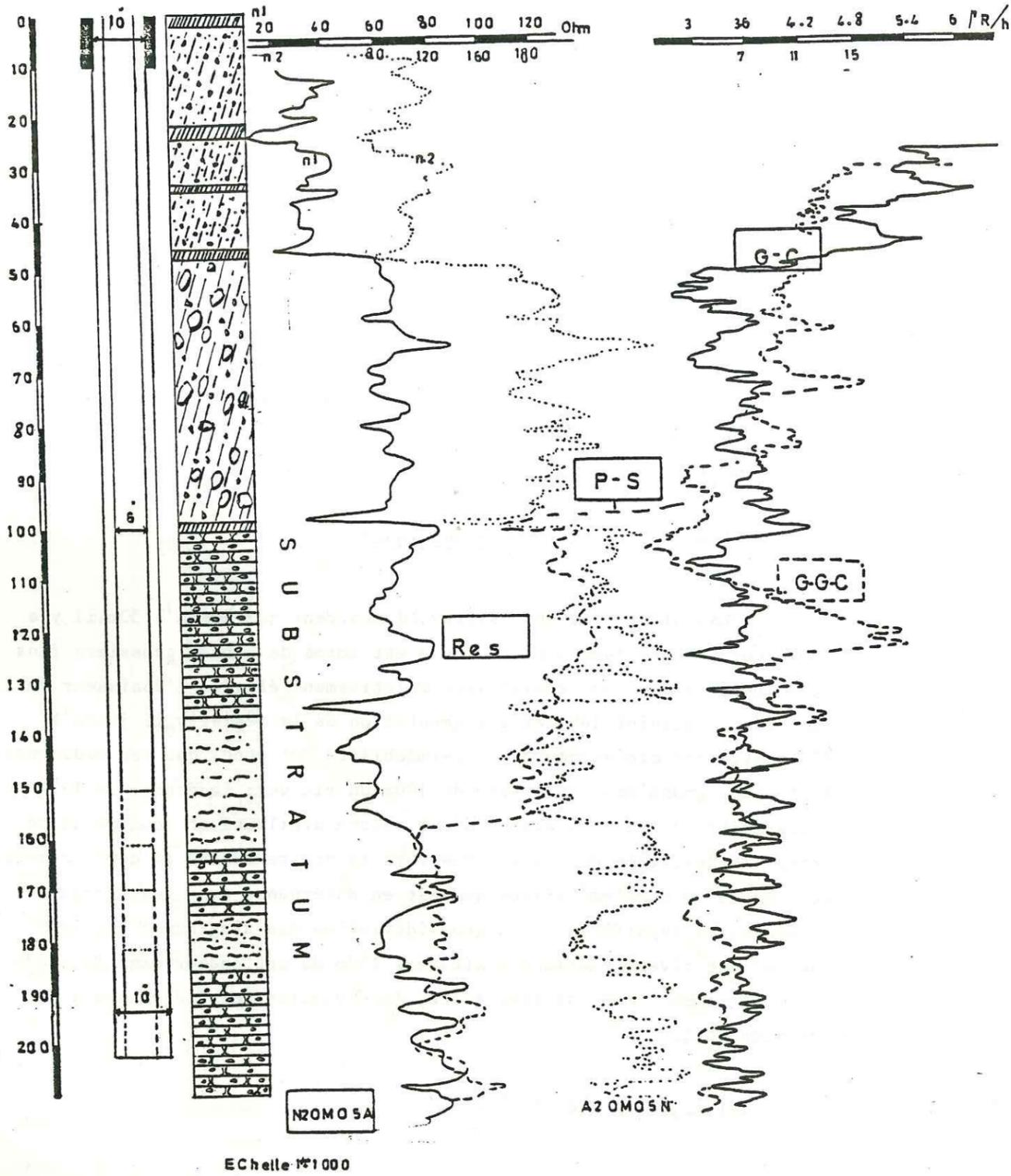


Tableau no 20

Numerodu puits	Date		Altitude	Surface de l'eau			Hydrochimie			P Ompage				Carottage	Méthode sondage	Formation	Observation		
	Debut	Fin		Contat	N-S	N-D	Condu	Cl	° T	Q	Δ	Pompe	Tem ps						
			E	date u	m	mg/l	° dh	l/s	m	h									
1	16	9-9-75	22-11-75	200	124.4	121.2	122	138-52	910	220	23	9	16.5	16.5	10	124	3 fois	Q	
2	12	7-2-75	14-3-75	201.5	122.9-56	131.31	131.31	140	-	196	-	8-40	4.46	8.53	6	120	1 "	Q	
3	II	-	-	83	113.9-53	-	33.30	35	-	890	-	8.5	7.7	180	airift	95	-	Q	
4	19	20-12-75	1-76	300	1396.64	220	216	-	667	23	8	0.2	-	-	-	-	4 fois	Q	
5	20	8-2-76	20-3-76	203-50	1276.68	140.33	141.36	168	-	516	25	8	1	26	6	54	3 "	"	
6	23	28-6-76	15-8-76	158-50	1427-19	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	4 fois	Q	

Puits no 23

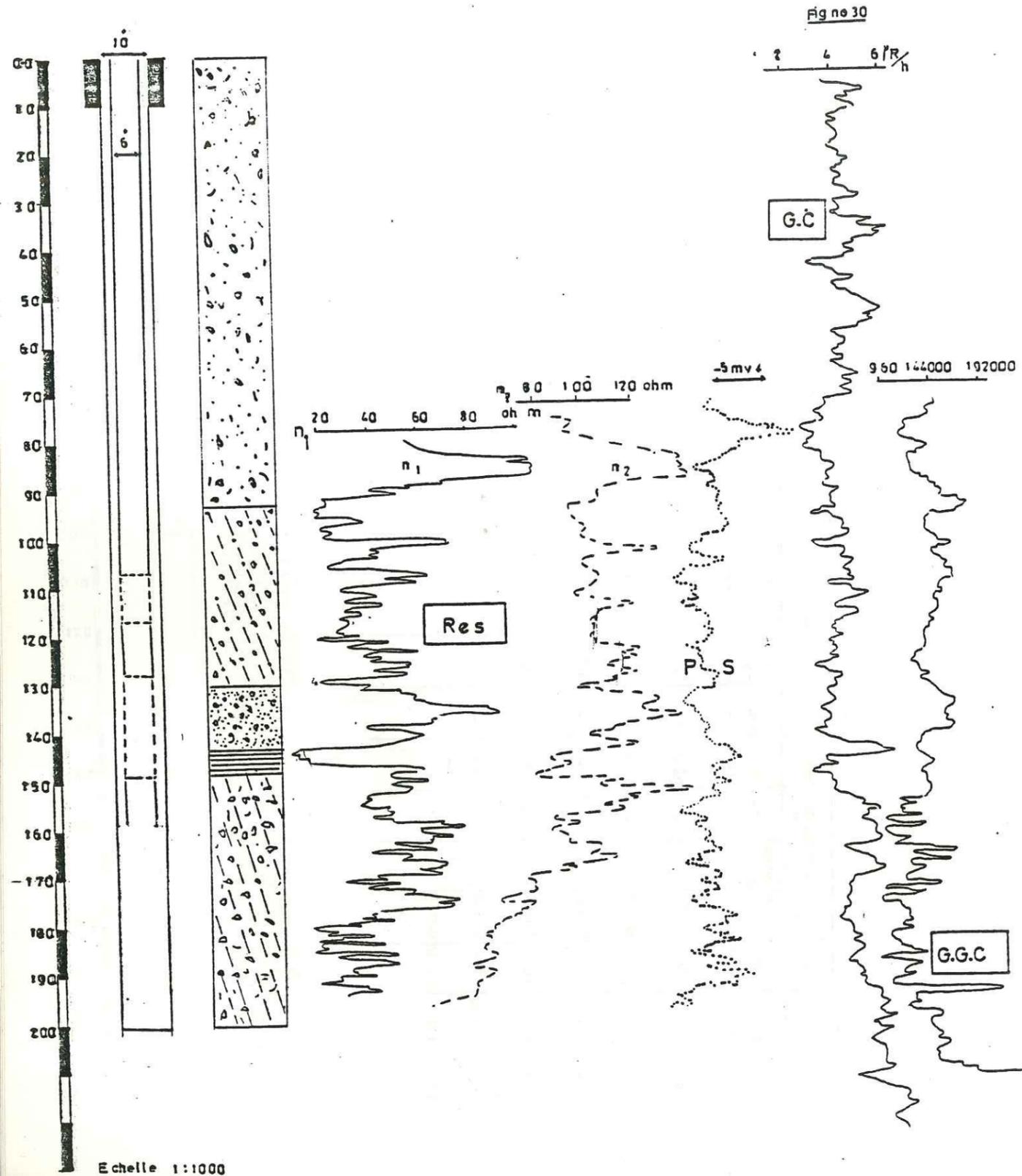


Fig no 30

Les travaux de sondages ont commencé le 28/6/1976 et ont été terminés le 16/8/1976 à la profondeur de 159m.
 Diamètre de sondage: 10m en 16"; 148,9 m en 10".
 Diamètre de tubage: 9,6 m en 10" et cimentation; 106,76 m en 6" non crépiné; 9,50 m en 6" crépiné; 10,80 m en 6" non crépiné; 21,30 m en 6" crépiné; 10,45 m en 6" non crépiné.

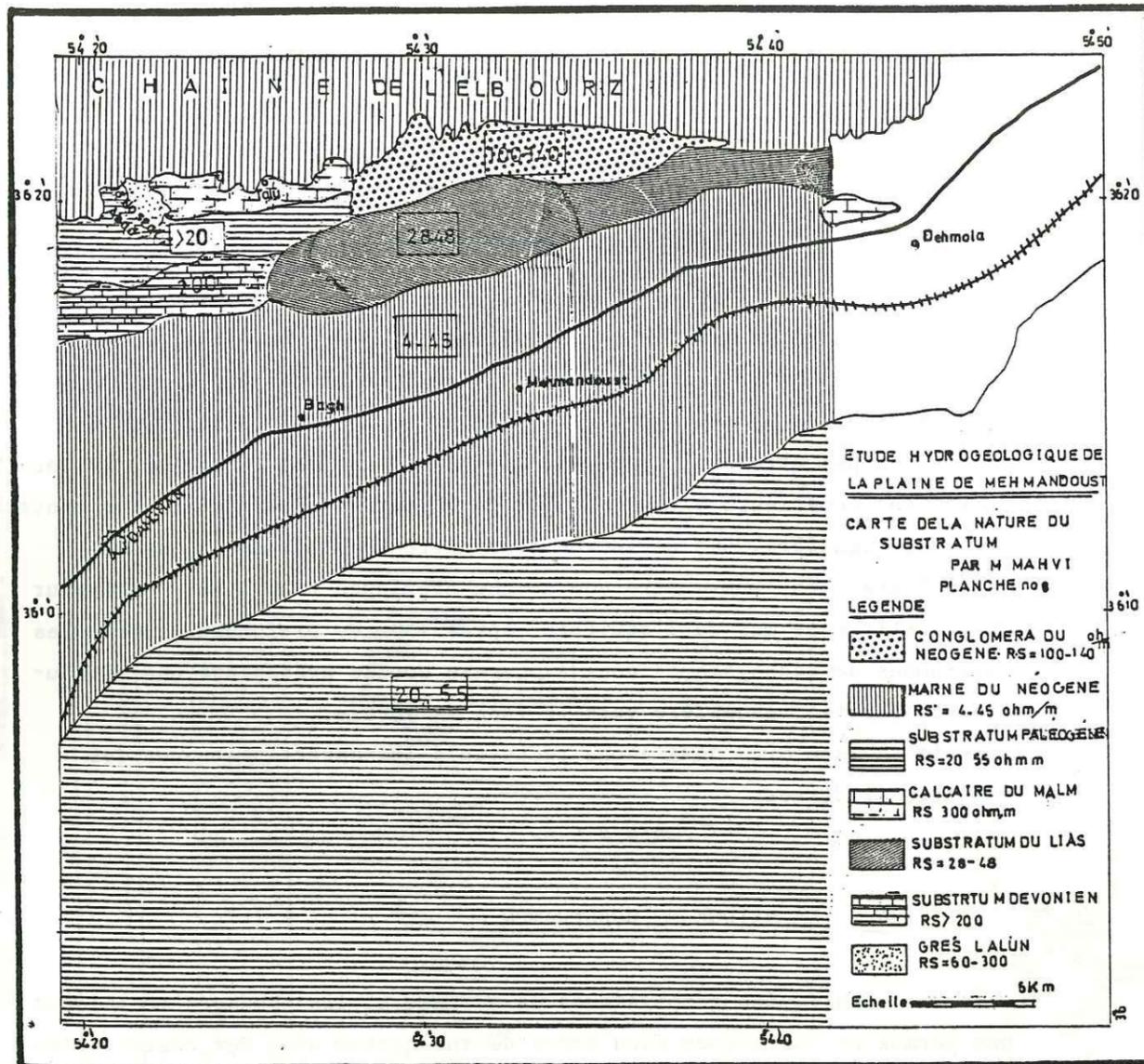
4.4.5.3. Les carottages géophysiques.

Les diagrammes de résistivités, potentiel et gamma, sont parlant et indiquent avec leurs déviations vers la gauche ou la droite les zones argileuses ou de sables et les zones perméables ou propres. Ce forage n'a pas atteint le substratum. L'épaisseur des formations quaternaires est supérieure à 200m. Un pic de PS sur la gauche vers 110m montre le niveau aquifère. Une déviation très nette du diagramme n_1 de la résistivité vers 143m montre une couche argileuse de 5 à 6m d'épaisseur qui constitue le mur de l'aquifère. Après 150m de profondeur, selon les diagrammes de géophysiques nous avons une couche présentant une diminution de fraction grossière vers le fond du forage. Dans le tableau n°20 nous avons récapitulé les caractéristiques des sondages ci-dessus.

4.5. LA NATURE DU SUBSTRATUM

Les études géophysiques de surface et les sondages mécaniques ont permis de distinguer cinq zones de substratum avec des résistivités nettement différentes telles que nous l'avons vu dans le tableau n°19 planche n°8.

- Substratum avec une résistivité comprise entre 100 et 140 ohm/m
- " " " " " " 4 et 45 "
- " " " " " " 28 et 48 "
- " " " " " " 70 et 300 "
- Substratum avec une résistivité supérieure à 200 ohm/m



4.5.1. Substratum résistant de 100 ohm/m (Miocène)

Ce substratum apparait sur le profil n°VIII. Les forages n° 19, 20 et 1 ont pénétré dans le substratum résistant et confirment les résultats de l'étude géophysique.

4.5.2. Substratum conducteur de 4 - 45 ohm/m (Miocène)

Ces terrains marneux conducteurs apparaissent sur tous les profils au Nord et au Sud de la plaine de Mehmandoust sauf dans la zone de Nosrat Abad. On les a appelé " les couches rouges " supérieures.

4.5.3. Substratum conducteur de 28 - 48 - J₁ et J₂ (Jurassique inférieur supérieur)

Ce substratum conducteur apparait sur les profils n° VII à IX dans la partie centrale de la plaine vers l'Ouest de la ville de Mehmandoust. Nous avons des affleurements de cette formation vers la zone de Nosrat Abad (carte géologique, planche n°3) et aussi vers l'Est il y a l'affleurement de calcaires jurassique supérieur qui confirment les résultats de l'étude géophysique. Le soulèvement de ce substratum ancien est dû à une tectonique très forte de socle.

4.5.4. Substratum de résistivité supérieure à 200 ohm/m

Dans la zone de Nosrat Abad, d'après les informations géologiques locales on peut supposer que l'on a un substratum calcaire Dévonien. La limite de ce substratum résistant n'est que la limite à partir de laquelle il apparait sur le diagramme n°XI de la zone de Nosrat-Abad. Il est très profond sous la plaine de Mehmandoust et la longueur de la ligne AB employée ne permet pas de le toucher. Vers le Nord, dans la zone de Nosrat Abad, ces horizons résistants sont recouverts en discordance par les formations du paléogène qui forment le substratum conducteur dans la zone de la plaine de Mehmandoust.

.../...

4.5.5. Conclusion

Les différentes méthodes d'études sur les comblements alluviaux qui précèdent nous ont montré les résultats suivants:

Les formations récentes qui remblaient la plaine de Mehmandoust appartiennent au Quaternaire et aussi au Pliopléistocène (formation Hezardarez)

L'absence de la formation Hezardarez vers l'Est de la plaine de Mehmandoust montre qu'une érosion torrentielle intense postérieure au plio-pléistocène a creusé cette formation. Il est donc logique de penser que la plus grande partie des dépôts rencontrés est d'âge quaternaire et indique différentes phases fluviales du Quaternaire.

Ce sont celles-ci qui ont permis l'existence de cours d'eau très importants, capables de démanteler le Pliopléistocène les formations conglomératiques du Néogène, et aussi les autres formations anciennes, et de transporter de grandes masses de sédiments grossiers sur de grandes distances. ce que confirment les résultats de la morphométrie de la formation Qt_1 ou "A".

L'origine de tels torrents très forts peut être un changement de la température à cette époque, entraînant la fonte des glaciers et en même temps des précipitations très intenses.

Peu après, les matériaux déposés deviennent de plus en plus fins au cours du temps sur une même verticale, et c'est ce que nous avons constaté dans les granulométries de la formations limoneuse "Qc", qui est plus fine que la formation "B" ou Qt_2 , et que la formation "A" ou Qt_1 . Ce phénomène se superpose à l'évolution normale de la granulométrie de l'amont vers l'aval.

4.6. ETUDE DE LA SEDIMENTOLOGIE DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST

Introduction et méthode d'étude

Nous avons prélevé des échantillons d'un forage récent dans la plaine près de la ville de Chahroud. L'étude de ces échantillons permet d'étudier l'évolution du Quaternaire en profondeur, et aussi de déterminer les coefficients de perméabilité des couches aquifères. D'autres échantillons sont prélevés dans les différentes parties de la plaine. L'étude sédimentologique de ces échantillons nous a permis la distinction des différentes formations du Quaternaire, de l'origine de leurs dépôts et de leur nature pétrographique après avoir étudié les indices caractéristiques, à partir de l'établissement des courbes granulométriques.

Les méthodes suivantes ont été utilisées pour cette étude.

- A) Etude des sédiments détritiques de Qt_1 par la méthode de morphométrie;
- B) Granulométrie
 - a) argiles
 - b) sables et graviers
 - c) blocs et gros galets par la méthode linéaire

4.6.1. Analyse de la formation Qt_1 - Cône de déjection ancien de Mehmandoust - Formation Hezardareh

L'étude a été faite par les trois méthodes suivantes:

- A) Morphométrie des sédiments détritiques
- B) Granulométrie des sables et graviers avec tamisage
- C) Granulométrie des blocs et gros galets par la méthode linéaire

A) Morphométrie des sédiments

Méthode: Nous avons choisi un lot de 100 galets, centrés autour de 50mm d'une carrière de Qt_1 près de Mehmandoust (fig. n° 31 et 32).



Figure n° 31 - Formation de Hezardarez Qt₁ près de la ville de Mehmandoust

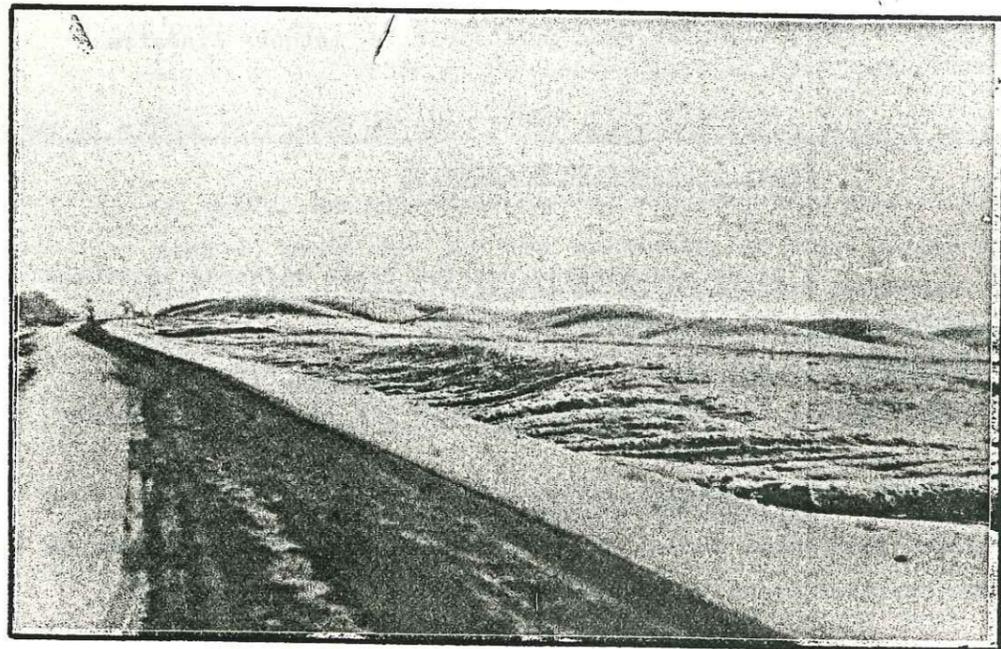


Figure n° 32 - Morphologie de Hezardarez par rapport de la formation Qt₂ de la plaine de Mehmandoust

Nous avons examiné à plat, pour chacun d'eux sa plus grande longueur L et sa plus grande largeur l; on mesure L, l, E et la plus petite courbure caractérisée par le rayon r, au moyen d'une cible spéciale.

Indice d'émoissé

$$I = 2r \cdot /L \times 1000$$

Indice d'aplatissement

$$A = (L + 1/2 E) \times 100$$

Indice de dissymétrie

$$D = AC/L \times 1000$$

Les résultats de cette méthode sont groupés dans le tableau n°21

TABLEAU N°21

Indice d'aplatissement pour les galets de la formation Hezardarez Qt₁

Indice d'apla- tissement L+l/2E	% simple	% cumulé	I. 2r/L	%sim- ple	%cu- mulé	AC/L	% simple	% cu- mulé
100 - 125	0	0	101-151	1	-	100-125	1	-
126 - 150	%2	-	151-200	8	9	151-200	1	2
151 - 175	%5	%7	201-250	8	17	225-250	1	3
176 - 200	%7	%14	251-300	12	29	276-300	4	7
201 - 225	10	24	301-350	14	43	301-325	1	8
226 - 250	16	40	351-400	22	65	326-350	2	10
251 - 275	9	49	401-450	8	73	351-375	3	13
276 - 300	8	57	451-500	5	78	376-400	17	30
300 - 325	2	59	501-550	4	82	401-425	9	39
325 - 350	6	65	551-600	10	92	426-450	17	56
356 - 375	6	71						
375 - 425	4	80	601-650	1	93	451-475	17	73
426 - 450	3	82						
451 - 475	2	85	650-700	3	96	476-500	15	88
476 - 500	1	86						
521 - 550	1	87	701-750	1	97	501-525	6	94
551 - 575	3	90						
576 - 600	5	95	750-800	3	100	526-550	6	100
600	5	700						

Les diagrammes n° 33, 34 et 35 montrent des valeurs moyennes des indices d'aplatissement de 280mm; dissymétrie de 440mm et d'émoissé de 370mm.

Ces indices montrent une origine marine pour cette formation ce qui n'est pas vrai, comme nous le verrons grâce à la courbe granulométrique. Cette formation a une origine torrentielle, mais provient du remaniement du substratum conglomératique marin du Néogène.

Nous avons mesuré les orientations des galets allongés de la formation Hezardareh de la plaine de Mehmandoust. Après avoir reporté les résultats sur une rose des allongements des galets, nous avons tiré les résultats ci-dessous:

L'orientation moyenne des galets est de l'ordre de $Az = 300 - 320^\circ$ ce qui indique un agent de dépôt de direction NE-SW. Cette direction coïncide avec la direction actuelle de l'Oued de Sarkhan.

B-C Granulométrie par tamisage et méthode linéaire

Les granulométries de la formation Qt_1 montrent des pourcentages de fraction grossière et de fraction fine, indiqués sur le tableau n°22

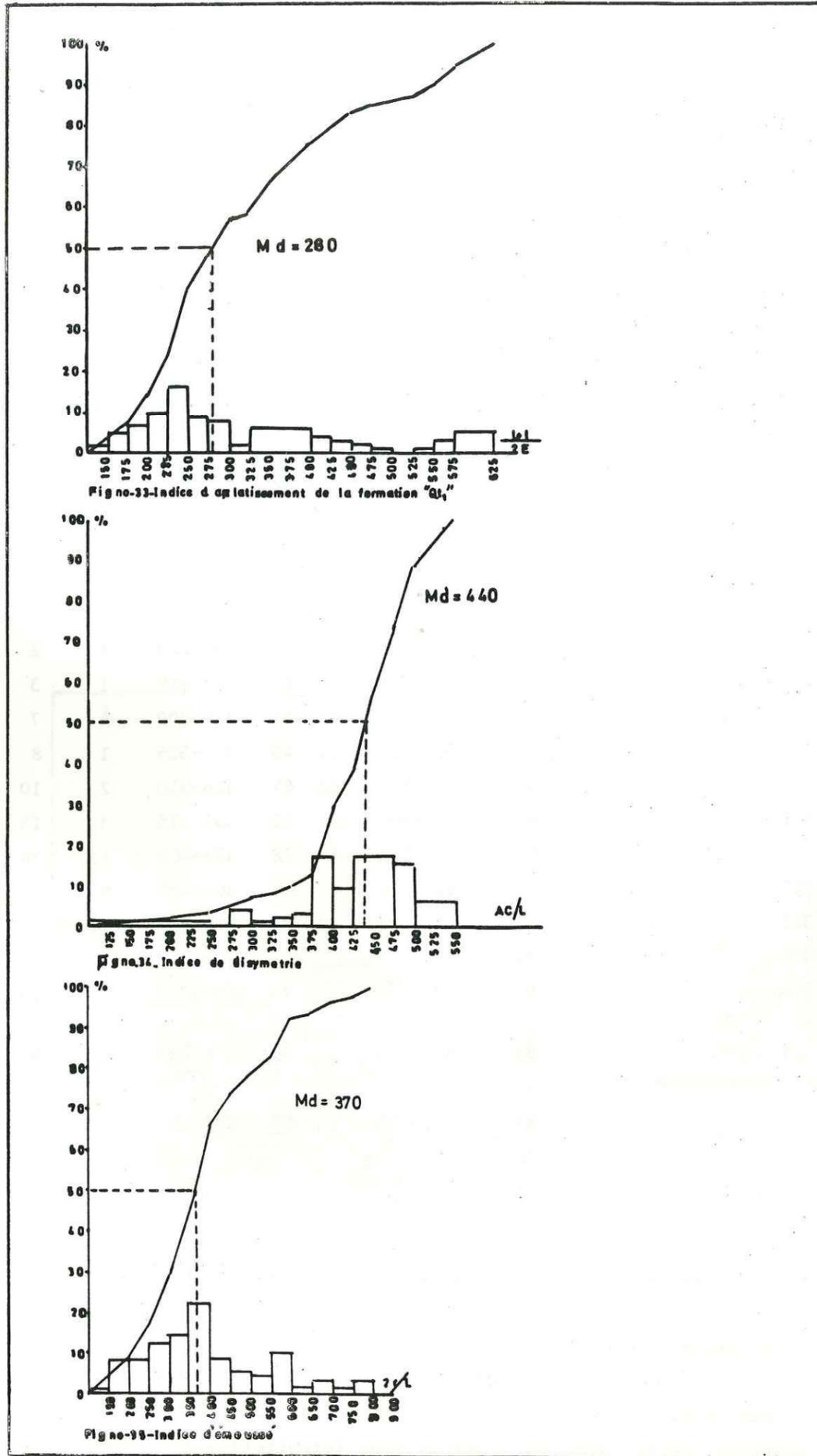
Taille des fractions fines	%	Taille des fraction grossières en mm	%
1	79,5	2	9,37
0,500	8,8	4	6,9
0,400	3,2	8	4
0,315	3,3	10	0,07
0,250	4,7	20	0,2
0,200	3,3	25	2,06
0,160	1,4	31,5	2
0,125	1,8	40	6,9
0,100	1,87	50	12
0,080	1,8	63	2,4
0,063	1,7	80	4,9
0,050	0,72		
0,040	1,5		
<0,040	5,6		

Les courbes de fréquence simples et cumulées montrent un mauvais triage et un mauvais classement des sédiments (fig.n°36). La médiane est de 1,3mm. Les quartiles Q_1 et Q_3 sont respectivement de 0,27 et 34mm.

Le sorting-index S_o de Trask égal à $\sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$ est de 11.

$Qd\phi = 3,45$ Hé $= 3,2$

Les valeurs des différents indices indiquent que ce sédiment a été formé par un torrent d'origine glaciaire. Ce résultat est contraire à ce que l'on a tiré déjà de la méthode de morphométrie des galets de cette formation. La morphométrie des galets nous a montré des indices d'aplatissement, émoussé et hétérométrie de galets marins, tandis que la courbe granulométrique caractérise un sédiment tout à fait torrentiel, ceci résulte d'un apport par les torrents de galets des conglomérats néogènes déjà usés



4.6.2. Analyse de la formation Qc - limon dans la plaine de Mehmandoust

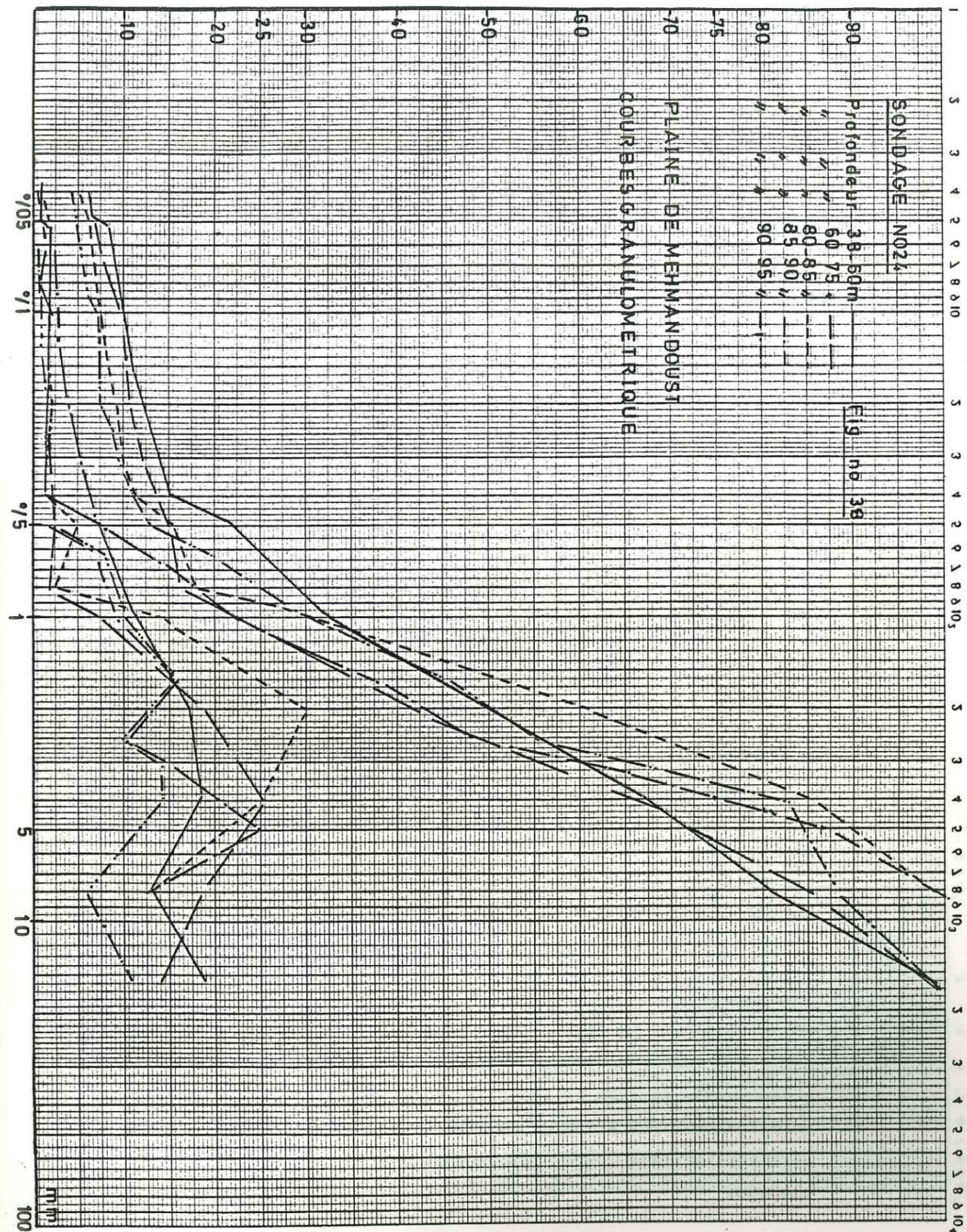
Nous avons prélevé deux échantillons de cette formation l'un des lentilles sableuses entre les limons et l'autre d'une partie des argiles limoneuses

La granulométrie de la partie sableuse nous a donné les tailles ci-dessous - Tableau n°23)

Taille des éléments grossiers	%	Taille des éléments fins	%
8	1,4	1	17
		0,500	19,7
4	6,6	0,400	4,8
2	12,2	0,315	4,3
		0,250	6
		0,200	3,8
		0,160	2
		0,120	2,3
		0,100	1,9
		0,063	3,2
		0,050	1,4
		0,040	1
		0,040	11,8

médiane $Q_2 = 0,047mm$, quartiles Q_1 et Q_3 de 0,17 et 0,88mm, sorting index $S_o = 2,3$
 Le q de ϕ de Krumbein est de 1,2 et l'indice d'hétérométrie de Cailloux Hé = 1,35. Une observation très rapide des grains sous le microscope nous a montré des grains composites et recimentés par de la silice; les grains de quartz sont peu usés. Les indices ci-dessous montrent une origine torrentielle par remaniement de sables plus anciens au Quaternaire. L'allure de la courbe montre un meilleur triage ce qui peut être dû à un milieu lagunaire peu profond dans la dépression du Sud de la plaine de Mehmandoust.
 L'analyse granulométrique des limons argileux est récapitulée dans le tableau n°24

Taille des éléments grossiers	%	Taille des éléments fins	%	Taille 0,040 micron	%
4	0,4	1	0,54	44	54
2	0,7	0,500	1,09	18,1	52
		0,400	0,83	10,68	36,7
		0,315	0,9	8,5	31,8
		0,250	3,6	7,79	30,2
		0,200	2,9	7,24	29,6
		0,160	4,7	6,76	29,3
		0,125	2,4	6,5	29
		0,100	5,4	6,17	28,8
		0,063	10,3	6,03	28
		0,050	6,9	3,7	27,7
		0,040	5,7	2,24	22,5
				1,9	20
				1,50	19,6
				1,24	14,1
				1,2	13,8



Les indices caractéristiques selon la courbe cumulée "fig.n°37" sont les suivants:

Médiane = 0,017 ; $Q_1 = 0,003$; $Q_3 = 0,06$; $Qd\phi = 2,3$; Hé = 1,9; $So = 4,5$
 Ces indices montrent que cet échantillon est moins bien classé que l'échantillon précédent. Il a aussi une origine torrentielle mais plus calme et plus régulière que l'autre, parceque les sables proviennent d'un régime torrentiel plus violent que les limons. Il est mal trié

mais reste en tout cas mieux classé que celui qu'on a vu dans la formation Qt_1 . Les grains sont séparés, peu usés et luisants. Donc ces limons ne sont pas des loess.

4.6.3. Analyse granulométrique du forage réalisé près de la ville de Chahroud

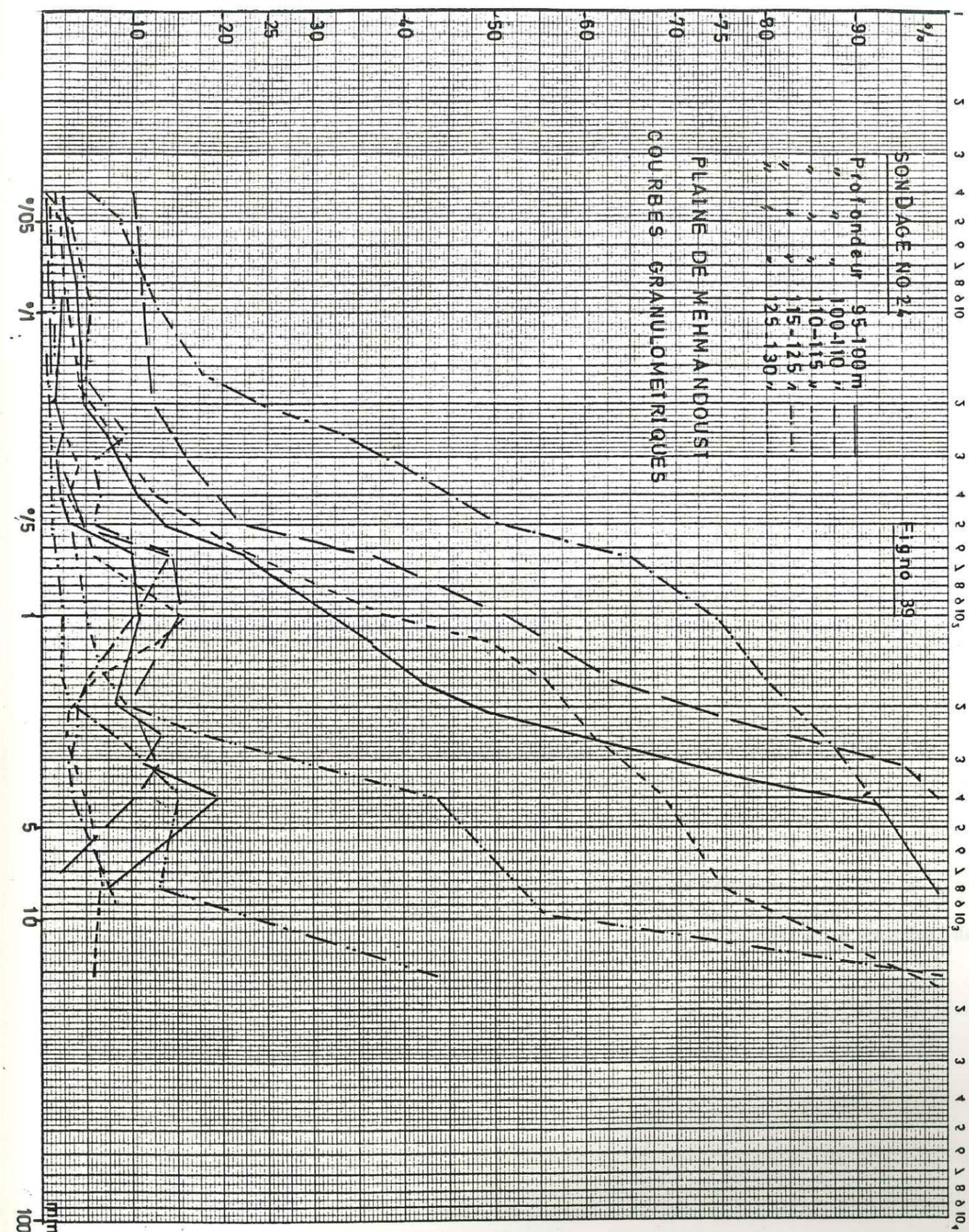
Nous avons prélevé 13 échantillons dans ce forage de 0 à 130m de sa profondeur, pour avoir la valeur du coefficient de perméabilité à partir de l'étude sédimentologique et aussi l'évolution des différents indices en profondeur dans la plaine de Mehmandoust.

Le tableau n°25 montre les résultats obtenus à partir des courbes cumulé et fréquences simples de ce forage (fig.n°37,38,39).

TABLEAU N°25

N° éch.	Profondeur m	Md mm	Qdφ mm	Modalité mm	Perméabilité m/s
5	1-8	1,8	2	2	-
6	13-17	1,3	1,4	2	$1,6 \times 10^{-3}$
7	21-36	1,8	1,4	8	7×10^{-3}
8	38-60	2	1,6	16	0,01
9	60-75	2,5	1,2	2,5	0,014
10	80-85	1,6	1,4	2	01
11	90	2,5	0,95	5	$3,8 \times 10^{-3}$
12	95	1,9	1,1	1,6	$1,2 \times 10^{-4}$
13	100	2	1,15	4	$1,6 \times 10^{-3}$
14	110	0,9	1	1	$2,1 \times 10^{-5}$
15	110-115	1,2	15	1	1×10^{-3}
16	125	0,48	1,2	0,6	4×10^{-5}
17	125-130	6,50	1	16	0n078

La figure n°40 montre la variation ci-dessus en fonction de la profondeur de forage. A partir de cette figure on peut vérifier qu'entre 95m et 120m existent trois intervalles plus perméables et moins perméables. A 75m et au-dessous de 130m on trouve deux zones à perméabilité très forte, qui peuvent correspondre à l'existence de chenaux.



L'indice de modalité varie en même sens que la perméabilité. C'est à dire que les zones à forte perméabilité présentent aussi un indice élevé de la modalité.

Les indices de médiant et $Qd\phi$ moyens varient en sens inverse des deux autres indices. Donc, pour un pic de perméabilité, nous avons des indices $Qd\phi$ et médiant moins forts. Autrement dit, les sédiments bien classés ont une valeur plus élevée de la perméabilité.

Remarque: La valeur de $Qd\phi$ moyen qu'on a calculé pour tranches de 5m du forage n'est pas la même que celle que nous avons vu pour les courbes granulométriques.

4.6.4. Conclusion

L'étude de la sédimentologie des différentes formations quaternaires nous a dirigé vers des résultats intéressants: l'origine des sédiments, leur hétérogénéité et les différentes phases climatiques du Quaternaire.

Par exemple, au moment de dépôt de Q_2 , il y avait des période avec des précipitations très fortes: transport et dépôt des sables, et les périodes avec de faibles précipitations: transport des limons argileux.

Nous pouvons conclure de l'étude des échantillons de forage sur la formation " Qt_2 fig. n°40" qu'il y a deux ensembles de sédiments rencontrés dans ce forage:

1/ Au dessus de 70m, conditions de sédimentation instables et les couches sont très hétérogènes et variables;

2/ Au dessous de 70m les sédiments sont plus stables du point de vue des conditions de sédimentation et les couches sont plus homogènes.

=====

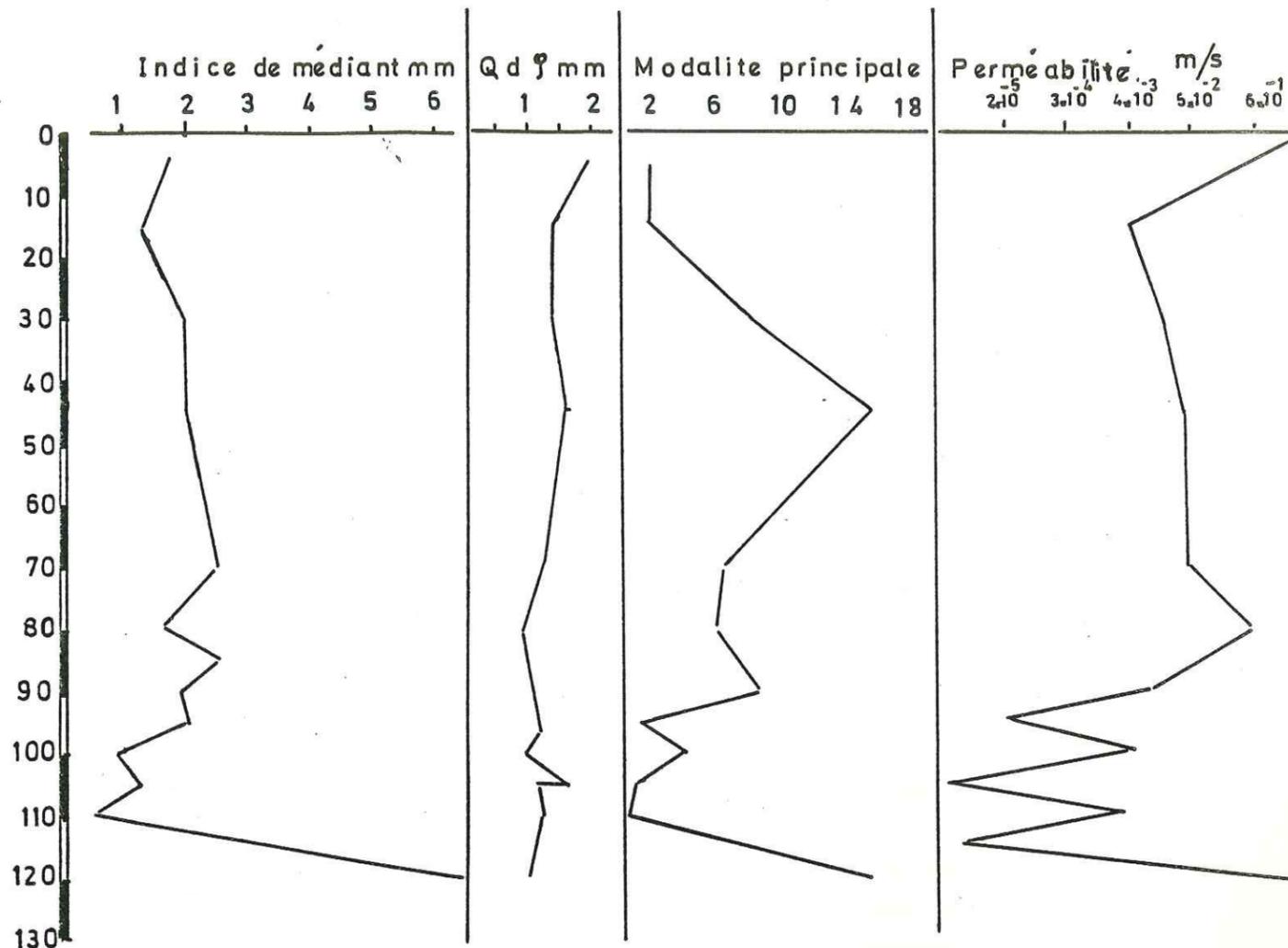


Fig.no.40-La variation des différents indices de sédimentation dans la plaine de Mehmandoust.

CHAPITRE V

HYDROGÉOLOGIE - EAUX SOUTERRAINES

- *Introduction*
- *Etude des sources de la bordure*
- *Etude hydrodynamique des sources*
- *Etude de la nappe de la région de Mehmandoust*
- *La surface des eaux souterraines*
- *Les moyens d'exploitation des eaux souterraines*
- *Considérations sur les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères de la plaine de Mehmandoust*
- *Physico-chimie des eaux souterraines.*

INTRODUCTION La région sur laquelle nous avons travaillé, n'avait encore jamais fait l'objet de recherches hydrogéologiques. Notre étude a commencé en 1975 dans le but de l'évaluation des ressources en eaux souterraines. Dans une étude portant sur un temps relativement court et dans un pays où les observations à caractère statistique sont quasi absentes, il est difficile de chiffrer les résultats.

Dans une première et deuxième partie nous étudierons les sources de la bordure et leurs caractères hydrodynamiques. Dans la partie d'étude de la nappe de la plaine nous essayerons d'abord de donner quelques indications sommaires sur les aquifères possibles, les conditions aux limites, les considérations du milieu et les problèmes locaux d'ordre géologique entraînant des perturbations dans la répartition et l'écoulement des eaux souterraines.

Dans la quatrième partie, nous étudierons la surface des eaux souterraines. Dans la cinquième partie nous étudierons les moyens d'exploitations des eaux souterraines, et nous insisterons surtout sur les ghanats.

Des considérations sur les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère feront l'objet de la sixième partie.

La septième partie sera consacrée aux caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines.

5.1. ETUDES DESCRIPTIVES DES DIFFERENTES SOURCES DE LA BORDURE

GENERALITES

Pour connaître l'origine de l'eau de la nappe alluviale de Mehmandoust, nous avons étudié les sources qui émergent en bordure de la plaine (limite des montagnes et de la plaine). Nous avons choisi les trois sources importantes: Nosrat-Abad; Talu; Kalavan.

Nous avons mesuré pendant l'année 1975-1976, systématiquement deux fois par mois leurs variations de débit et de température et aussi la conductivité électrique. Les courbes de variation du débit en fonction du temps pour ces trois sources sont présentées sur les figures n°41 à 43. Pour l'année 1975-1976 nous avons porté également les variations de la conductivité électrique moyenne mensuelle et de la température de l'eau au point de l'émergence en fonction du temps.

5.1.1. Source de Nosrat-Abad

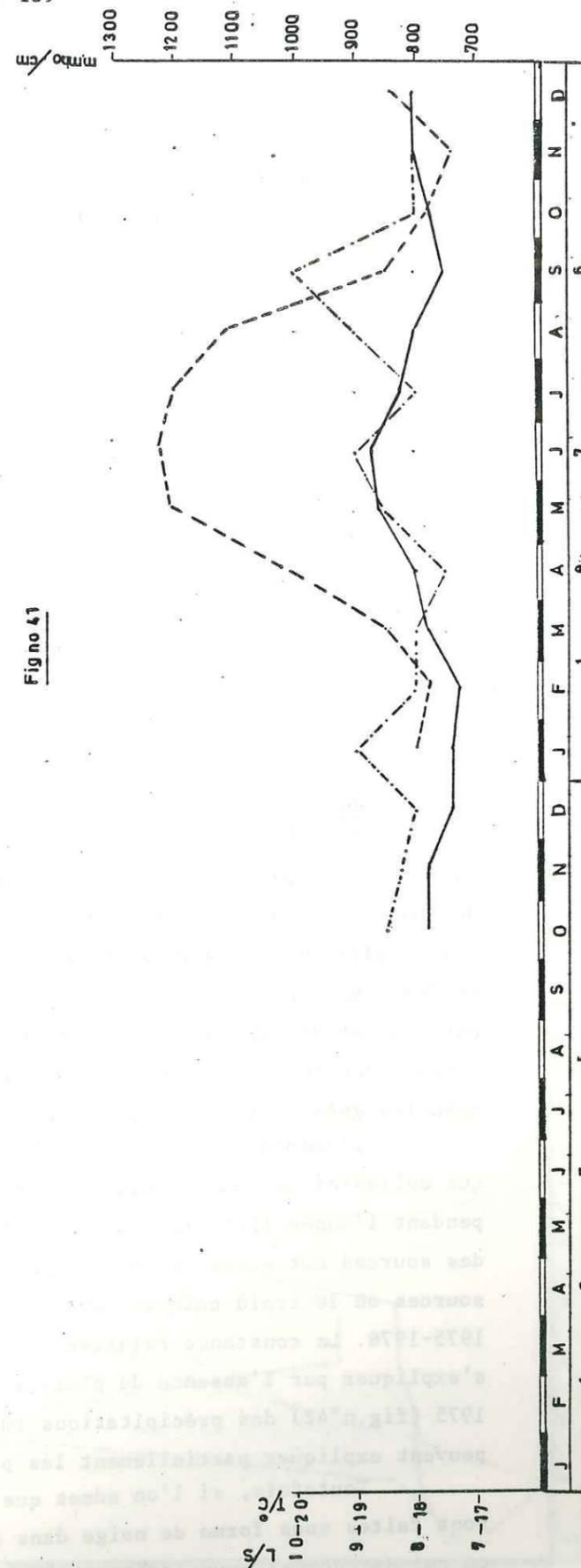
Cette source est située au Nord de Damghan, et alimente le village de Nosrat-Abad.(fig. n°41)

La cote de l'émergence est de 1420m. Cette source est liée à une zone de fracturation et émerge dans les calcaires compacts fissurés du Paléozoïque. Le débit varie entre 7 et 9 l/s.

Source ghanat	NOSRAT ABAD
Altitude	1427
NO	34

Fig no 41

——— Débit
 - - - - - Température
 - - - - - Conductivité électrique



.. La température de la source oscille entre 17 et 20°; nous avons observé la même variation de température pour les deux autres sources, alors que la température moyenne annuelle de l'air enregistrée à la station de Damghan est de 14°. Donc on trouve ici un écart important entre la température des eaux souterraines et la température moyenne annuelle de l'air au niveau de l'émergence, qui ne peut s'expliquer que par la présence d'un important manteau neigeux en hiver dans les montagnes et l'influence d'un gradient géothermique du fait de l'infiltration des eaux de précipitation à une profondeur relativement importante. La conductivité de cette source varie entre 700 et 1200 $\mu\text{mho/cm}$, son résidu sec est de moins de 1g par lit et l'eau est sulfatée.

5.1.2. Source de Talu (n°4)

Elle émerge au contact des calcaires du Jurassique supérieur avec les formations imperméables du Jurassique moyen (fig. n°42). Le débit varie entre 1 et 4 l/sec. Sa température oscille entre 16 et 20°; la conductivité électrique de cette source a une valeur très forte et elle est supérieur à 2500 micro mho /cm.

5.1.3. Source de Kalavan (n°8 - fig.n°43)

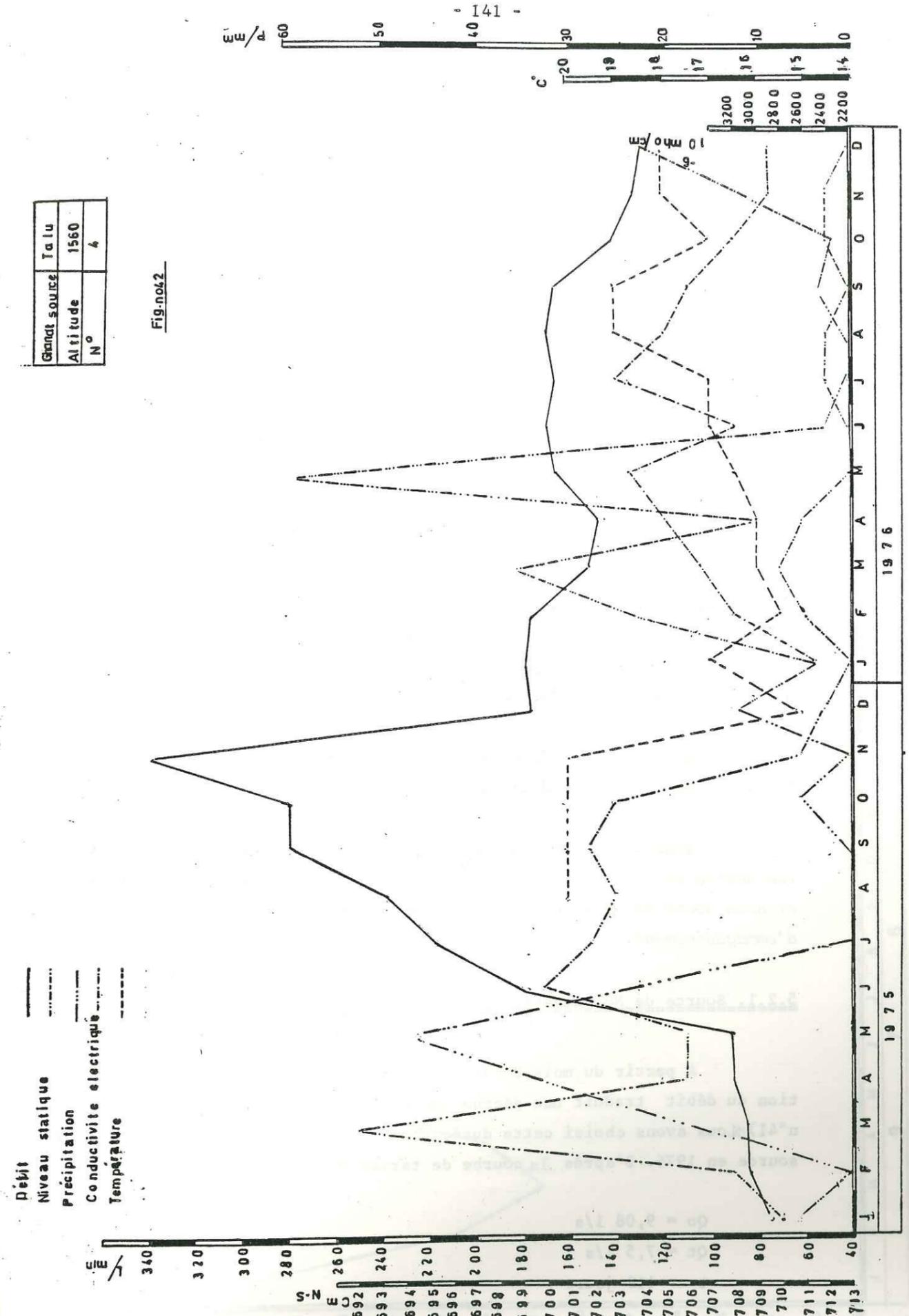
Elle est située à 5km à l'Est de la ville de Mehmandoust. Cette source est aussi sur une ligne de faille; la côte de l'émergence est de 1600m; le débit de cette source n'est pas considérable et varie entre 0,5 et 11/s, mais l'eau est très bonne. Sa conductivité varie entre 400 et 900 $\mu\text{mho/cm}$. La température mesurée au point de l'émergence varie entre 16 et 21°. Le point d'émergence de cette source se situe sur le contact des formations du Cambrien moyen et supérieur (Formation de Mila) avec les grès et quartzites de la formation de Lalun (Cambrien inférieur).

L'examen des diagrammes des débits des sources ci-dessus montre que celles-ci ont un comportement très différent pendant l'année 1975 et pendant l'année 1976: la liaison entre la température de l'air et le débit des sources est aussi nette au mois de février - mars pour les trois sources où le froid coïncide avec une baisse des débits durant l'hiver 1975-1976. La constance relative des débits observés en 1975, paraît s'expliquer par l'absence de pluie à partir du mois de mai, alors qu'en 1975 (fig.n°42) des précipitations importantes ont eu lieu en mai et peuvent expliquer partiellement les pointes de débits observées.

Toutefois, si l'on admet que les précipitations de mai 1975 se sont faites sous forme de neige dans la partie haute des bassins versants ce qui est normal pour les zones situées à plus de 3000 mètres, c'est bien l'influence de la température et de l'altitude qui détermine le décalage dans le temps signalé antérieurement entre les maximums de débits et des maximums de précipitation.

Grand source	Talu
Altitude	1560
N°	4

Fig.n°42



5.2. ETUDE HYDRODYNAMIQUE DES SOURCES - COURBES DE TARISSEMENT

FORMULE DE MAILLET

Introduction - Malgré la faiblesse des débits des trois sources ci-dessus, et aussi de leurs faibles variations, nous avons essayé d'établir les courbes de tarissement. L'analyse des courbes de tarissement des sources permet en effet de calculer la capacité d'emmagasinement.

En période de tarissement, les sources ne reçoivent aucun apport extérieur et leur débit est uniquement fonction du volume d'eau accumulé dans la nappe qui l'alimente.

Maillet a établi la formule suivante de la courbe de tarissement, mais il faut dire qu'il suppose un milieu aquifère homogène et isotrope. Il est évident que ces conditions ne sont pas souvent réalisées dans les calcaires

$$q = q_0 e^{-\alpha t}$$

d'où $\log Q_t = \log Q_0 - (\alpha \log e) t$

Q_t = le débit à l'instant en m³/s

Q_0 = le débit au début du tarissement en m³/s

t = le temps écoulé depuis le début du tarissement en jours

e = 2.718 la base des logarithmes népériens

α = le coefficient de tarissement

en remplaçant $\log e$ par sa valeur numérique 0,4343:

$$\log Q_t = \log Q_0 - (0,4343 \alpha) t.$$

Nous avons porté sur un graphique semi-logarithmique en ordonnées les débits en l/s et en abscisses les temps en jours pour chaque source et nous avons calculé les coefficients de tarissement et la capacité d'emmagasinement.

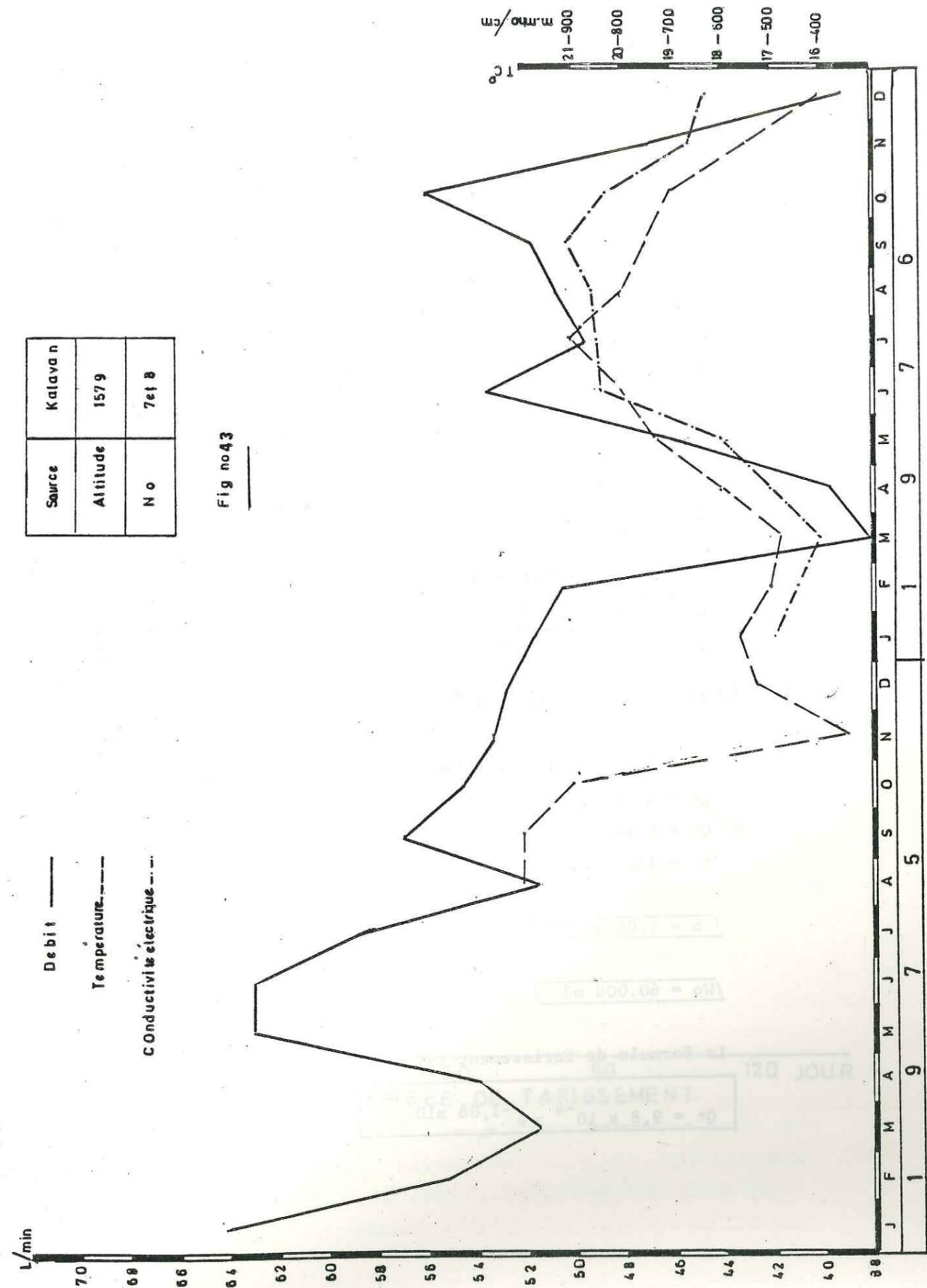
5.2.1. Source de Nosrat-Abad (fig.n°44)

A partir du mois de Juin (la crue relative) la courbe de variation du débit traduit une décrue rapide jusqu'au mois de Septembre (fig. n°41). Nous avons choisi cette durée comme le temps de tarissement de cette source en 1976. D'après la courbe de tarissement (fig.n°44) nous avons:

$Q_0 = 9,08$ l/s

$Q_t = 7,5$ l/s

$t = 118$ jours



$\alpha = 0,00157$

$W_0 = 500,000 \text{ m}^3$

La formule de tarissement de cette source pour l'année 1976 est

$Q_t = 0,00908 \times e^{-0,00157t}$

5.2.2. Source de Talu (fig.n°45)

Après une crue relative au mois d'Aout, nous avons une décrue pendant les mois d'Août à Décembre (fig.n°42). Donc nous avons estimé cette durée comme le temps de tarissement, et selon son diagramme nous avons (fig45)

$Q_0 = 3,04 \text{ l/s}$

$Q_t = 2,15 \text{ l/s}$

$t = 150 \text{ jours}$

$\alpha = 0,00308$

$W = 95000 \text{ m}^3$

La formule de tarissement est de:

$Q_t = 0,00304 e^{-0,003t}$

5.2.3. Source de Kalavan (fig.n°46)

Pour les mois de septembre 1975 à mars 1976, avec

$Q_0 = 0,98 \text{ l/s}$

$Q_t = 0,84 \text{ l/s}$

$t = 150 \text{ jours}$

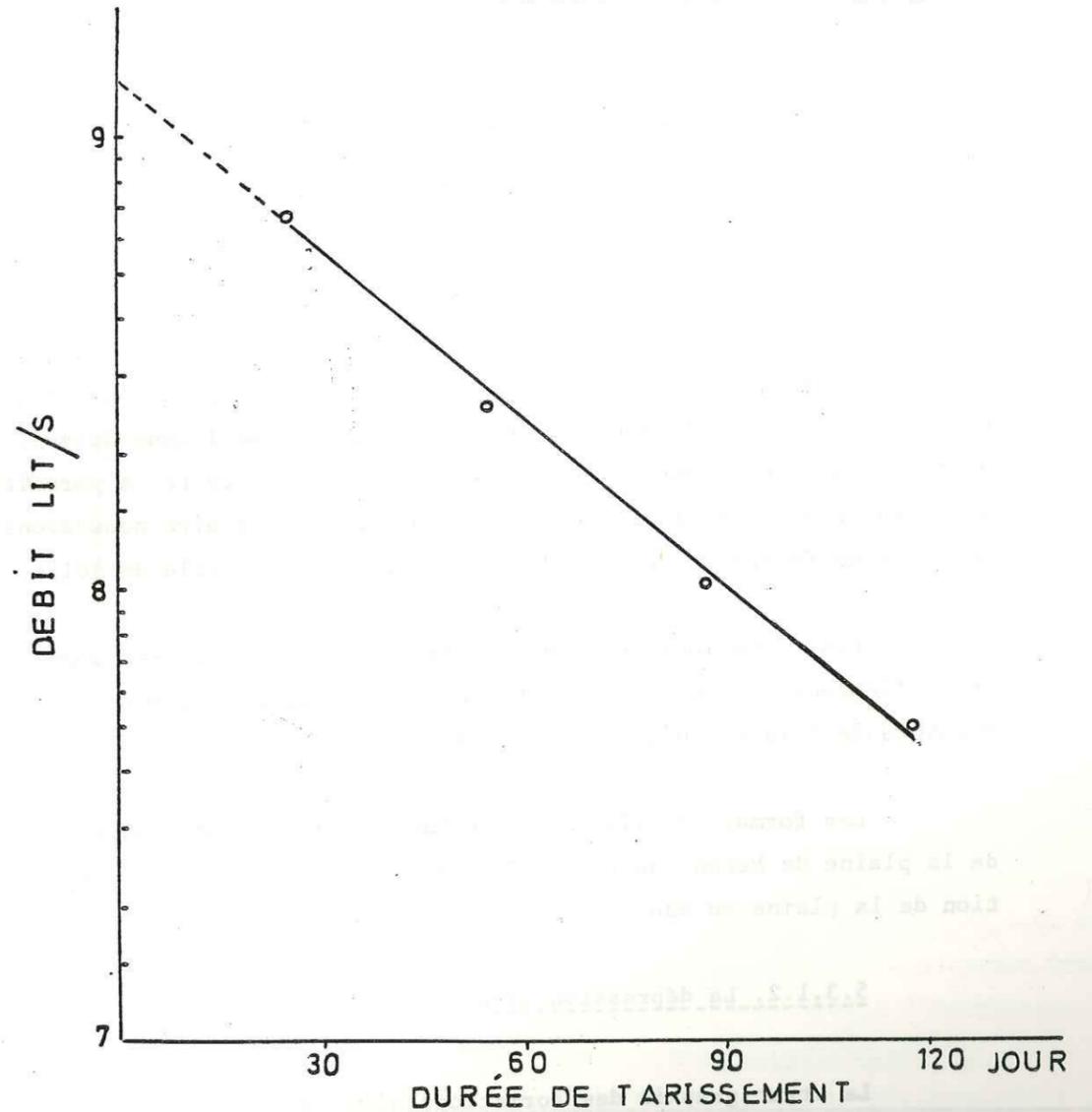
$\alpha = 1,08 \times 10^{-3}$

$W_0 = 60,000 \text{ m}^3$

La formule de tarissement est

$Q_t = 9,8 \times 10^{-4} \times e^{-1,08 \times 10^{-3}t}$

Figno44 COURBE DE TARISSEMENT DE SOURCE NOSRAT-ABAD



5.2.4. Conclusion

La valeur de α trouvée pour les sources de Kalavan et Talu correspond très vraisemblablement à un tarissement de fissures, et leurs volumes de réserves emmagasinés sont comparables sauf pour la source de Nosrat-Abad avec une valeur plus forte et une réserve dynamique plus importante. Le phénomène ne doit donc pas être lié à la pluviométrie, mais paraît provenir de conditions géologiques différentes et en particulier de l'état de fissuration variable de chaque secteur et du voisinage plus ou moins grand des fractures importantes.

Le cas de la source de Nosrat-Abad pourrait correspondre au tarissement de fissures beaucoup plus ouvertes ou même de chenaux.

5.3. ETUDE DE LA NAPPE DE LA REGION DE DAMGHAN "MEHMANDOUST"

5.3.1. Les données de la géologie :

5.3.1.1. Les bordures montagneuses

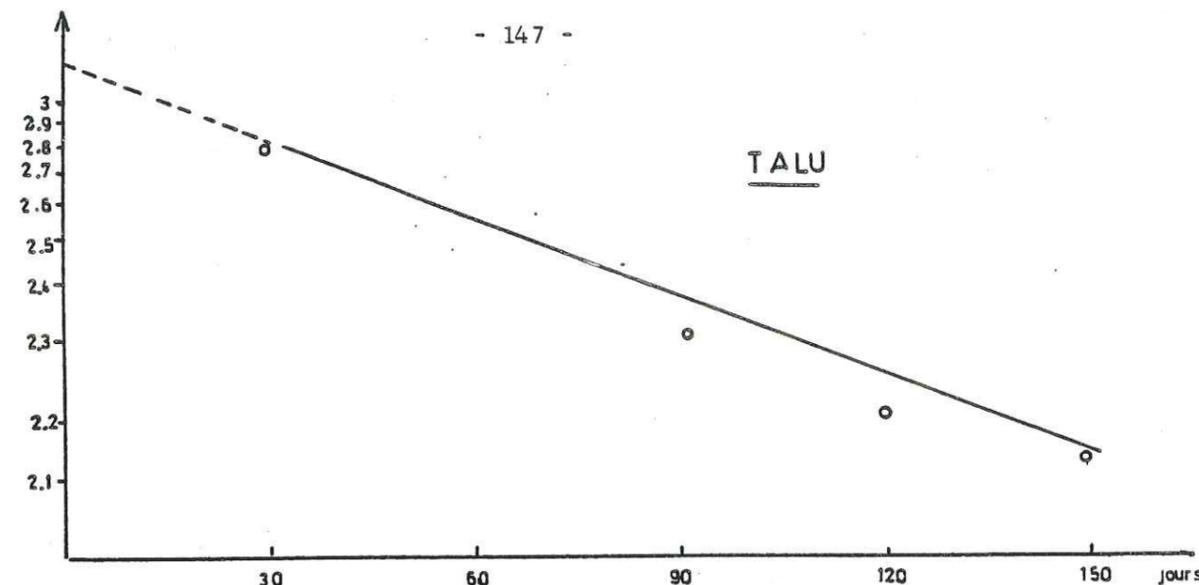
Le substratum affleurant au Nord de notre région n'est pas homogène. Celui que l'on trouve dans les reliefs, sauf dans le secteur de Nosrat-Abad est quasi stérile. Au contact des calcaires à porosité de fissures avec les formations imperméables du Tertiaire nous avons implanté un forage qui nous a donné un débit considérable de 801/s.

Les formations du Néogène, avec les marnes et les conglomérats qui affleurent au Nord et au Centre de notre région sont aussi un facteur défavorable à la circulation des eaux.

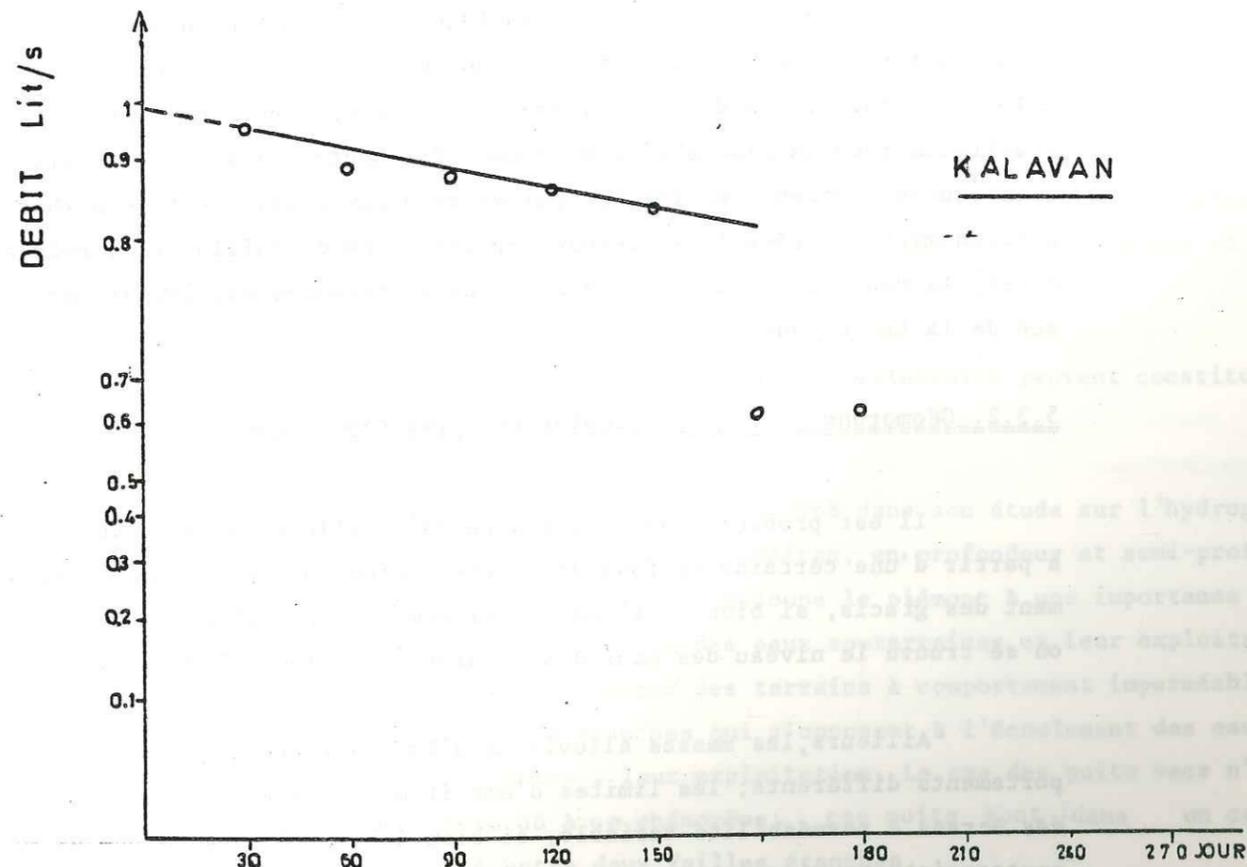
Les formations fissurées du Cambrien inférieur et moyen à l'Est de la plaine de Mehmandoust vers Chahroud peuvent permettre l'alimentation de la plaine en eau.

5.3.1.2. La dépression de Damghan

La stratigraphie des formations alluviales laisse supposer que les dépôts récents Qt_1 , Qt_2 , Qc et Qal sont susceptibles de former de bons aquifères. Les alluvions pliocènes sont grossières, avec une dominance des horizons fins dans la série de Hezardarez. La partie fine, si elle est diffuse et bien répartie peut abaisser fortement la perméabilité.



Figno45 ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PL AINE DE MEHMANDOUST DAMGHAN IRA N 19 7 6 COURBES DE TARISSEMENT DES SOURCES TALU - KALAVA N



Figno46 DURÉE DE TARISSEMENT

Les alluvions Qt_2 ou "B" sont très grossières. Mais leur hétérogénéité caractéristique, en rendant possible la coexistence d'éléments de tailles différentes, peut diminuer la perméabilité.

L'encroûtement généralisé de cette formation est aussi un facteur défavorable à la bonne circulation des eaux.

Les dépôts Qc sont moins épais, à hétérogénéité latérale marquée, riches en éléments fins, notamment entre les cônes de déjection, et présentent des phénomènes d'encroûtement localisés.

Les alluvions actuelles Qal ou "D" généralement délavées, n'ont jamais une grande extension.

En somme, la nature lithologique des formations superficielles de notre région est favorable à la constitution de réserves d'eaux souterraines, mais la structure complexe du piémont exige une première retouche à ces vues sommaires.

Les collines d'alluvions anciennes près de Mehmandoust Qt_1 ne doivent pas être considérées comme une masse détritique importante. Elles correspondent à des anticlinaux axés sur les accidents, et le substratum rocheux risque d'être proche. Par contre, les zones affaissées peuvent contenir de fortes épaisseurs alluviales. Ces fosses sont certainement limitées latéralement par des plans de failles très redressés. Ainsi, la répartition des masses alluviales anciennes est inégale en raison de la tectonique.

5.3.2. Géomorphologie et particularités hydrogéologiques

Il est probable que tous les terrains alluviaux sont saturés à partir d'une certaine profondeur; cette profondeur croît avec l'étagement des glacis, si bien qu'il est pratiquement impossible de savoir où se trouve le niveau des eaux souterraines dans les alluvions Qt_1 ou "A".

Ailleurs, les masses alluviales d'âges différents ont des comportements différents; les limites d'emboîtement des formations forment des écrans à perméabilité variable, si bien que les échanges en eaux souterraines ne s'en trouvent pas facilités. Les formations les plus intéressantes sont des masses alluviales importantes, en liaison plus ou moins directe avec des dépressions tectoniques.

5.3.3. Etude des conditions aux limites et de milieu des aquifères

5.3.3.1. Les conditions aux limites

Au Nord, l'aquifère général de la région est limité par le grand accident qui permet aux différentes formations des montagnes de chevaucher les formations alluviales. Cet accident n'a pas un effet drainant très marqué. Les puits situés dans la zone de Nosrat-Abad ne sont pas influencés par l'effet d'écran dû à l'existence d'accidents tectoniques de direction nord-sud. Les puits situés dans la zone de Kalavan ($n^{\circ}19-20$) sont influencés par l'effet d'écran vers le village de Babavali où se situe le puits $n^{\circ}16$, car on a la même situation tectonique et les mêmes conditions limites que pour la zone de Nosrat-Abad.

Notre plaine est limitée au Sud par des reliefs formés de formation paléogènes et les zones d'évaporation sont une autre condition locale.

5.3.3.2. Les conditions de milieu de l'aquifère

L'étude hydrogéologique de la plaine de Mehmandoust a montré des cas particuliers, en raison de l'hétérogénéité des formations alluviales, de leur inégale répartition et de la complexité géologique et géomorphologique.

Les limites entre deux formations alluviales peuvent constituer des surfaces de discontinuité.

Comme l'a montré Engalenc en 1968 dans son étude sur l'hydrogéologie des formations alluviales de Téhéran, en profondeur et semi-profondeur, le système des failles qui découpe le piémont à une importance particulière sur la répartition des eaux souterraines et leur exploitation. Ces failles font remonter des terrains à comportement imperméable et sont autant d'écrans étanches qui s'opposent à l'écoulement des eaux et qui sont défavorables à leur exploitation. Le cas des puits secs $n^{\circ}1, 20, 19$ peut être dû à ce phénomène; ces puits sont dans un compartiment affaissé entre deux failles étanches.

Les collines Qt_1 ou "A" se comportent comme des terrains à tendance imperméable, même si ces terrains sont susceptibles de former de bons aquifères.

5.4. LA SURFACE DES EAUX SOUTERRAINES

Introduction

La nappe de la plaine de Mehmandoust-Damghan est une nappe à surface libre relativement profonde. Les recherches effectuées n'ayant jamais permis d'isoler plusieurs nappes superposées indépendantes, il ne paraît pas justifié de distinguer la nappe phréatique d'éventuelles nappes profondes.

Nous parlerons donc de la nappe de la plaine de Mehmandoust pour désigner la nappe des formations alluviales que nous considérons comme unique mais qui, toutefois, est à séparer d'éventuelles nappes contenues dans le substratum et qui n'ont pas été reconnues.

5.4.1. Inventaire systématique des points d'eau

L'inventaire des points d'eau a fait l'objet d'une fastidieuse enquête personnelle. L'inventaire est assez complet et correspond à l'état des points d'eau en 1976. La densité des points dans la plaine est assez faible; certaines zones (entre Mehmandoust et Nosrat-Abad) sont désertes. Les puits ont d'imposantes installations de pompage qui ne se prêtent pas, par construction, à des mesures.

Nous avons recensé tous les puits d'eau possibles de la région. Pour acquérir une connaissance aussi précise que possible de la nappe de la plaine de Mehmandoust et plus précisément:

- connaître sa profondeur sous le sol;
- connaître ses directions d'écoulement;
- connaître les débits prélevés;
- connaître la quantité des eaux.

Nous avons recensé les puits ou forages existants, les ghanates en exploitation dans la plaine, les sources.

Les prélèvements d'échantillons d'eau ont été systématiques pour tous les points d'eau; par la suite ces échantillons ont été analysés au Laboratoire de la Société de Métallurgie de Chahroud.

Nous avons aussi effectué une campagne de nivellement des puits de surface dont nous avons parlé dans le premier chapitre.

Pour chaque puits et forage visité, on a établi une fiche sur laquelle on a porté:

a) Les caractéristiques des puits

- repère de mesure (margelle ou terrain naturel)
- hauteur de la margelle
- profondeur du plan d'eau
- profondeur totale du puits
- diamètre intérieur du puits
- tranche d'eau
- propriétaire, date du forage

b) L'équipement

- rudimentaire ou moderne
- seau ou moto-pompe
- caractéristique des motos pompes

c) L'utilisation

- alimentation urbaine
- alimentation humaine
- alimentation animale
- besoins agricoles (superficie des terres cultivées)

d) Régime d'exploitation

- débit instantané du pompage en l/s
- durée du pompage: nombre d'heures/ jour; nombre jours/mois; nombre de mois/an.
- débit d'exploitation annuel

5.4.1.1. La carte piézométrique

Généralités

Pendant l'année 1976, une campagne de mesures piézométriques a été soigneusement réalisée sur les points existants. Nous avons mesuré 2 fois par mois les niveaux statiques, la température et la conductivité électrique de chaque point d'eau.

La fluctuation de la nappe en "hautes eaux" et "basses eaux" est tellement faible que nous sommes obligé de présenter seulement une carte piézométrique proche des "basses eaux".

La surface piézométrique est fortement influencée par la topographie, les conditions de milieu et aux limites. Toutes ces conditions dépendent étroitement des facteurs géologiques.

- Le piémont est constitué par une série de collines qui sont autant de conditions perturbantes pour les écoulements: s'il ne fait aucun doute que les formations anciennes (Qt_1) et parfois Qt_2 sont saturées en dessous d'une certaine profondeur, il est aussi certain que les eaux souterraines suivent des directions d'écoulement préférentielles.

- Nous ne connaissons pas de points d'eau dans les alluvions Qt_1 .

Les eaux actuellement exploitées dans la plaine de Mehmandoust, sont celles qui sont contenues dans les formations alluviales Qt_2 . Les puits-mère des ghanats dans les formations Qt_2 et les ghanats exploitent les eaux de nappes à faibles débits.

Le tracé des courbes isopièzes sur la carte (planche n°9) dressée permet de distinguer deux zones:

a) Le piémont de Mehmandoust

C'est une partie de la plaine située au Nord de la route de Damghan-Chahroud. La nappe dans cette zone, et dans le secteur de Nosrat-Abad, est caractérisée par un fort gradient hydraulique moyen de l'ordre de 1/10 par rapport aux autres zones. La direction générale d'écoulement est approximativement Nord-Ouest - Sud-Est.

L'alimentation de la nappe dans ce secteur se fait à partir des reliefs et surtout de la source Nosrat-Abad.

Le gradient hydraulique diminue vers l'Est du village de Nosrat-Abad et atteint une valeur de 1/25 .

L'alimentation de la nappe vers l'Est dans les secteurs de Talu et Mehmandoust se fait à partir des eaux de l'oued et aussi de l'oued pérenne de Sarkhan.

Après avoir dévié une partie de cet oued au niveau de la ville de Mehmandoust le niveau statique, dans le piézomètre n°1 situé au milieu du centre industriel de Mehmandoust, a remonté d'environ 40cm.

b) La plaine limoneuse

La pente topographique étant plus douce, les gradients sont plus faibles. La poussée des eaux du cône continue jusque dans le Sud.

Dans l'extrême Sud-Ouest de la carte piézométrique planche n°9, il existe un apport depuis la région de Damghan vers l'Est. La direction des écoulements dans la plaine limoneuse se fait du Nord-Ouest vers le Sud-Est.

Cette zone correspond à une anomalie très marquée. Elle est due à l'existence de petits villages qui sont abondamment alimentés par un puissant réseau de ghanats depuis des années. Mais cette anomalie est soulignée par l'existence d'une zone magnésienne (voir chapitre physico-chimique) qui semble montrer que le substratum dolomitique joue un rôle dans l'alimentation de cette région.

5.4.1.2. Carte de profondeur de la nappe

La planche n°10 est une carte indiquant la profondeur sous le sol de la nappe de la plaine de Mehmandoust. Sur cette carte on remarque que:

- La profondeur de la nappe est supérieure à 40m sur toute la bordure Nord-Nord-Est et Nord-Ouest de la plaine. Elle dépasse même 100 mètres.

Nous avons une anomalie remarquable des courbes dans la zone des collines Qt_1 qui peut être due à l'influence topographique.

Au Sud et au Sud-Ouest, la nappe est moins profonde, et les profondeurs rencontrées varient de 40 à 10 mètres.

Dans le kavir sud, la nappe affleure, mais l'intense évaporation empêche la formation de flaques d'eau; sous les croûtes de sel, on trouve l'eau vers 50cm. Toutes les profondeurs décroissent quand on se dirige vers la zone de "kavir".

En conclusion, la nappe de la zone de Mehmandoust a des profondeurs qui peuvent varier entre 10 et 150 mètres, selon les régions.

La profondeur est un facteur limitant pour le choix des zones à irriguer par pompage des nappes d'eaux souterraines du point de vue de la rentabilité des forages d'exploitations.

5.4.1.3. Les variations de la surface des eaux souterraines

Les variations peuvent être considérables localement.

Saisonnement des variations de l'ordre de plusieurs centimètres existent. Les basses eaux se situent en automne, dans la première semaine de Novembre. Les hautes eaux doivent se situer en Avril-Mai; mais dans l'état actuel d'exploitation des eaux souterraines, il est difficile d'évaluer ces variations, les pompages étant très actifs pendant la période sèche, les hautes eaux correspondent avec la fin de la période à pompage réduit. Localement, l'état normal de la surface des eaux souterraines correspond avec le niveau dynamique, la nappe étant constamment rabattue.

5.4.1.4. Alimentation de la nappe des alluvions

L'alimentation de la plaine de Mehmandoust peut se faire

- à partir des infiltrations des eaux météoriques;
- à partir des eaux de crue des oueds;
- à partir du substratum.

a) Infiltration des eaux météoriques

Dans le chapitre consacré à la climatologie de la région de Damghan nous avons mis en évidence que dans la plaine de Mehmandoust le taux d'évapotranspiration réelle est supérieur aux précipitations. Donc il n'y a probablement aucune infiltration directe des eaux météoriques sur la plaine même. Mais l'infiltration directe des eaux de précipitations sur les massifs bordant la plaine peut jouer un rôle intéressant, et nous en reparlerons plus loin avec des données quantitatives.

b) Alimentation à partir des eaux de ruissellement

Les eaux de ruissellement des oueds contribuent largement à l'alimentation des nappes de la plaine de Mehmandoust, mais généralement ces cours d'eau ne fonctionnent qu'en périodes de crue.

Ce sont essentiellement les eaux de crues des oueds drainant les massifs bordiers du Nord de la plaine qui contribuent essentiellement à l'alimentation de la plaine.

Les eaux de la Rud-é-Sarkhan, qui draine le massif de Tazareh, servent à l'alimentation de la nappe de la plaine. Les torrents temporaires qui drainent les massifs du Nord, Nord-Est et Nord-Ouest alimentant aussi les nappes de la plaine. Nous avons analysé les données hydrométriques de notre station sur la rivière Sarkhan dans le chapitre précédent (le ruissellement).

c) Alimentation à partir du substratum

L'alimentation des nappes de la plaine de Mehmandoust peut aussi se faire à partir du bedrock ou par son intermédiaire dans les zones suivantes:

au Nord-Ouest de la ville de Mehmandoust dans la zone de Nosrat-Abad et dans la zone de Talu et à l'Est de la ville de Mehmandoust par les formations fissurées du Cambrien. L'étude de la chimie des eaux et l'étude isotopique confirment cette alimentation;

- Dans la vallée de Nosrat-Abad, les nappes sont alimentées par les eaux provenant des calcaires du Jurassique supérieur ou du Crétacé au Nord de la plaine.

5.4.1.5. Conclusion

On peut conclure que l'alimentation de la plaine de Mehmandoust se fait pour une part importante à partir des eaux météoriques qui s'infiltrent dans les fissures des massifs bordant la plaine. Cette infiltration se fait chaque fois que la nature pétrographique du terrain est convenable. L'alimentation à partir du bedrock ou par son intermédiaire est également certaine mais, on manque d'informations sur des apports en eaux à partir du substratum vers les nappes de la plaine.

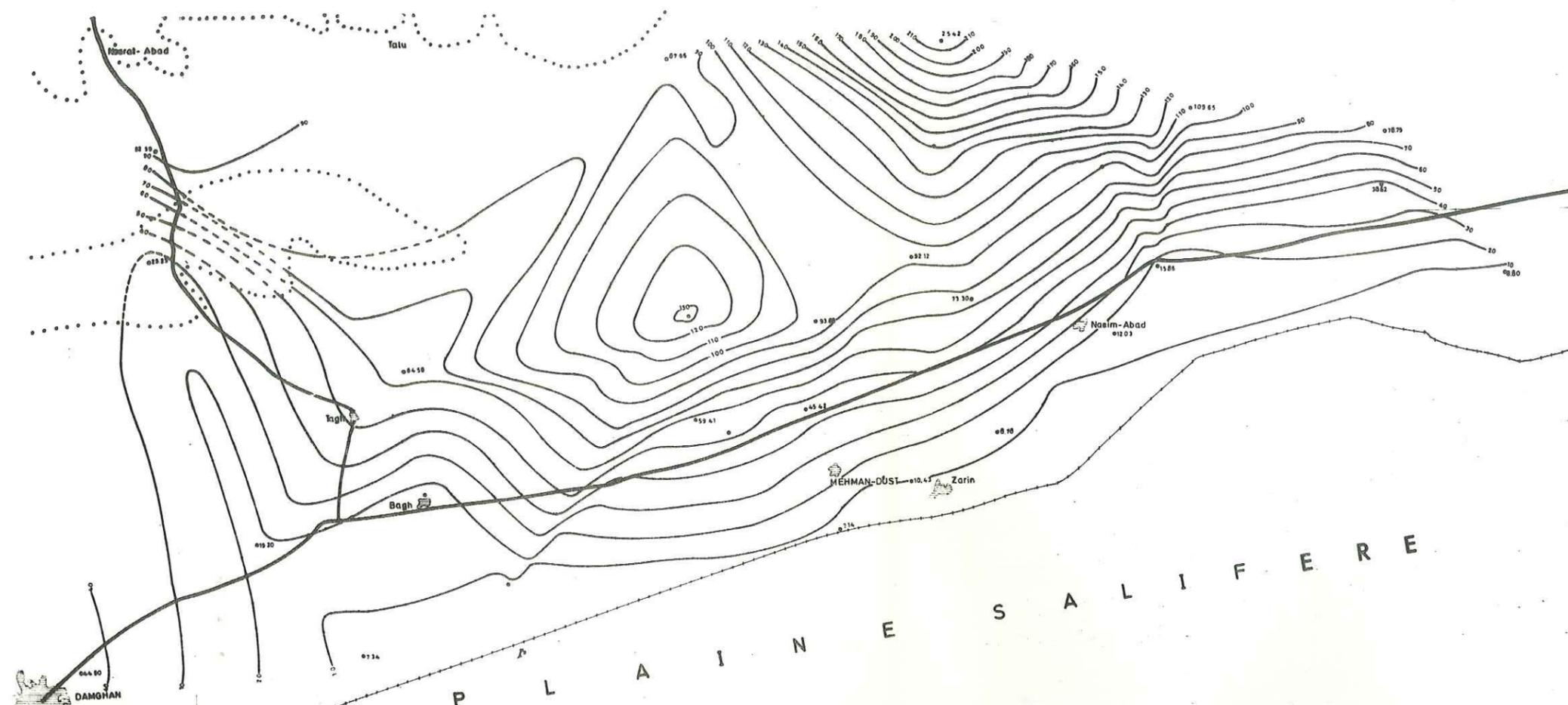
5.5. LES MOYENS D'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES

5.5.1. Les puits profonds

Il existe deux types d'exploitations des eaux souterraines: les galeries souterraines ou ghanats, qui sont les moyens traditionnels encore en usage, et les puits ou forage qui sont très récents. Les galeries drainent depuis des siècles, par contre les puits vont chercher l'eau à de grandes profondeurs, et sont capables d'extraire de grands volumes d'eaux.

D'une façon générale, les puits n'existent dans la partie haute de la plaine de Mehmandoust que depuis l'année 1974. Les villages qui sont situés au Sud de notre région et près de la route Damghan-Chahroud, utilisent l'eau de leur ghanat et il y a une dizaine d'années qu'on a commencé à établir les puits profonds et demi-profonds.

Cela tient à des facteurs techniques, économiques et à l'évolution des idées.



LEGENDE

- Courbe d'égales profondeurs
- Route asphaltée
- Chemin de fer
- Limite de la plaine
- Villa-Village
- Route non asphaltée

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST DAMGHAN - IRAN
Par. M. MAHVI

Echelle 0 2.5 Km

EGALES PROFONDEURS DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE.

PLANCHE no 10

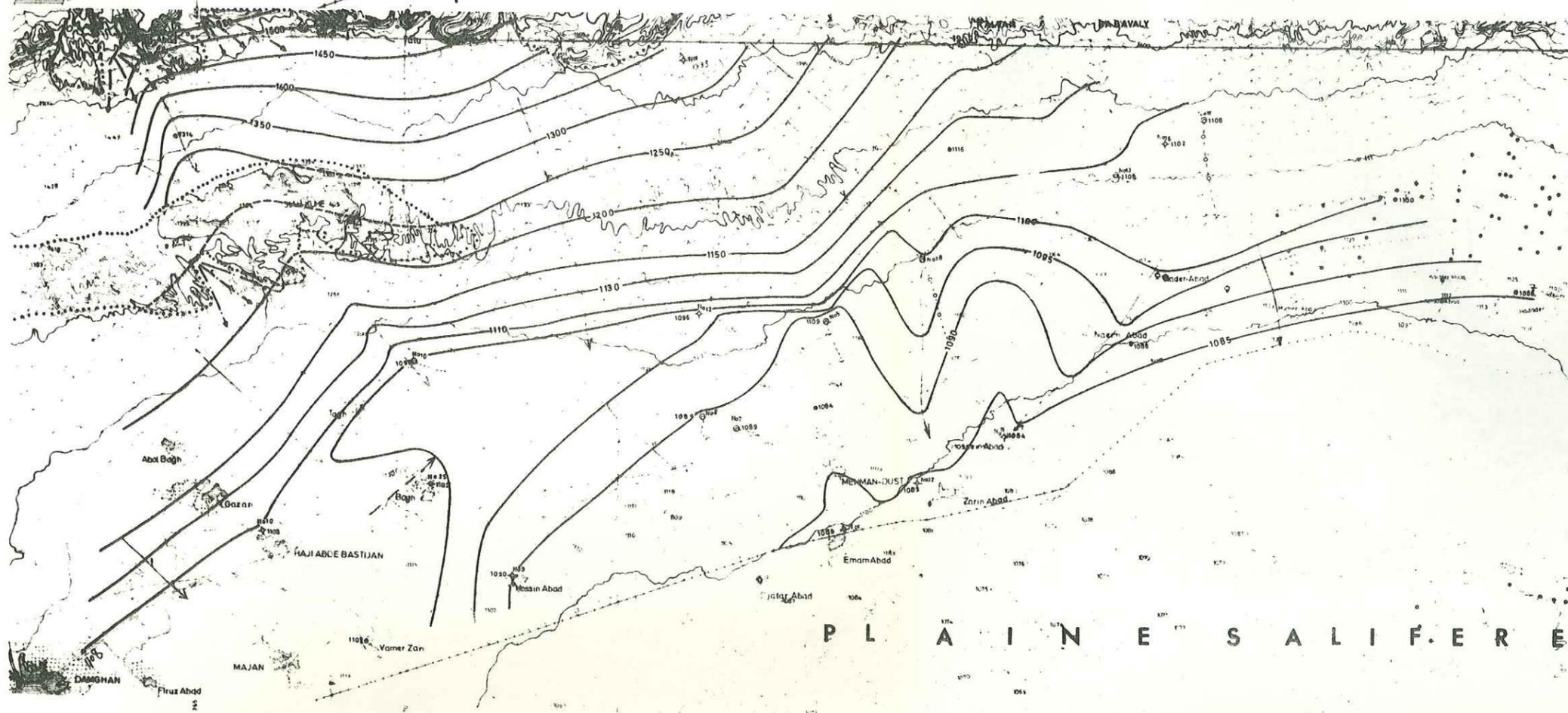


PLANCHE no 9

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST DAMGHAN, IRAN PAR. M. MAHVI
CARTE PIEZOMETRIQUE
1976

Echelle 0 2.5 Km

LEGENDE

- Courbe Iso Pieze et Sa Valeur
- Sens d'écoulement des eaux
- Route asphaltée
- Chemin de fer
- Limite de La Plaine
- Villa-Village

5.5.2. Les puits creusés à la main

Il existe une autre catégorie de puits dans notre région, les "Tchahdasti" ou les "Tchah nim amigh". Ces puits sont tous creusés à la main, avec un diamètre allant de 75 à 100 cm. Les moyens de creusement sont rudimentaires. Les "tchah nim amigh" sont les puits "semi-profonds" dont la profondeur peut varier de 30 - 40 m à 60 - 80 m. Ils sont dotés de pompe plus faibles, refoulant des débits généralement inférieurs à 30 l/s. Ces puits sont répan- dus dans toute la région en raison du peu de cherté de la main d'oeuvre locale. Il existe un prix forfaitaire assez faible pour la longueur du puits stérile. Les prix augmentent et sont calculés au mètre dans la zone de saturation. Il est rare que la hauteur de l'eau dans le puits dépasse deux mètres. Les "tchah dasti" sont les puits peu profonds. Ils vont de 5 à moins de 30 m. Ils sont localisés naturellement dans les zones où la surface de l'eau est peu profonde.

Par suite, ces puits sont fréquents dans les villages du sud (dans chaque maison). Mais on en trouve dans des zones privilégiées comme la dépression de la plaine salifère du Sud. Ces puits collectent de faibles quantités d'eau. Il est fréquent qu'une ou plusieurs galeries rayonnantes du type ghanat fournissent un apport supplémentaire. Les puits creusés à la main pénètrent les niveaux aquifères sur de faibles épaisseurs: les amplitudes annuelles ou interannuelles suffisent pour les assécher. Ils sont fortement influencés par les forages profonds. Ce sont ces puits que l'on doit recreuser annuellement dans le piémont.

5.5.3. Les galeries souterraines ou ghanats

Historique - Les ghanats sont en Iran ce que sont les foggaras en Algérie (VIIe siècle) ou le kariz d'Afghanistan. L'origine de ces galeries drainantes est partagée entre les chinois et les Iraniens. Mais les ghanats iraniens semblent avoir une origine très ancienne. Le palais de Persépolis a certainement été alimenté par des ghanats vers 500 avant J.C.. Leur grand développement a eu lieu avant l'ère Islamique. On trouve des ghanats dans tout l'Iran aride, on en trouve aussi dans le Sud de l'U.R.S.S. (Turkmenistan - Azerbaïdjan).

5.5.3.1. Définition et description

Un ghanat est une galerie souterraine qui draine les eaux souterraines situées en général dans les piemonts pour les amener par gravité à un point situé plus bas, dans une zone dépourvue d'eau (ou ayant des eaux salées). Mais il existe des ghanats dans des zones planes. Des puits verticaux sont creusés sur le trajet de la galerie (tous les 30m environ). Ils servent à l'aération de la galerie et à la remontée des déblais ou de la vase.

Le puits situé le plus en amont est "le puits-mère (Madar-Tchah). Vers l'aval la galerie s'ouvre sur la source qui est à ras du sol. La "source" est souvent dans la propriété ou le village même; mais l'eau peut-être amenée par un canal depuis la source jusqu'au lieu d'utilisation.

Le diamètre de la galerie est faible (il permet seulement le passage d'un homme accroupi).

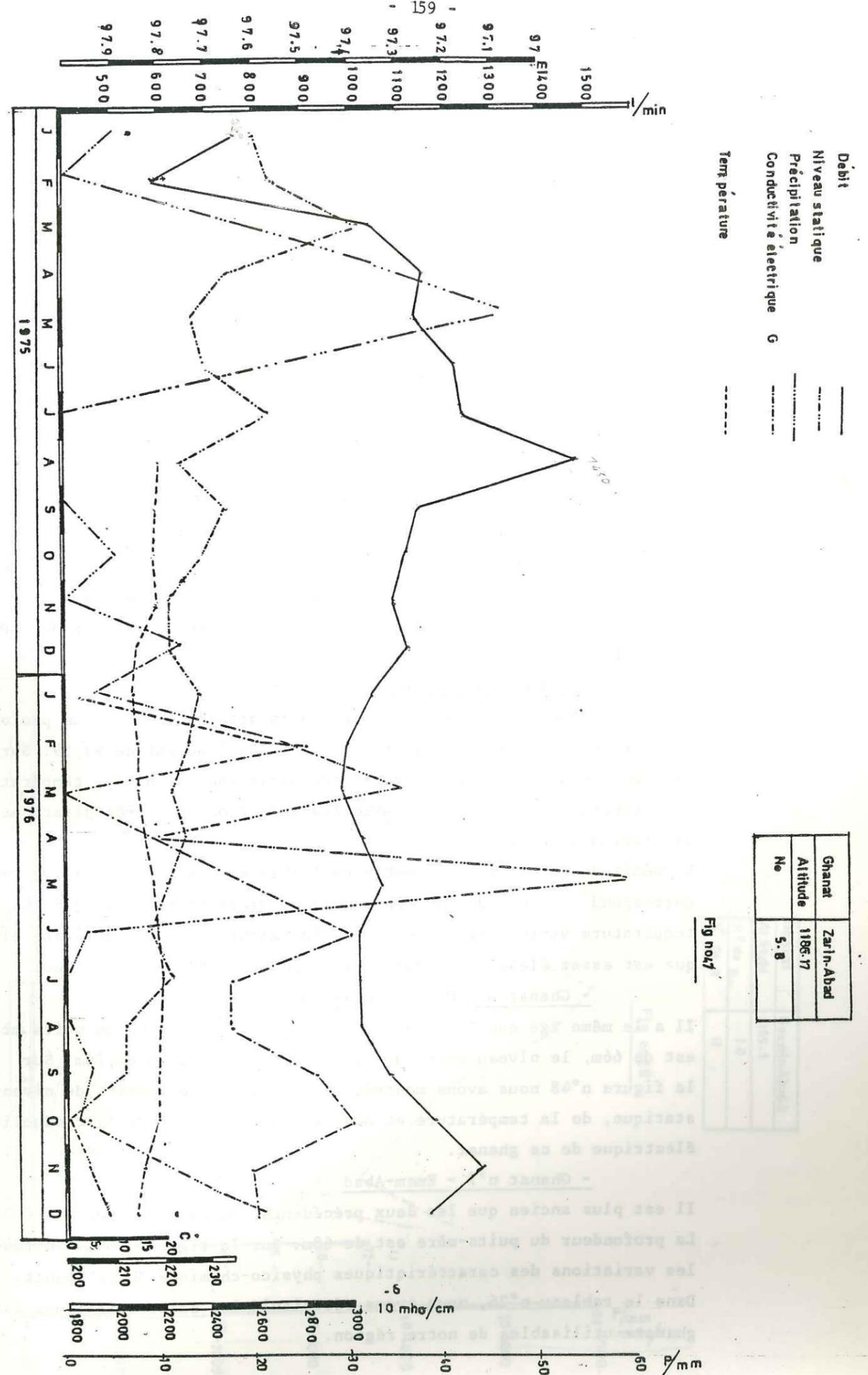
La profondeur des puits verticaux varie beaucoup. C'est naturellement le puits-mère qui est le plus profond. Toutefois, certains ghanats traversent en ligne droite des reliefs, ce qui a pour effet d'accroître la profondeur de la galerie. Dans la plaine de Mehmandoust, la profondeur des puits-mère dépasse 60m, et il y a aussi les puits-mère avec une profondeur atteignant 100m. Dans certaines parties de l'Iran, le puits-mère peut atteindre 200m (250m à Gounabé dans le Khorassan d'après A. Egbali). Dans les limites de la région étudiée, nous avons dénombré quelquefois 50 ghanats ou branches majeures de ghanats. Ceci représente environ 140km de galeries horizontales. Si l'on compte un puits vertical tous les 75m, il doit y avoir environ 1867 puits verticaux.

En prenant pour longueur moyenne d'un puits 25m, aux 140km de galeries, il faut ajouter 47km de puits verticaux. Le total représente le nombre de kilomètres creusés soit 220km. D'après ces chiffres la longueur moyenne d'un ghanat est de 3km. Le ghanat le plus long de la région est celui du Hossein-Abad n°10 avec 6km de longueur.

5.5.3.2. Les ghanats dans le piemont

Il n'y a pas de nombreux ghanats dans les piemonts de Mehmandoust. La raison en est fort simple. Les eaux souterraines sont trop profondes, les ghanats drainent de faibles quantités d'eau contenues dans les poches alluviales modernes situées dans les thalwegs qui incisent les alluvions plus anciennes.

Ces ghanats ont de faibles débits et certains sont saisonniers. D'autres ghanats drainent les bordures de cônes. Il y a rarement des puits-mères dans les cônes de déjection importants, en raison de la grande profondeur de la surface piézométrique. Les ghanats qui s'alimentent dans les dépressions synclinales du piemont



5.5.3.3. Répartition des ghanats dans la plaine de Mehmandoust

La formation Qt_2 dans la plaine de Mehmandoust représente le domaine des galeries souterraines en raison de la moindre profondeur des eaux souterraines, de la présence de sols cultivables, et de la faible dureté du terrain.

Chaque village possède un ou plusieurs ghanats; quelques villages possèdent des ghanats d'origines diverses: (ghanat de Ghader-Abad avec deux puits-mères 13 et 12) Nous verrons plus loin les caractéristiques de quelques ghanats importants de notre région.

Ces ghanats introduisent des eaux relativement peu salées dans des zones sud où les eaux souterraines sont salées. Les habitants des villages de bordure de "kavir" utilisent les eaux de ces ghanats venant de l'amont pour la consommation humaine.

Dans la plaine la répartition et l'allongement des ghanats donnent des indications sur la répartition des eaux souterraines. Il est frappant, que dans l'ensemble, la direction des galeries suit fidèlement celle des filets d'eau (décelé par la carte piézométrique - planche n°9). Ci-dessous nous trouvons quelques indications sur les plus importants ghanats de notre région.

- Ghanat n°5 - Zarin-Abad

La date de fonctionnement de Ghanat Zarin atteint 200 ans. La profondeur du puits mère est de 97.67m et le niveau statique est de 97.59. Sur la figure n°47, nous avons montré les variations du débit, température et conductivité de ce ghanat avec les variations des précipitations à la station de Damghan.

Le débit du ghanat en 1976 est plus faible que le débit de 1975, ceci correspond à une diminution du niveau piézométrique en 1976. La température varie entre 15 et 20°C. La valeur de la conductivité électrique est assez élevée ; varie entre 1800 et 3000 micro mho/cm.

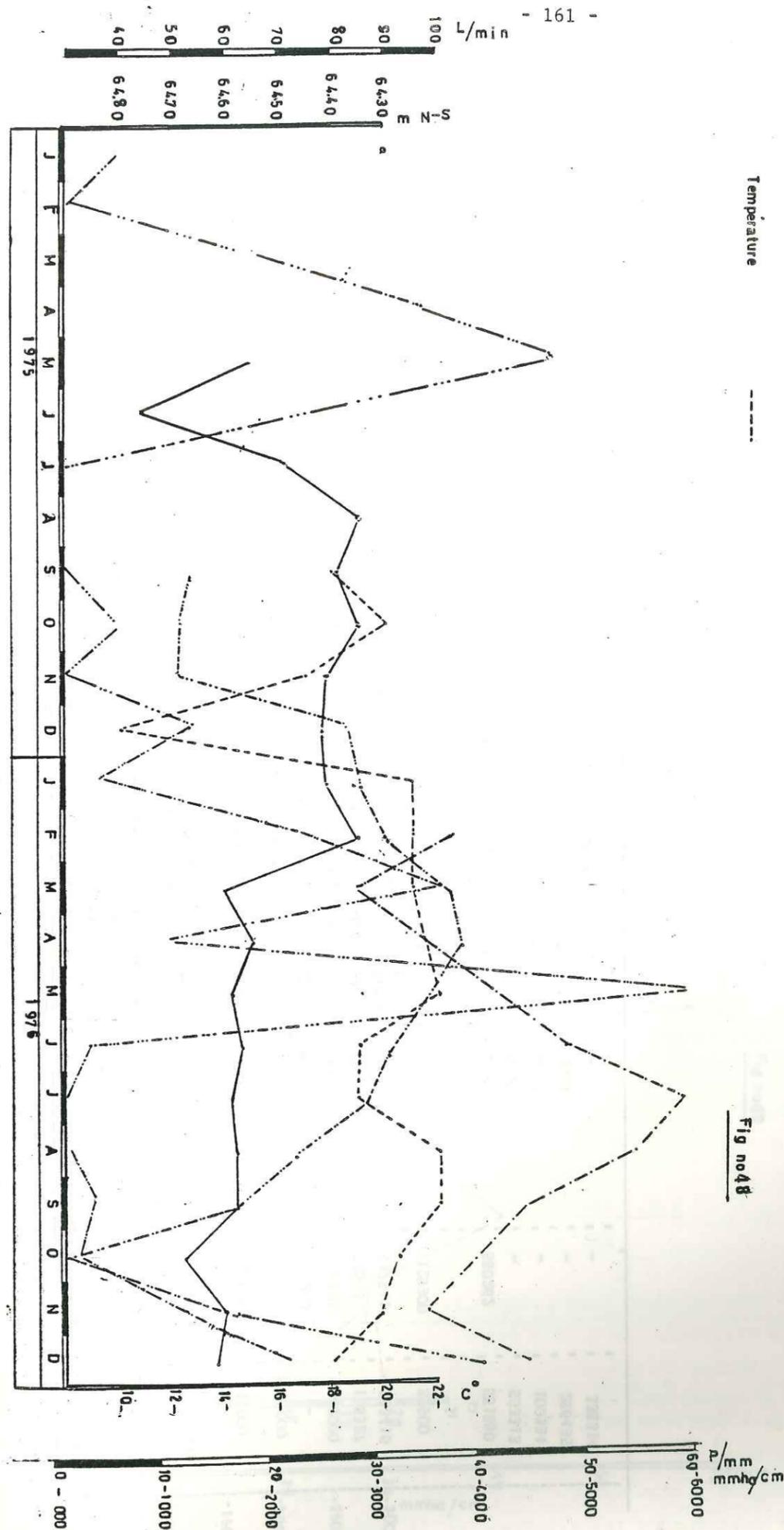
- Ghanat n° 10 - Hossein-Abad

Il a le même âge que le ghanat précédent. La profondeur du puits mère est de 66m, le niveau statique oscille entre 64,35m à 64,76m. Sur la figure n°48 nous avons montré, les variations du débit, du niveau statique, de la température et des précipitations et de la conductivité électrique de ce ghanat.

- Ghanat n°7 - Emam-Abad

Il est plus ancien que les deux précédents, fonctionnant depuis 500ans. La profondeur du puits-mère est de 68m. Sur la figure n°49 on trouve les variations des caractéristiques physico-chimique de ce ghanat. Dans le tableau n°26, nous avons récapitulé les caractéristiques des ghanats utilisables de notre région.

*Δ débit du puits mère
conductivité, à ce puits
5000 est affaibli
conductivité relative du
débit.*



Ghanat	Hossein-Abad-h
Altitude	1159.5
N° de G	10
N° de R	11

Fig no 48

Débit ———
 Niveau statique - - - - -
 Précipitation - - - - -
 Conductivité électrique - - - - -
 Temperature - - - - -

Ghanat	Emam Abad
Altitude	1134-21
no de G	7
no de R	9

Fig no49

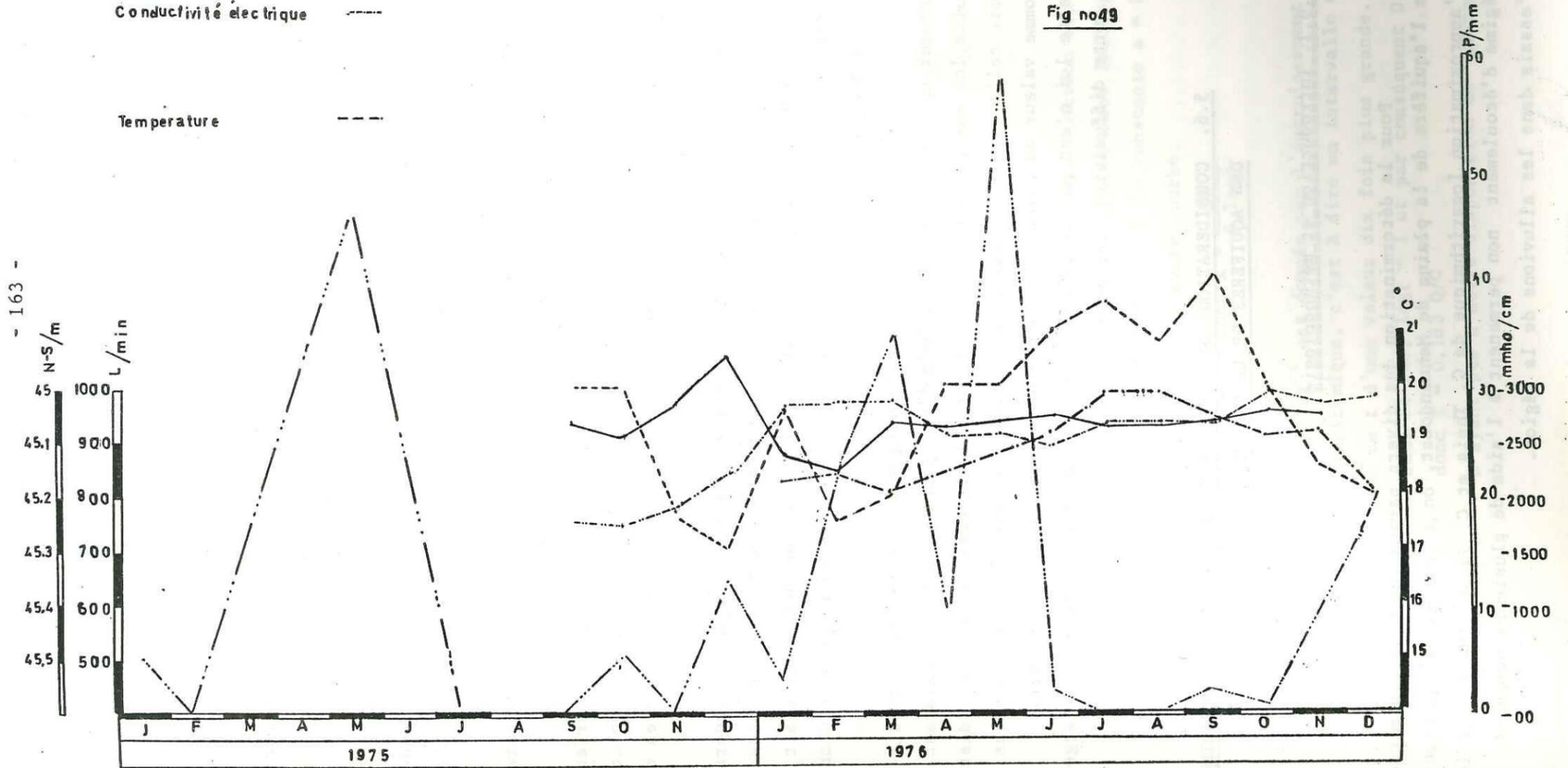


TABLEAU n°26

N° de ghanat	Localité	Age de Ghanat	Profondeur de puits-mère	1975			1976			Conductivité électrique moy m moh/cm	Prélèvement de nappe par ghanat m ³ /année	
				N-S-moyen	Débit moy l/s	t°c° moy	N-S moy	Débit moy l/s	t°c° moy		1975	1976
8	Hossein-Abad	200	101,15	101,10	18,8	18,5	92,2	18	21	3540	593000	570,000
10	Hossein-Abad	500	65,32	64,50	1,1	15	64,60	1,3	20	4445	35000	41000
12	Ghader-Abad	40	76	-	-	-	75,7	1,25	22	2470	-	39000
13	" "	"	91	90	2,03	-	89,9	1,85	22	1090	640000	-
7	Emam-Abad	500	68	45,2	15	18,2	45,04	14	19,7	2195	773000	442000
17	Hadji-Abad	250	78	75,60	2,3	-	77	4,64	22	2900	72533	146327
8	Jd afar-Abad	200	61,15	61,10	14,2	-	59,20	18,5	19,4	2168	447811	583416
11	Hossein-Abad	200	119	116	4,10	-	109,6	1,9	20,5	1704	129300	59900
5	Hadji-Abdal											
5	Hossein											
5	Zarin-Abad	200	98	97,7	18,4	17,5	97,8	17,5	18	2536	580262	551880
27	Momen-Abad	-	-	-	-	-	64,50	17,5	24	6120	-	553313
28	-	-	-	-	-	-	78,67	3,18	21	4900	-	100334
33	Farah-Zad	-	-	-	-	-	23,16	9	19	3544	-	286435
35	Ali-Abad	-	-	-	-	-	54,8	10,7	21	-	-	338314

15 l/s ou 15 x 60 = 900 l/m.

5.3.3.4. Considérations hydrodynamiques générales

Au point de vue hydrodynamique, il faut souligner:

- qu'un ghanat est une galerie drainante dans sa partie amont, c'est à dire dans la partie qui intercepte la surface piézométrique.
- le reste de la galerie sert de conduit pour l'écoulement vers le point désiré.

Dans le piémont, la portion drainante est très courte par rapport à la portion "stérile" (en raison des pentes relativement élevées et de la localisation de la zone qui alimente).

Par contre, à l'aval de la plaine, là où les eaux sont peu profondes, la portion drainante peut constituer la majorité de la galerie. L'entretien de ce dernier type de galerie est très dangereux.

Dans la plaine, l'étagement des groupes de ghanats, introduit une alternance de zones de drainage et de zones d'infiltration.

Dans les portions drainantes, il faut s'attendre à ce que la surface des eaux souterraines soit déprimée. Dans la portion qui sert de conduit des infiltrations sont possibles, créant localement des remontées de la surface piézométrique.

Les ghanats de la plaine qui drainent les eaux de l'aquifère général, sont fortement influencés par les pompages profonds, semi-profonds ou peu profonds - exemple ghanat du village Babou-Chokat qui était sec après les forts puisages des puits de l'usine de sucre près de Chahroud il y a dix ans.

Il y a une loi ancienne coranique à ce sujet qui interdit de creuser un ghanat à moins de 200m d'un autre ghanat déjà existant. Cette loi est valable pour les puits. Il est curieux que cette distance soit celle qui est fréquemment utilisée en hydrogéologie classique comme valeur du rayon d'influence dans les nappes libres. Mais cette loi n'est pas réalisable, dans le cas des aquifères en charge à forte diffusivité (T/s grand).

5.6. CONSIDERATIONS SUR LES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST

5.6.1. Introduction et méthodologie

Pour la détermination des divers paramètres hydrodynamiques de l'aquifère de la plaine de Mehmandoust, on a appliqué l'équation d'approximation logarithmique de C. Theis et C. Jacob (1942) pour le régime d'écoulement non permanent à l'aide de plusieurs pompages d'essais dans les alluvions de la région.

Calcul de la transmissivité T et du coefficient d'emmagasinement S

Méthode de résolution graphique des formules de non équilibre:

La détermination des caractéristiques hydrogéologiques peut être effectuée par deux méthodes graphiques, en rapport avec la formule de non équilibre

$$\Delta = 0,183 \frac{Q}{T} \log \frac{2,25rt}{x^2 S} \quad (1)$$

ou plus généralement

$$\Delta = \frac{114,6Q}{T} w(u) \quad (2)$$

où w(u) est la (well function) du puits dans lequel $u = \frac{1,87 r^2 s}{Tt}$

Nous avons calculé la transmissivité à partir des courbes de rabattement et de remontée par la formule d'approximation logarithmique de Theis-Jacob.

A/ Méthode graphique d'approximation logarithmique

Plusieurs types de représentations graphiques de la formule de non-équilibre existent, mais nous allons utiliser uniquement la droite rabattement-logarithme du temps. Il est évident que la formule (1) peut s'écrire:

$$\Delta = 0,183 \frac{Q}{T} \left(\log \frac{2,25T}{x^2 S} + \log t \right)$$

C'est une fonction de la forme $y = a (\log b + \log x)$ dans laquelle la constante a est déterminée par $a = 0,183 Q/T$, et les variables sont $y = \Delta$ et $\log x = \log t$.

La droite représentant cette fonction est obtenue en portant sur un diagramme semi-logarithmique en abscisses les logarithmes du temps t et en ordonnées les rabattements Δ. La constante $a = 0,183 Q/T$ est donc déterminée par la tangente de cette courbe:

$$0,183 Q/T = \text{tang } x = \frac{\delta \Delta}{\delta \log t}$$

La valeur de $\delta \Delta / \delta \log t$ est donnée par l'accroissement du rabattement Δ dans un cycle logarithmique, c'est à dire un intervalle C séparant une valeur quelconque de t d'une valeur dix fois plus grande.

Dans ce cas, $\log t = 1$ et par conséquent $0,183 Q/T = C$ donc $T = 0,183 Q/C$

N'ayant pas à notre disposition de piézomètres au voisinage

des puits, le coefficient d'emménagement peut-être calculé par deux méthodes:

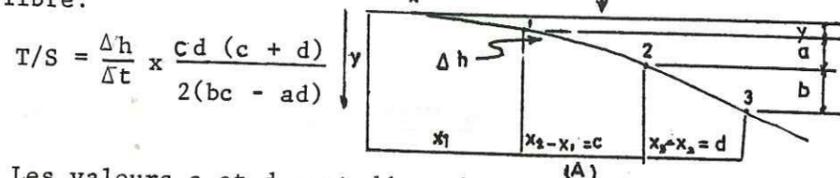
a) Dans un cas général, en choisissant un point arbitraire sur la droite représentative, et en introduisant ses coordonnées Δ et t dans la formule (1) et lorsque $0,183 Q/T = C$ donc

$$\Delta C \log 2,25 Tt / x^2 S = C \log 2,25 \frac{Tt}{S} \quad (\text{pour le puits pompé})$$

d'où S est la seule inconnue.

b) Calcul par la méthode de Rorabaugh

Le coefficient d'emménagement peut-être calculé à partir de l'équation établie par Rorabaugh (1960) dans le cas où l'on étudie trois piézomètres alignés sur une même ligne de courant dans un aquifère de grandes dimensions en régime d'équilibre:



Les valeurs c et d sont déterminées et mesurées à partir des cartes piézométriques en nappe basse. Les valeurs a et b sont les différences des niveaux d'eau que l'on peut déterminer aussi à partir de la carte piézométrique (a, b, c, d sont exprimés en mètre). Fig. A₁

Δt : est l'intervalle de temps entre nappe haute et nappe basse qui est exprimée en secondes.

Δh : est la variation du niveau d'eau entre la période de nappe haute et de nappe basse exprimée en mètre.

B/ Courbe de remontée

Supposons qu'un débit $+Q$ soit pompé dans le puits jusqu'à un instant où le pompage est arrêté. A l'arrêt du pompage, il est évident que le niveau piézométrique s'élève et le rabattement décroît. Tout se passe comme si le forage absorbait le débit Q et que cette quantité d'eau au lieu d'être expulsée était reversée dans le puits. Si t est le temps écoulé depuis le début du pompage et t' le temps écoulé depuis l'arrêt, nous pourrions écrire la formule d'approximation logarithmique (1) pour le rabattement correspondant au forage de débit $+Q$

$$\Delta = + 0,183 Q/T \log 2,25 Tt / x^2 S$$

et pour le rabattement correspondant au forage de débit $-Q$

$$\Delta = - 0,183 Q/T \log \frac{2,25 Tt'}{x^2 S}$$

Par addition des deux formules précédentes, nous avons:

$$\Delta = 0,183 \frac{Q}{T} \log \frac{2,25 Tt}{x^2 S} - \log \frac{2,25 Tt'}{x^2 S}$$

et

$$\Delta = 0,183 Q/T \log t/t'$$

La droite représentative de cette formule est obtenue de la même façon que celle de la droite rabattement - logarithme du temps. L'équation de cette droite est de la forme

$$y = a \log x$$

La constante est $a = 0,183 Q/T$ et les variables sont $y = \Delta$ et $\log x = \log t/t'$

Dans le cas d'une valeur quelconque de t/t' , séparée d'une autre valeur dix fois plus grande par un cycle logarithmique $\log t/t' = 1$ et

$$0,183 Q/T = C$$

$$T = 0,183 Q/C$$

Le coefficient d'emménagement n'apparaît pas dans la formule de la courbe de remontée. Celle-ci est donc indépendante de S .

5.6.2. Essais de pompage des principaux puits réalisés sur la plaine de Mehmandoust

5.6.2.1. Essais de pompage de puits n°II privé

Généralité: ce puits a été fait par un particulier. Pour mieux connaître les caractéristiques hydrodynamiques de la plaine limoneuse, nous avons fait un essai de pompage dans ce puits.

Ce puits est situé sur la plaine limoneuse près du village de Naim-Abad à environ 25 km à l'Est de la ville de Damghan près de la route.

Pour un débit égal 7,8 l/s avec un tubage de 305mm la rabattement était de 1,80m.

Droite de rabattement - logarithme du temps

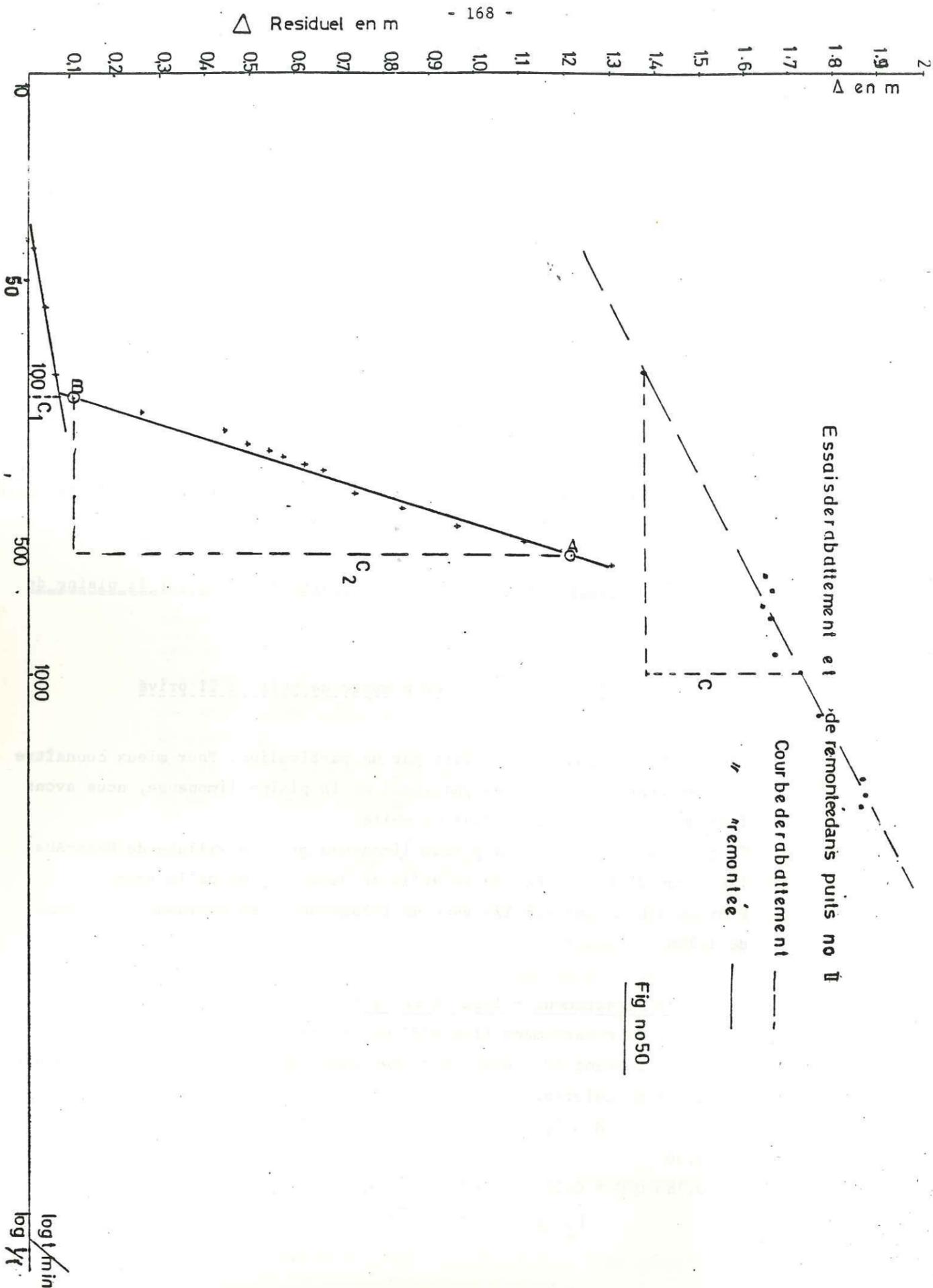
La courbe de rabattement (fig.n°50) montre des oscillations du niveau de l'eau qui peuvent être dues au commencement de pompage du puits voisin ou à l'arrêt de celui-ci.

$$Q = 7,68 \text{ l/s} = 7,68 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = 0,36$$

$$T = 0,183 Q/C = 0,183 \times 7,68 \times 10^{-3} / 0,36$$

$$T = 3,9 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$



Calcul de S

Pour le point arbitraire A, $t = 1000 \times 60$ secondes - $\Delta = 1,73$ m

$$\Delta = C \log 2,25 Tt/S \quad \text{Si } 2,25 Tt/S = x \quad \text{nous aurons}$$

$$\log x = 1,73/0,36 = 4,81$$

$$x = 64565,2$$

$$64565,2S = 2,25 \times 3,9 \times 10^{-4} \times 6 \times 10^4$$

$$64565,2S = 526,55$$

$$S = 526,55/64565,2$$

$$S = 0,81\%$$

Calcul de T par la courbe de remontée

Selon la courbe de remontée, nous avons deux étapes

(fig.n°50)

$$- C_1 = 0,11$$

$$T_1 = 0,0128 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$- C_2 = 1,86$$

$$T_2 = 0,183 \times 7,68 \times 10^{-3}/01$$

$$T_2 = 7,55 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

5.6.2.2. Essai de pompage du puits n° 12.

Généralités: Il est situé à 5km au N-W du village de Mehmandoust dans la formation Qt_2 de la plaine de Mehmandoust. Il a une profondeur de 200m. Le débit de ce puits a été de 4,48 l/s avec un tube de 6" le rabattement était de 8,3m.

La figure n° 51 présente l'essai de pompage de ce puits.

Droite de rabattement - logarithme du temps

La forme de la courbe de rabattement en fonction de $\log t$ présente deux étapes. Pour la première étape, en raison de mesures insuffisantes on ne peut calculer la valeur de T (fig.n°52).

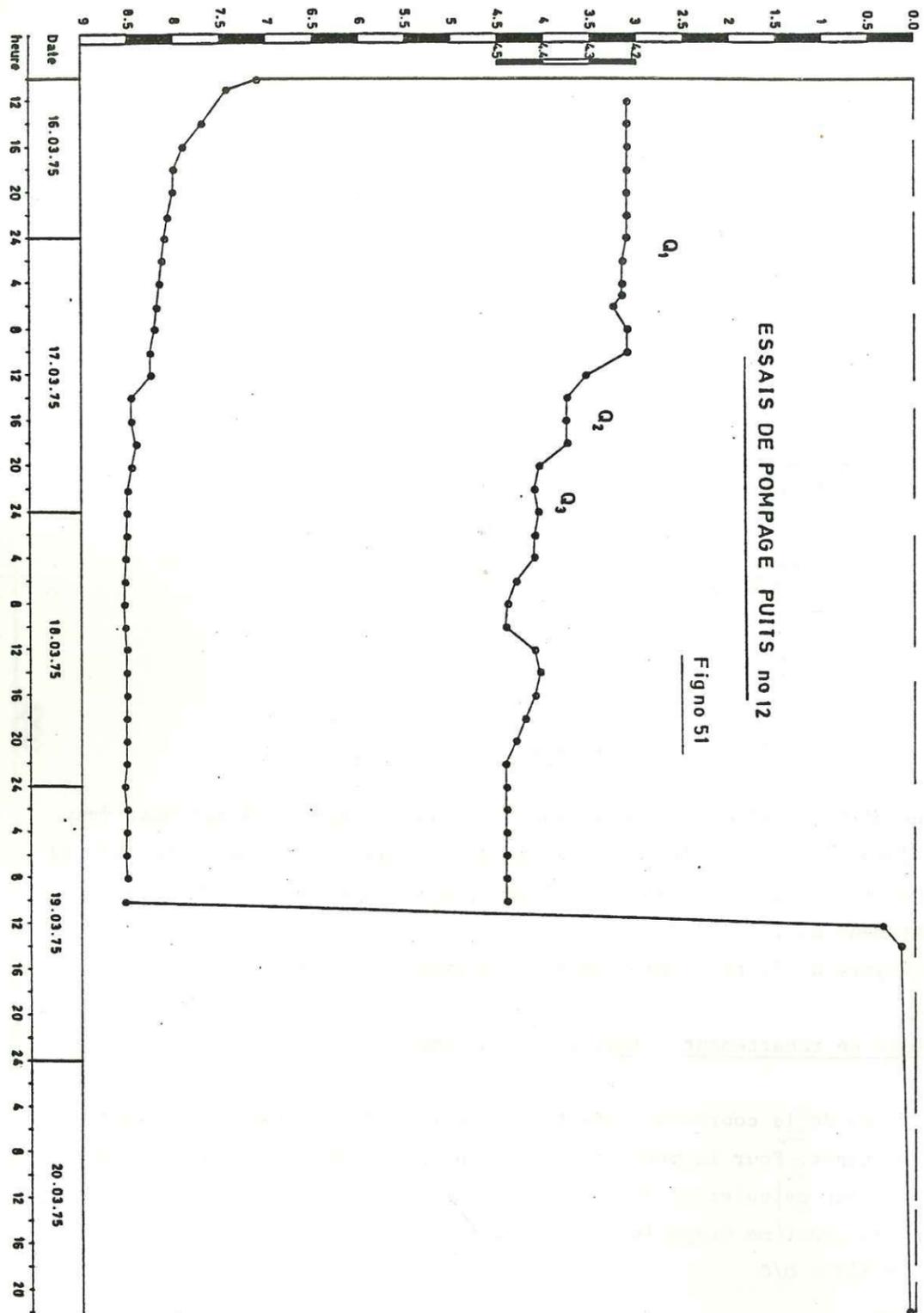
Dans la deuxième étape la transmissivité sera:

$$T = 0,183 \times Q/C$$

$$C = 0,7$$

$$Q = 4,48 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 1,17 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$



Courbe de remontée

La forme de la courbe de remontée présente aussi deux paliers successifs, on peut dire que ces paliers proviennent de changements de faciès des alluvions du point de vue de la granulométrie et des porosités verticales ou horizontales (fig.n°52).

- Calcul de T par la courbe de remontée de ce puits:

Première étape:

$$T = \frac{0,183 Q}{C_1}$$

avec $Q = 4,48 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

$$C_1 = 2$$

$$T_1 = 4,08 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

Deuxième étape avec

$$C_2 = 0,45$$

$$T_2 = 0,183 \times \frac{4,48 \times 10^{-3}}{0,45}$$

$$T_2 = 1,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Cette valeur de T est comparable avec celle de la courbe de rabattement. On peut dire que ces changements de T sont dus à la nature anisotrope de la zone aquifère qui alimente ce puits.

5.6.2.3. Essais de pompage du puits n°16

Généralités: Ce puits est situé sur la formation Qt₂ à 2,5km au Nord de la route Damghan-Chahroud, au lieu du village Ghader-Abad et à 12km au NE de la ville de Mehmandoust, à une cote environ 1217m. Il a une profondeur de 200m.

La figure n°53 montre le programme de l'essai de pompage de ce puits et les variations de débit et de niveau statique pour chaque phase de pompage.

Courbe caractéristique

Principe: La stabilisation du niveau à l'occasion de pompages effectués à des débits "Q₁, Q₂, Q₃" correspond à des rabattements "S₁, S₂, S₃". Le report des points représentatifs sur un graphique permet de construire la courbe caractéristique du puits. Cette courbe qui exprime le rabattement en fonction du débit, est une parabole.

Il faut ajouter que l'on établit cette courbe dans le cas des nappes libres et d'essais en régime permanent observés sur le puits seul.

A partir de cette courbe on peut définir les valeurs des débits spécifiques et critiques pour chaque puits.

Débit spécifique du puits: celui-ci est une expression simultanée des caractéristiques de l'ouvrage et de celle de l'aquifère qu'il exploite. Donc on peut caractériser l'ouvrage par le débit qu'il fournit pour un rabattement unité ou débit spécifique.

Débit critique, nous avons dit que la forme de la courbe caractéristique d'un puits est une parabole, mais pour de faibles rabattements, le premier tronçon de cette parabole peut-être assimilé à une droite. A partir de cette droite, dans la partie parabolique de la courbe, il y a un point déterminé, à la limite entre les deux parties de la courbe, à partir duquel l'accroissement de rabattement tend à devenir disproportionné par rapport à l'augmentation de débit.

Ce point définit donc, pour l'ouvrage et la nappe en cause un débit qu'il ne faut pas dépasser sous peine de voir la rentabilité de l'opération décroître. C'est le débit critique ou maximal.

Pour les essais de pompage prolongés, il est donc prudent de choisir un débit d'exploitation moindre. Il faut aussi dire que la courbe caractéristique du puits est l'expression graphique de la formule de Dupuit.

$$Q = 1,366 K \frac{H_2 - h^2}{\log R/r}$$

Nous avons réalisé des essais de pompage sur ce puits par débits croissants (tableau n°27 et figure n°54).

TABLEAU n°27 - Résultats de la courbe caractéristique

Palier de pompage	Q m ³ /h	Q critique m ³ /h	Q spécifique m ³ /h	NS m	Δ m	ND m	Durée de pompage: h
1r	24,58	25,2	8,64	122	3,44	125,44	22h6
2e	52,2	-	-	-	13,17	135,17	21
3e	60,37	-	-	-	16,57	138,57	67

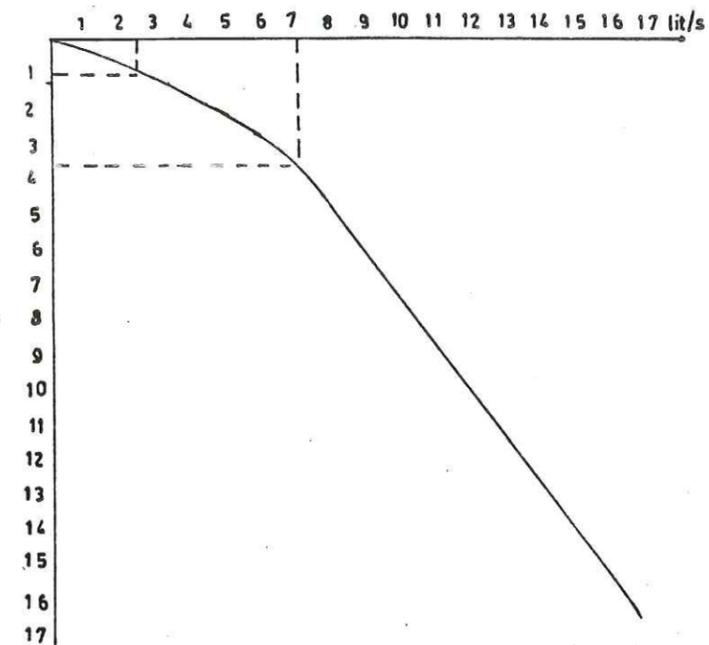


Fig. n°54 COURBE CARACTERISTIQUE DE PUIITS no 16

Droite de rabattement - logarithme du temps

Sur cette courbe nous avons deux étapes successives (fig.n°55)

Pour la première étape nous avons:

$$C = 0,2$$

$$Q = 0,016 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T_1 = \frac{0,183 \times 0,016}{0,2}$$

$$T_1 = 0,015 \text{ m}^2/\text{s}$$

Dans la deuxième étape, la transmissivité sera:

$$C = 05,4$$

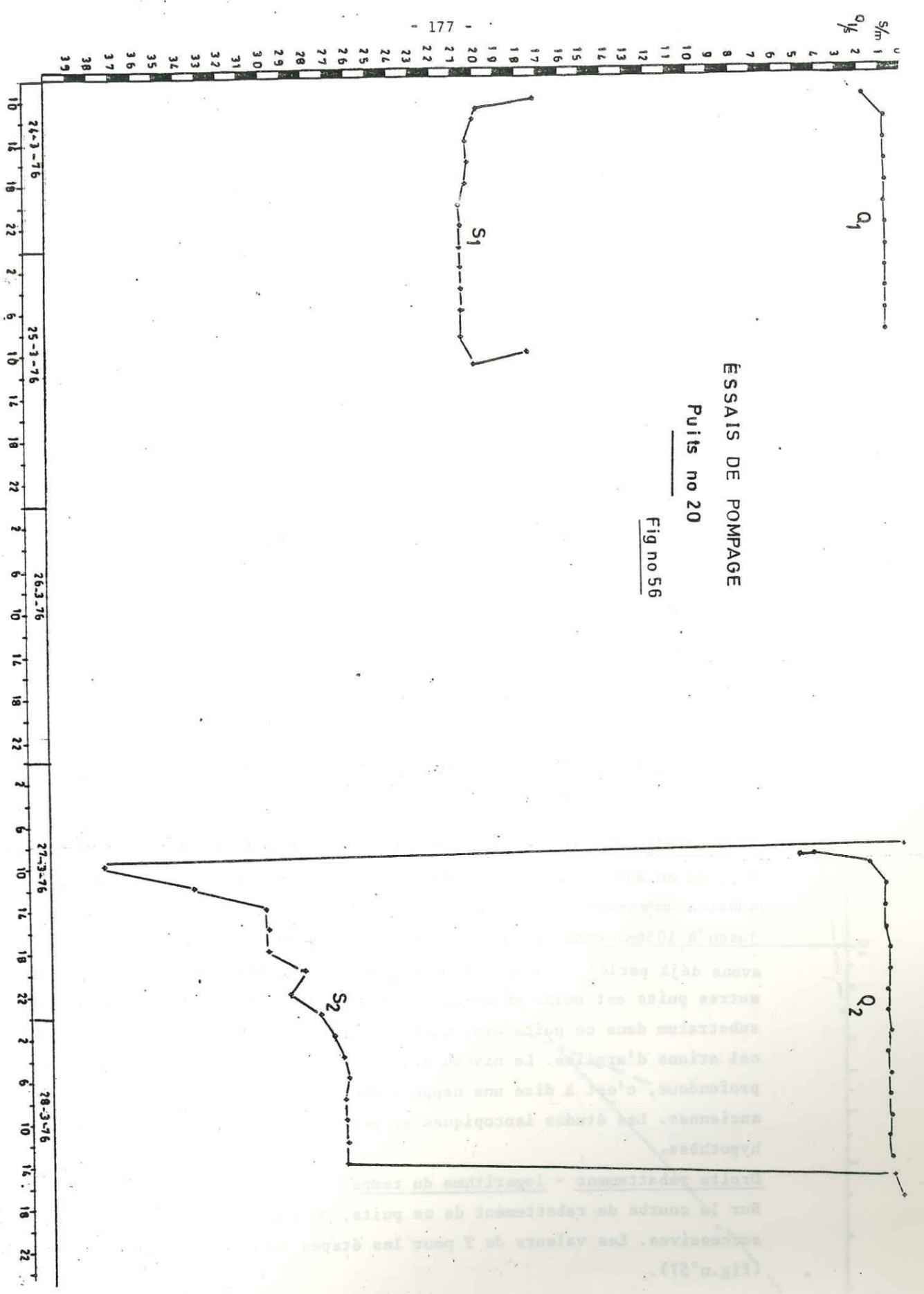
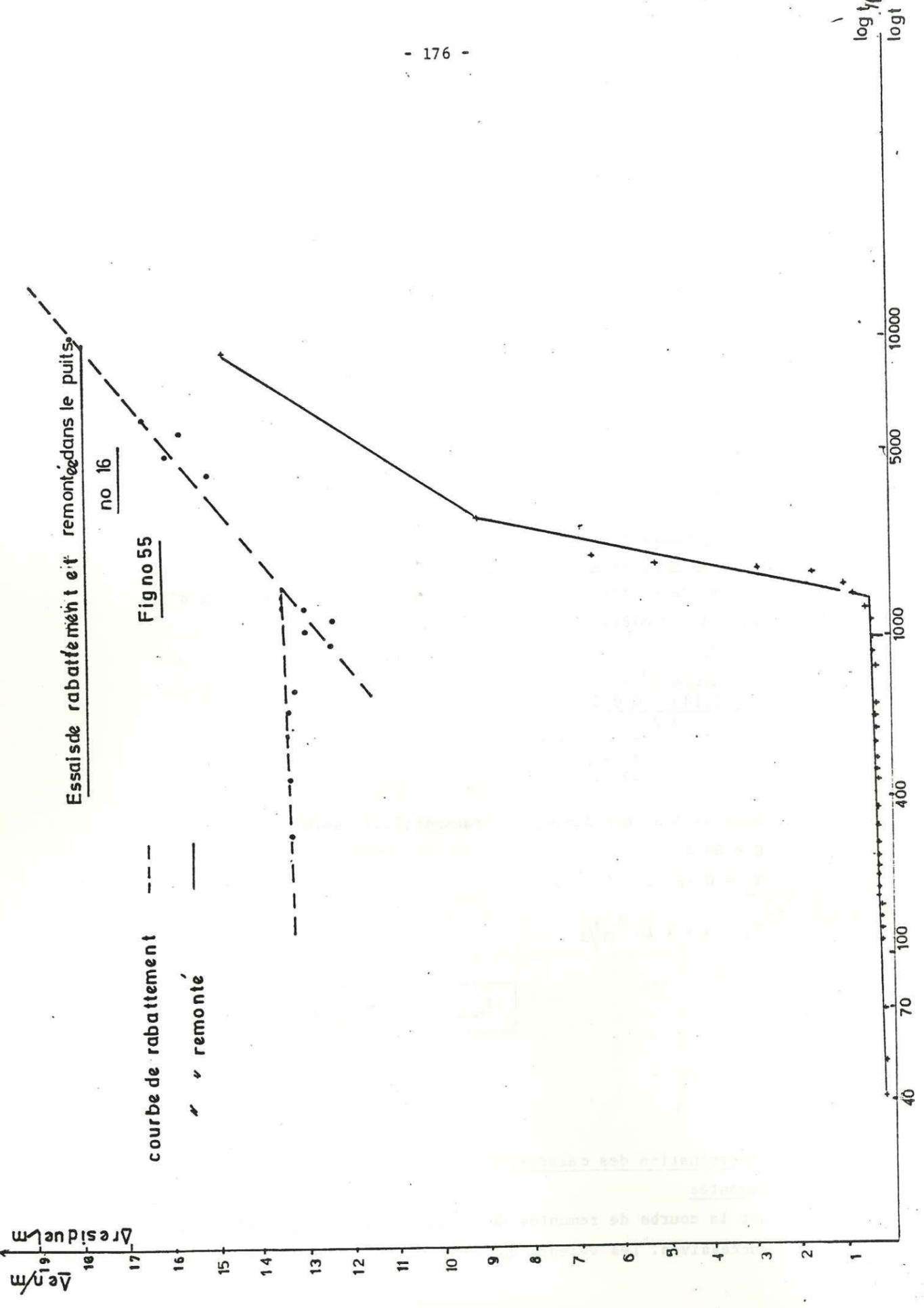
$$T_2 = 0,183 \times \frac{0,016}{5,4}$$

$$T_2 = 5,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T_{\text{moy}} = 8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Détermination des caractères hydrodynamiques à partir de la courbe de remontée

Sur la courbe de remontée de ce puits, on peut définir trois étapes successives. Les valeurs de T par la courbe de remontée sont: (fig.n°55)



- Première étape:

$$C_1 = 9,9$$

$$Q_1 = 0,016 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T_1 = 3,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Deuxième étape

$$C_2 = 43,75$$

$$T_2 = 6,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Troisième étape

$$C_3 = 0,2$$

$$Q = 0,016 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T_3 = 0,014 \text{ m}^2/\text{s}$$

5.6.2.4. Détermination des caractères hydrodynamiques du puits n°20

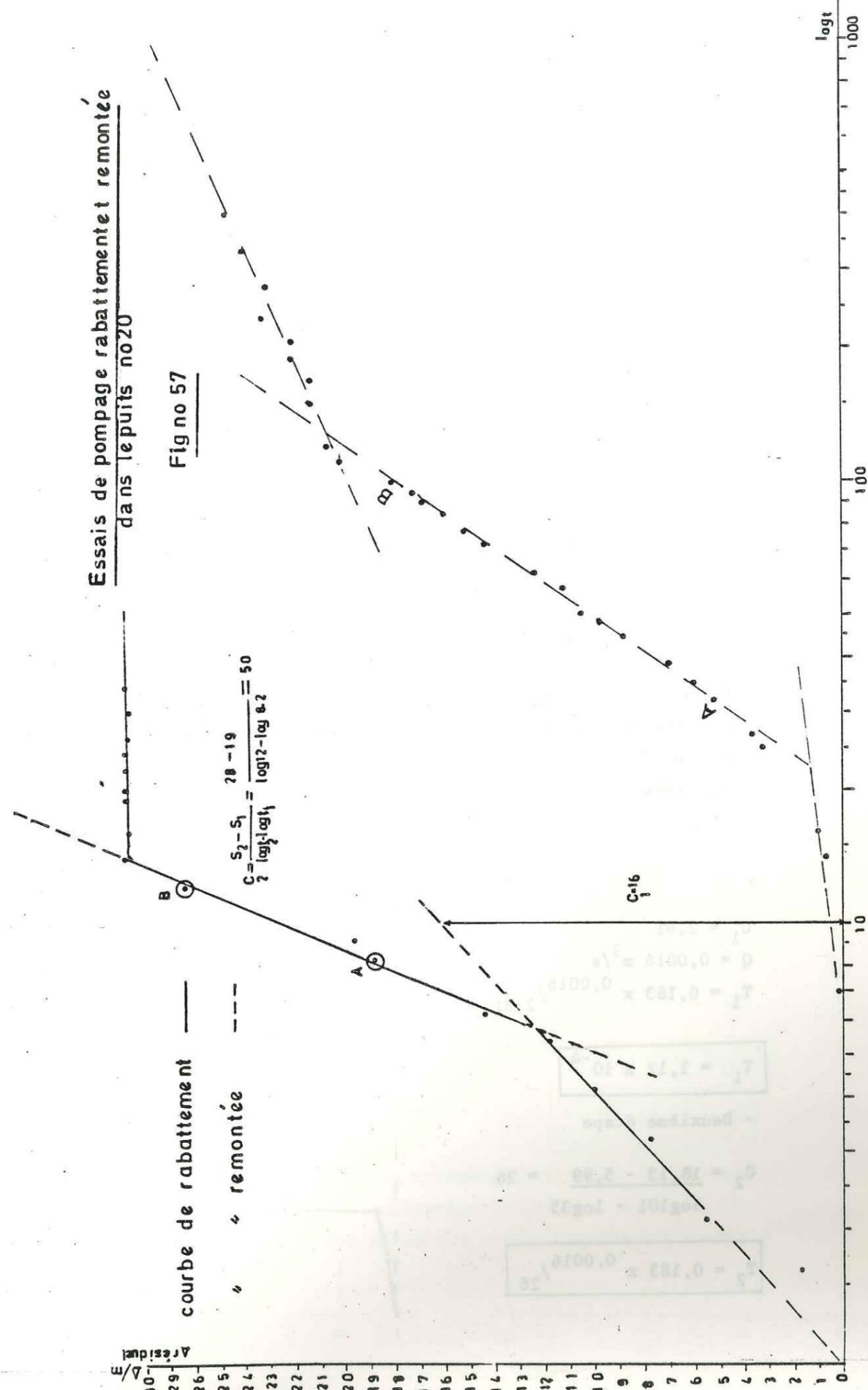
Généralités: Ce puits est situé à 6,5km à l'Est de la ville de Mehmandoust à 2,5km au Sud du puits n°19. Il a été foré pour connaître la nature du substratum en-dessous du remplissage d'alluvions à une côte de 1276m, jusqu'à 1036m. Dans ce puits selon les diagraphies géophysiques (nous en avons déjà parlé) l'épaisseur du remplissage alluvial, par rapport aux autres puits est moins important (100m dans le puits n°20). La nature du substratum dans ce puits est: conglomérats avec ciment très dur et intercalations d'argiles. Le niveau statique dans ce puits était à 152m de profondeur, c'est à dire une nappe d'eau très mauvaise dans les formations anciennes. Les études isotopiques et physico-chimiques confirmeront cette hypothèse.

Droite rabattement - logarithme du temps

Sur la courbe de rabattement de ce puits, on peut déterminer trois étapes successives. Les valeurs de T pour les étapes sont les suivantes: (fig.n°57).

Essais de pompage rabattement et remontée dans le puits n°20

Fig no 57



- Première étape avec:

$$C_1 = 16$$

$$Q = 0,0016 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T_1 = 0,183 \times 0,016/16$$

$$T_1 = 1,83 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Deuxième étape:

$$C_2 = \frac{s_2 - s_1}{\log t_1 - \log t_2} = \frac{28 - 19}{\log 12 - \log 8,2} = 50$$

$$T_2 = \frac{0,183 \times 0,0016}{50}$$

$$T_2 = 5,9 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Troisième étape:

$$C_2 = 0,2$$

$$T_3 = \frac{0,183 \times 0,0016}{0,2}$$

$$T_3 = 1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

La courbe de remontée

Sur cette courbe aussi on peut avoir trois étapes. Les valeurs de T sont:
(fig. n°57)

- Première étape

$$C_1 = 2,61$$

$$Q = 0,0016 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T_1 = 0,183 \times 0,0016/2,61$$

$$T_1 = 1,12 \times 10^{-4}$$

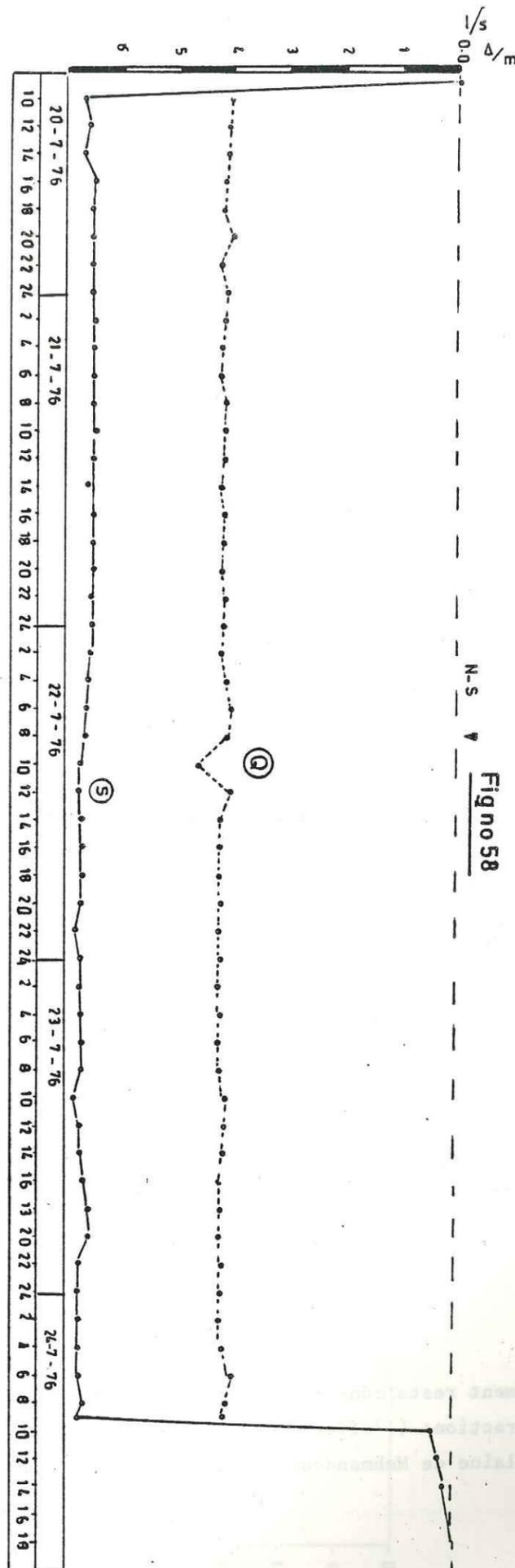
- Deuxième étape

$$C_2 = \frac{18,13 - 5,99}{\log 101 - \log 35} = 26$$

$$T_2 = 0,183 \times 0,0016/26$$

ESSAIS DE POMPAGE PUIT no 23

N.S. 4 Figno 58



$$T_2 = 1,12 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Troisième étape

$$C_3 = 7,8$$

$$T_3 = 3,75 \times 10^{-5}$$

5.6.2.5. Essais de pompage du puits n°23

Généralités: Ce puits est situé sur le cône de déjection de Nosrat-Abad, à 13km de la ville de Mehmandoust, à l'Ouest, près du village de Nosrat-Abad, à une côte de 1427,19m. Sa profondeur est de 200m.

Essais de rabattement

A la suite d'un essai de pompage, nous avons déterminé les caractéristiques hydrodynamiques: (fig.n°58 et 59)

Les caractéristiques hydrodynamiques selon la courbe de rabattement sont:

- Première étape:

$$C_1 = \frac{S_2 - S_1}{\log t_2 - \log t_1} = \frac{5,51 - 2,37}{0,6} = 5,43$$

$$Q = 4,16 \text{ l/s}$$

$$T_1 = \frac{0,183 \times 0,00416}{5,43}$$

$$T_1 = 1,45 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Deuxième étape:

$$C_2 = \frac{S_2 - S_1}{\log t_2 - \log t_1} = \frac{6,55 - 6,04}{0,2} = 2,51 \quad C_2 = 2,51$$

$$T_2 = 0,83 \times \frac{0,00416}{251}$$

$$T_2 = 3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Troisième étape:

Dans cette étape le rabattement reste constant et il y a une alimentation qui compense le débit d'extraction: (l'effet de la source de Nosrat-Abad dans l'alimentation de la plaine de Mehmandoust (fig.n°59).

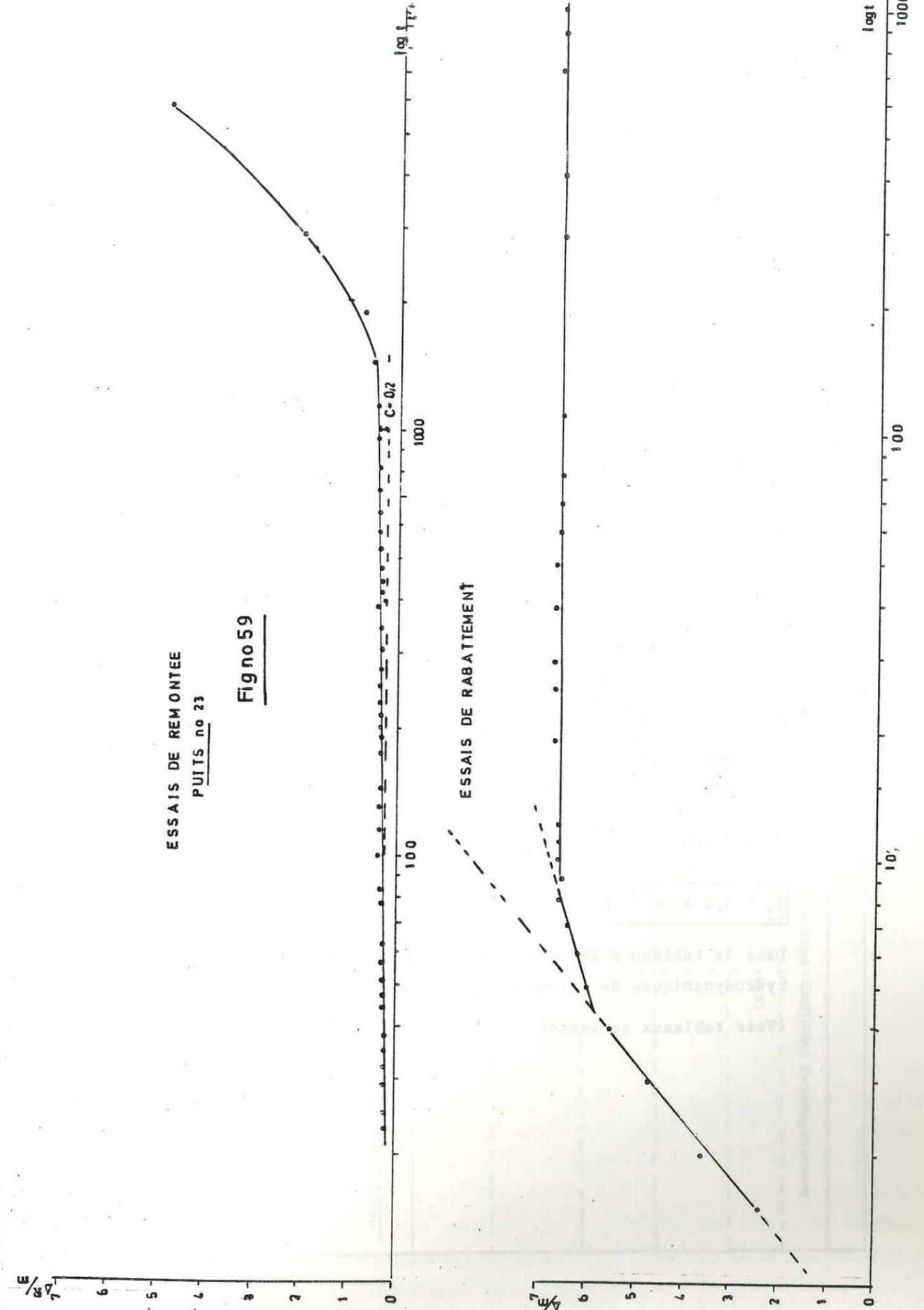


Fig no 59

Calcul de "S" pour le point arbitraire "A"

$t = 240 \text{ s}$
 $\Delta = 4,7$
 $C = 5,4$
 $\log x = 0,87$
 $x = 7,4$
 $7,4 \text{ s} = 2,25 \times 1,45 \times 10^{-4} \times 240$
 $S = \frac{0,078}{7,43}$

$S = 1\%$

Courbe de remontée

Sur la courbe de remontée de ce puits, nous avons deux étapes successives suivantes:

- Première étape:

avec $C_1 = \frac{S_2 - S_1}{\log t_2 - \log t_1} = \frac{4,2 - 1,1}{3,77 - 3,5} = \frac{3,1}{0,47} \quad C_1 = 6,5$

$T_1 = 0,83 \times \frac{0,00416}{6,5}$

$T_1 = 1,17 \times 10^{-4}$

Deuxième étape

$C_2 = 0,2$

$T_2 = 0,183 \times \frac{0,00416}{0,2}$

$T_2 = 3,8 \times 10^{-3}$

Dans le tableau n°28 nous avons récapitulé les données des caractéristiques hydrodynamiques de chaque puits.

(Voir tableaux au verso)

TABEAU n°28

ESSAI DE POMPAGE PAR LA COURBE DE RABATTEMENT - TABEAU n°28

N° du puits	Δ en m	Q	Rayon du puits en m	Epaisseur de la couche aquifère en m	Transmissivité m ² /s	Coef. angul.	Profondeur du puits m	Niveau statique	Coefficient d'emmagasinement
11 privé	1,80	7,7x10 ⁻³	0,2	35,7	4 x 10 ⁻⁴	0,36	83	33,3	0,81
12	8,53	4,48x10 ⁻³	0,25	64	1,7 x 10 ⁻³	0,7	201,5	131,31	-
16	16,52	0,016	0,3	40	T = 0,016 T ₁ = 5,4x10 ⁻⁴ T ₂ = 5,4x10 ⁻⁴	C = 0,2 C ₁ = 200 C ₂ = 5,4	122	-	
20	30	0,0016	0,2	-	T = 1,83x10 ⁻⁵ T ₁ = 5,9x10 ⁻⁶ T ₂ = 1,5x10 ⁻³ T ₃ = 1,5x10 ⁻³	C = 16 C ₁ = 203,50 C ₂ = 50 C = 0,2	141,36	-	
23	6,7	0,00416	0,25	44	T = 1,45x10 ⁻⁴ T ₁ = 3x10 ⁻⁴ T ₂ = 3x10 ⁻⁴	C = 5,43 C ₁ = 159 C ₂ = 2,51	-	1%	
ESSAI DE POMPAGE PAR LA COURBE DE REMONTÉE									
N° du puits	Profondeur de prélèvement d'échantillon en m	Profondeur d'installation de pompe m	Coefficient angulaire	Transmissivité m ² /s	Conductivité m mch/cm				
11 privé	30 - 83	74,5	C ₁ = 0,11 C ₂ = 1,86	T ₁ = 0,0128 T ₂ = 7,55x10 ⁻⁴	-				
12	146,95-156,35-167,55-177,8-176,4-188,85	143	C ₁ = 2 C ₂ = 0,45 C ₃ = 9,9	T ₁ = 4,08x10 ⁻⁴ T ₂ = 1,8x10 ⁻³ T ₃ = 3,03x10 ⁻⁴	-				
16	120-130-140-150-160-170-180-190-200	-	C ₁ = 43,75 C ₂ = 0,2 C ₃ = 0,2 C ₄ = 2,61 C ₅ = 26 C ₆ = 7,8	T ₁ = 6,85x10 ⁻⁵ T ₂ = 0,014 T ₃ = 0,014 T ₄ = 1,2x10 ⁻⁴ T ₅ = 1,2x10 ⁻⁵ T ₆ = 3,75x10 ⁻⁵	1430-1490-1440-1400-900-870-880-960				
20	-	-	C ₁ = 6,5 C ₂ = 0,2	T ₁ = 1,17x10 ⁻⁴ T ₂ = 3,8x10 ⁻³	-				
23	-	-	C ₁ = 6,5 C ₂ = 0,2	T ₁ = 1,17x10 ⁻⁴ T ₂ = 3,8x10 ⁻³	-				

5.6.3. Conclusion

La moyenne de transmissivité calculée à partir de la méthode de Theis est de l'ordre de $1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ représentative de l'ensemble de la formation quaternaire de la plaine de Mehmandoust

$$/T = 1,6 \times 10^{-3} /$$

D'autre part, les coefficients d'emmagasinement, calculés à partir des droites rabattement: logarithme du temps, montrent parfois des valeurs qui ne nous semblent pas correspondre à la réalité (surtout aux forages 12 et 16). Mais, les valeurs obtenues dans les puits n°II privé et puits n°23 sont plus logiques pour une formation grès sableux de Quaternaire.

Le coefficient d'emmagasinement moyen de tous les chiffres obtenus par la méthode de la courbe de rabattement est de l'ordre de 1% pour l'ensemble de la formation de la plaine de Mehmandoust, nous acceptons donc, une valeur moyenne de

$$/S = 1\% /$$

Perméabilité

Nous avons pu par l'utilisation des carottages géophysiques, et aussi des profils de résistivités distingué les zones perméables et les zones imperméables, dans les puits n°12, 16, 23, 20 et 19. Cette distinction nous a permis de calculer l'épaisseur utile (perméable) par rapport à l'épaisseur totale. Les résultats ont été les suivants:

- puits n° 23: 36m
- puits n° 20: 28m
- puits n° II privé: 36m
- puits n° 16: 200m
- puits n° 19: 23m
- puits n° 12: 150m

Si nous prenons la moyenne de l'épaisseur utile de ces puits et si nous la considérons comme représentative de l'ensemble de la formation de la plaine de Mehmandoust, nous allons pouvoir calculer la moyenne du coefficient de perméabilité de cet aquifère dans la plaine de Mehmandoust.

La moyenne de l'épaisseur utile est donc

$$e = \frac{36 + 36 + 23 + 28 + 200 + 150}{6} = 79 \text{ m}$$

et si nous admettons une moyenne de transmissivité T de l'ordre de $1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ qui est aussi égale à l'épaisseur de l'aquifère x coefficient de perméabilité K.

$$T = Ke$$

$$1,6 \times 10^{-3} = K \times 79$$

$$K = 1,6 \times 10^{-3} / 79$$

$$/K = 2 \times 10^{-5} \text{ m/s} /$$

5.7.1. Introduction

Durant l'automne 1976, nous avons prélevé chaque trimestre environ 50 échantillons d'eau qui furent analysés dans les laboratoires de la Société de Charbon qui est liée à la Société Nationale de Métallurgie d'Iran à Chahroud.

Les prélèvements ont été effectués dans les meilleures conditions possibles: sur des pompages marchant depuis un temps suffisant, dans les puits mères des ghanats ayant un écoulement, dans les résurgences des ghanates, aux sources en bordure de la plaine.

Une analyse reflète donc la composition moyenne des eaux des aquifères traversés par le forage. Ceci peut entraîner des erreurs, car tous les puits n'ont pas la même profondeur, et ne captent pas les mêmes horizons aquifères. Mais les anomalies ponctuelles sont en général décelées au cours du tracé des cartes.

Des caractères généraux se trouvent d'une façon constante dans les différentes cartes. Chaque composant de même nature a fait l'objet d'une carte, ainsi que certains rapports caractéristiques.

Cette étude physico-chimique a pour but d'aider à la compréhension de l'hydrogéologie de la région de Damghan-Chahroud;

5.7.2. Interprétation hydrogéologique des cartes physico-chimiques

Des constantes décelables sur toutes les cartes reflètent des caractères généraux déjà mis en évidence dans l'étude des aquifères et de leurs caractéristiques hydrodynamiques. Elles dépendent étroitement des conditions géologiques et géomorphologiques, des zones d'alimentation et d'évaporation et des directions d'écoulement. Nous allons d'abord voir ces caractères constants, puis nous analyserons les particularités de chaque carte.

Caractères généraux

Sur toutes les cartes, une grande difficulté pour déterminer les zones d'eaux douces sera visible. Nous avons déterminé seulement deux formations aquifères qui contiennent des eaux douces. par rapport aux autres points. - Cône de déjection de Nosrat-Abad au N.E. de Damghan-Chahroud et aussi cône de déjection de Babavali (site de puits n°16 au N. Edu village de Mehmandoust).

Entre ces deux zones, la salinité et la dureté totale sont très élevées et sont fonction, non seulement de la zonalité (accroissement des salinités de l'amont vers l'aval) mais aussi des conditions locales: présence des différentes formations en bordure de la plaine.

- Cône de déjection de Babavali : il apparait comme une masse alluviale bien définie contenant vers le Nord et au milieu de la plaine des eaux de moins bonne qualité. Il est une zone d'alimentation la plus importante de la région.

La répartition des eaux douces montre que les eaux douces pénètrent par les fractures des montagnes du Nord vers le Sud (Sources Kalavan et Babavali) dans les formations du Cambrien.

Les eaux douces sont contenues dans des aquifères graveleux offrant de bonnes possibilités d'exploitation (voir résultats de pompage du puits n°16)

- Cône de déjection de Mehmandoust: Le cône vers le N est bien isolé des montagnes par les argiles du Néogène et leur masse est sèche.

nous avons foré deux puits 19-20 dans ce cône qui avait moins de 1 l/s de débit; par ces deux sondages, nous avons atteint le substratum qui est formé par les conglomérats et marnes du Néogène.

L'oued de Sarkhan qui entre au centre de ce cône alimente ce cône. Cette zone est soulignée par des salinités plus élevées et par des faciès chimiques différents. La remontée de la salinité est due en partie à la présence des marnes gypsifères au sommet de ce cône et aussi à l'alimentation par l'oued de Mehmandoust qui lessive les formations gypseuses du Jurassique moyen, du Trias et aussi des dépôts argilo-gypsifères dans les grands accidents tectoniques de son bassin versant.

- Cône de déjection de Nosrat-Abad: Au cours de nos recherches, pour trouver de l'eau potable pour la consommation de la ville de Mehmandoust, et après avoir étudié la géologie et la tectonique de la zone de Nosrat-Abad, nous avons trouvé une rivière souterraine qui était alimentée par les fractures et l'aquifère karstique des montagnes du nord.

Le cône de déjection de Nosrat-Abad est alimenté aussi par le ghanat de Nosrat-Abad qui débouche dans l'épandage alluvionnaire.

Cette zone de la plaine a un faciès sulfaté calcique.

La chimie montrera que les types d'eaux des sources de Nosrat-Abad et du puits n°23 que nous avons foré dans le remblayage alluvial sont les mêmes. La valeur du résidu sec au point d'alimentation ne dépasse pas 900 mg/l. Cette zone offre de bonnes possibilités d'exploitation en eau potable pour la ville de Mehmandoust.

5.7.2.1. Analyse des cartes physico-chimiques.

Carte des faciès chimiques "planche n°11"

Les "eaux douces" sont du type bicarbonaté calcique; elles caractérisent les zones d'alimentation et les zones directement influencées par les eaux provenant de ces zones d'alimentation, (cônes de déjection et zones sablo-limoneuses situées à l'aval de ces zones). Les couloirs du piémont alimentés par les épandages des crues et par le fond des oueds ont aussi des eaux bicarbonatés calciques.

Selon notre schéma hydrogéologique (planche n°11) les eaux douces du type bicarbonaté calcique sont absentes. Les sources en bordure de la plaine dans la formation de Mila à l'extrémité NE de notre région aux villages Babavali et Kalavan possèdent des eaux à faciès bicarbonaté sodique, reflet d'une moins bonne alimentation.

La domination magnésienne dans certains puits des ghanats au milieu de la plaine du village de Mehmandoust montre la présence des dolomies cambriennes et triasiques dans la montagne au nord de la plaine et une alimentation à partir du substratum cassé, anomalie déjà marquée dans la carte piézométrique.

Les faciès sulfatés sodiques qui sont moins développés que les faciès sulfatés calciques dans notre région (la plupart des points d'eau sont de ce type) sont dus aux affleurements de terrains néogènes.

Les couches argileuses gypsifères rouges avec des cristaux de gypse sont bien développées.

Les eaux sulfatées calciques montrent une alimentation de la plaine autour de l'oued Sarkhan qui vient de la montagne Nord et qui lessive des dépôts argilo-gypsifères remplissant les failles.

Les eaux chlorurées caractérisent les zones d'évaporation et correspondent à la limite géomorphologique du Kavir-é-Namak dans notre région.

Carte des résidus secs "planche n°13"

Généralement les taux des résidus secs sont très élevés dans notre terrain sauf deux secteurs: l'un à l'extrémité Est près du village de Kalavan, l'autre près du village de Nosrat-Abad.

La concentration augmente de l'amont vers l'aval. Les eaux très douces "moins de 200 mg/l" et douces "moins de 500 mg/l" sont absentes dans notre région. Les alluvions du piémont de Babavali à côté du sondage n°16, mal alimentées ont des valeurs de salinité qui varient de 500 à 900 mg/l et sont bonnes par rapport à celles ayant une concentration de plus de 8000 mg/l.

Dans la zone d'évaporation, près du village Ghader-Abad, au Sud de la route Chahroud-Damghan, ces valeurs deviennent très fortes: plus de 8000 mg/l dans un puits foré à la main.

Au milieu de la plaine, les alluvions sont très mal alimentées par l'amont: "présence des couches argileuses-marneuses gypsifères" qui fonctionnent comme un écran étanche, les valeurs du résidu sec sont très élevées plus de 2000 mg/l. La diminution relative vers l'oued de Sarkhan (1400 mg/l) montre une alimentation de la nappe par cette rivière.

Vers Nosrat-Abad, au NW du village de Mehmandoust, la valeur du résidu sec est la même "600 mg/l" qu'au puits n°16 et au village de Babavali, ce qui montre une alimentation certaine par l'amont dans ce secteur. L'accroissement de la salinité de l'amont vers l'aval, résulte de plusieurs facteurs convergents:

- salinité progressive de l'amont vers l'aval "zonalité"
- passage des zones d'alimentation vers les zones d'évaporation
- diminution de la pente topographique et de l'altitude ce qui permet un rapprochement des eaux souterraines près de la surface
- lithologie plus fine de l'amont vers l'aval: les surfaces de contact eau-aquifère sont plus grandes
- salinisation géologique des terrains de l'amont vers l'aval. Le Miocène affleure dans le Sud.
- désertification croissante en direction du Sud.

Carte des conductivités des eaux souterraines (planche n°14)

Elle se superpose aisément sur la carte précédente, mais elle est plus sensible. La courbe 500 micro mho/cm localise exactement les zones d'alimentation Est (cône du N. E.) et le cône de déjection de Nosrat-Abad avec les courbes de 1000 micro mho/cm.

La courbe 15000 micro mho/cm localise aussi la zone d'évaporation où commence le niveau désertique, les valeurs de la conductivité augmentent aussi de l'amont vers l'aval.

Carte de dureté totale "planche n°15"

Si elle n'apporte pas de faits nouveaux, cette carte confirme les observations des cartes précédentes:

- présence de trois zones d'alimentation E.W. et N.S. dans le cône du N.E. de notre région, cône de Babavali avec une valeur de dureté de 500 mg/l (eaux dures) et cône de Nosrat-Abad.

Comme nous l'avons vu précédemment, à cause de l'absence de zones d'alimentation directe de notre plaine, il n'existe pas d'eau peu chargée (moins de 200mg/l). Les zones centrales et sud sont très dures (plus de 500 mg/l). Cette carte met bien en évidence la présence d'eau de moins bonne qualité entre Chahrud et Nosrat-Abad, et la présence d'eau de mauvaise qualité dans tout le reste de la plaine de Damghan.

Carte des valeurs du P.H. "planche n°16"

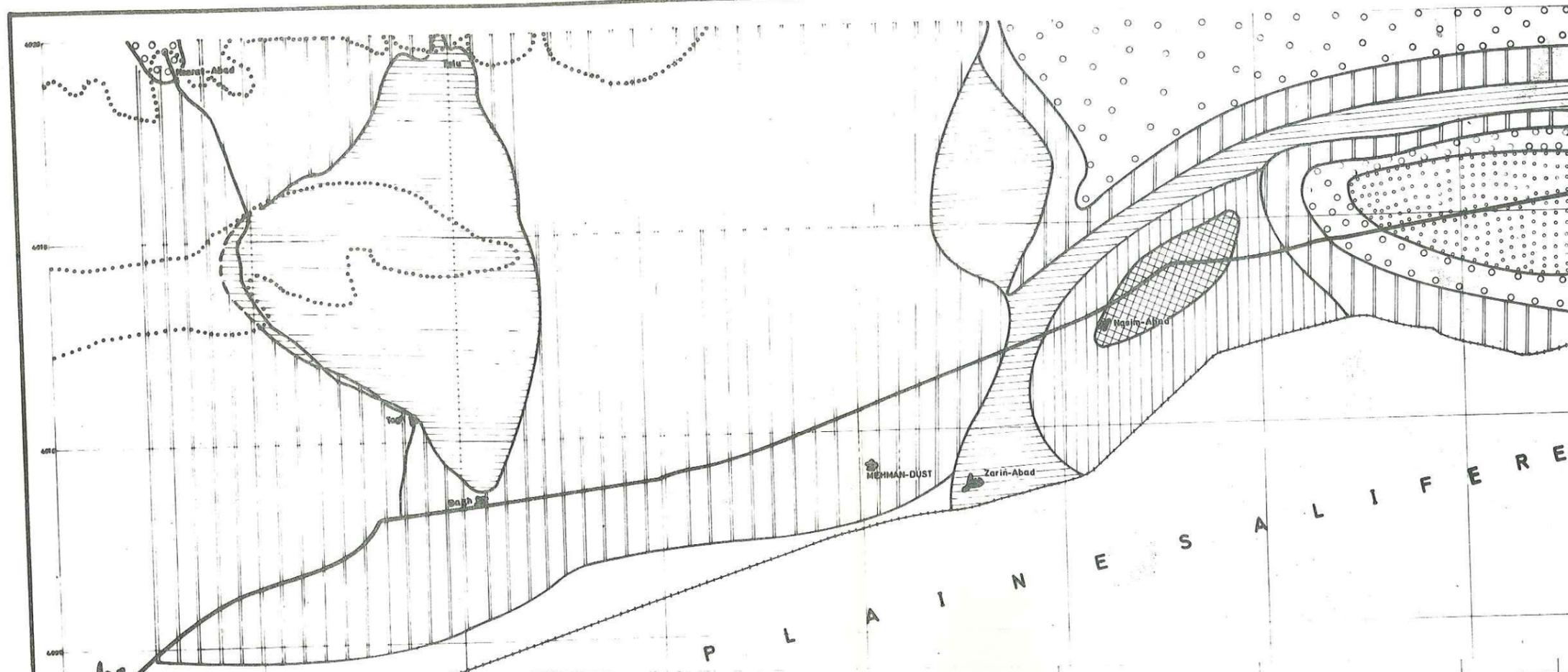
Nous avons l'eau acide dans le secteur du village de Talu au Nord de Damghan. La valeur normale varie entre 6,5 et 8,5.

Le P.H. a des valeurs plus fortes dans les zones de concentration élevée "reliefs du piemont" "zone centrale de la plaine". Au Nord de la route Damghan-Chahrud, près du village de Ghader-Abad, nous avons une zone ayant un P.H. relativement faible (7-8), alors que les concentrations sont plutôt élevées. Cette anomalie serait peut-être due à une alimentation par

le substratum.

Carte des sulfates (planche 17)

Les isolignes des sulfates délimitent à peu près les mêmes zones que les cartes précédentes. Les plus fortes concentrations correspondent à des faciès anormaux: zone du Sud près du village Ghader-Abad que nous avons nommé zone d'évaporation du Sud. Vers l'Ouest, près de Damghan, cette carte montre une anomalie et une zone très peu chargée en ion SO_4 (176mg/l) à faible profondeur. Vers le Nord de Damghan, près de Nosrat-Abad, cette carte montre la présence certaine de terrains anciens relativement riches en sulfates - développement de la formation Néogène vers W de Nosrat-Abad avec des couches gypseuses.

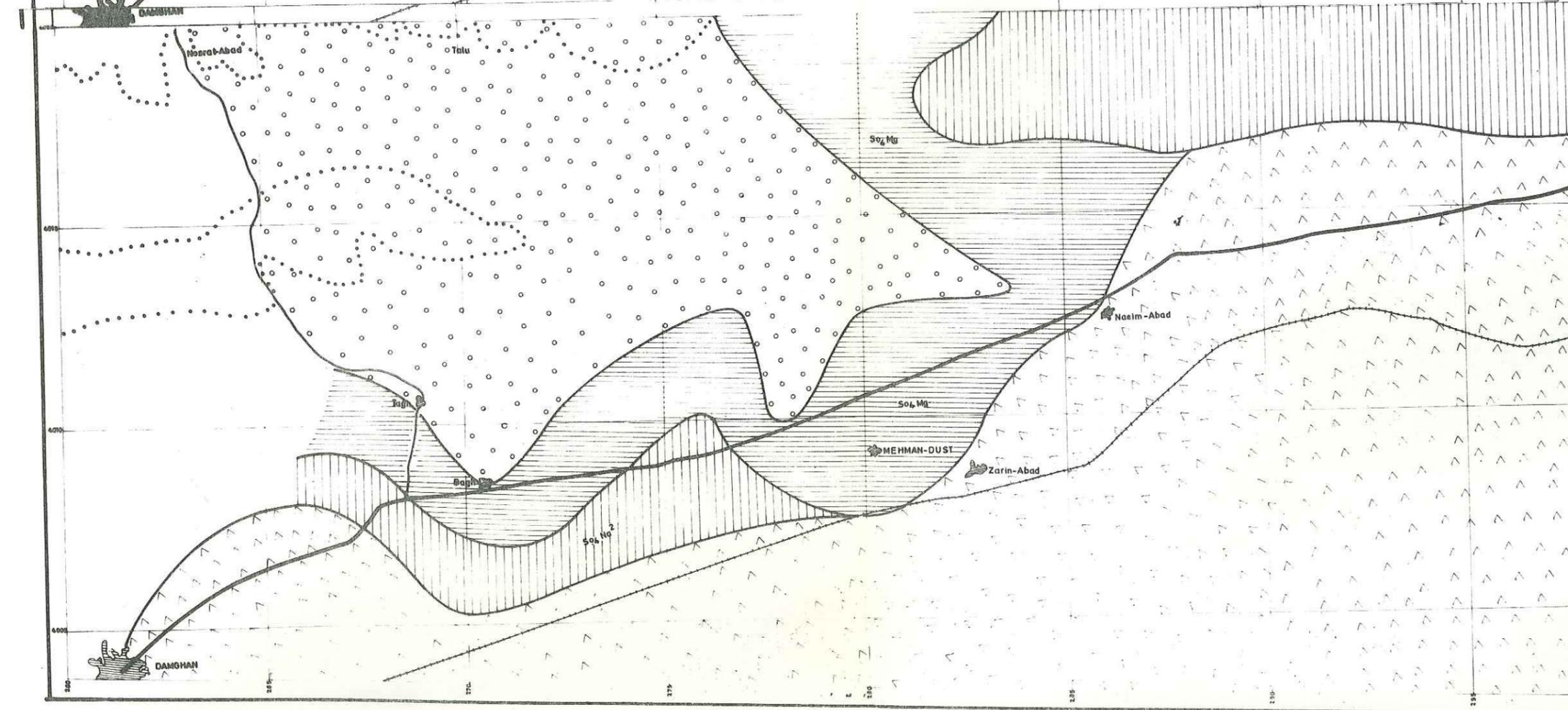


- LEGENDE**
- Eau bonne
 - Eau possible
 - Eau mauvaise
 - Eau mauvaise de salinité permanente
 - Salinité temporaire
 - Eau non salée
 - Route asphaltée
 - Chemin de fer
 - Limite de la plaine
 - Ville-Village
 - Route non asphaltée

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINES
DE MEHMANDOUST DAMGHAN IRAN
PAR M. MAHVI Printemps 1976

Echelle 0 2.5Km
POTABILITE DES EAUX SOUTERRAINES selon
SCHOELLER

PLANCHE no 12.



- LEGENDE**
- Eau sulfatée calciques
 - Eau sulfatée magnésienne
 - Eau sulfatée sodiques
 - Eau chlorurée sodiques
 - Route asphaltée
 - Chemin de fer
 - Limite de la plaine
 - Ville-Village
 - Route non asphaltée

SCHEMA
HYDROGEOCHIMIQUE DE LA PLAINES
DE MEHMANDOUST DAMGHAN IRAN
PAR M. MAHVI 1975 - 1976

Echelle 0 2.5Km

PLANCHE no 11.

- Carte des isolignes du chlore (planche n°18)

Cette carte est en accord avec les constatations qui précèdent. Les différentes zones apparaissent clairement:

- zone du cône de déjection de Babavali (puits n°16) avec 64 mg/l
- zone du cône de déjection de Nosrat-ABad avec 31 mg/l
- zone d'évaporation sud plus (de 100 mg/l)
- Carte des rapports $r_{Mg/Ca}$ (planche n°19)

Les différentes zones apparaissent, mais avec moins de clarté. Inférieur à l'unité dans les zones d'alimentation, ce rapport croit vers l'aval.

Il varie entre 0,5 et 1 dans les alluvions anciennes de la plaine et les collines du piémont. Il est supérieur à 1 dans le S.-W de la plaine près de Damghan et aussi au Nord-Est de la plaine de Mehmandoust.

- Carte des rapports $r_{SO_4/Cl}$ (planche n°20)

Nous avons tracé la courbe d'équirapports $r_{SO_4/Cl} = 1 - (1-2) \cdot 2$

Cette carte montre dans le secteur de Nosrat-Abad une diminution rapide du rapport $r_{SO_4/Cl}$ de l'amont vers l'aval, selon la direction N-S, et dans le secteur Est de Mehmandoust une décroissance de W vers l'E et N vers le S.

Les zones où ce rapport est inférieur à 1 correspondent à des zones riches en eaux chargées en NaCl, zones liées à une évaporation intense.

La valeur minimum atteint à Ghader-Abad, montre bien la contamination de la nappe par les eaux chargées en sel.

La forte valeur de ce rapport à l'amont est due à l'abondance des formations gypsifères dans les formations montagneuses. Dans le Sud, la rapide augmentation de la teneur en Cl fait décroître le rapport malgré un accroissement régulier des sulfates (Babavali-Nosrat-Abad). Dans le secteur central de la plaine, zone de l'oued de Sarkhan, le rapport reste élevé. Les faibles valeurs du rapport $r_{SO_4/Cl}$ dans le Nord (manque de sulfate) n'ont pas les mêmes origines que celles du Sud (excès de chlore).

5.7.2.2. La température de la nappe

Malgré les erreurs dues aux fortes variations de la température au cours d'une même journée, certaines zones peuvent être individualisées. Les mesures ont été effectuées avec un thermomètre complètement immergé dans le flot à la sortie de la pompe. Les mesures ayant été faites à l'époque des grands arrosages, on estime que les valeurs sont bonnes, d'autant plus que la surface des eaux souterraines étant souvent profonde, elle est généralement hors d'atteinte des variations de la température de l'air. Sachant que la température de l'air à Damghan est t_m : et si t_a est la température de l'eau, nous pouvons classer les eaux suivant les divisions de Schoeller;

- eaux hyperthermes $t_a > t_m + 4$
- eaux orthothermes $t_a = t_m$ à $t_m + 4$
- eaux hypothermes $t_a < t_m$

Ainsi sont hyperthermes les eaux dont la température est supérieure à $20^{\circ}5$.

Orthothermes les eaux dont la température est comprise entre 16 et 20° .

Hypothermes les eaux dont la température est inférieure à 16° .

Selon cette classification, la plupart des eaux souterraines de la région Est de la plaine ont une température de 20°. Elles caractérisent un état hyperthermique. La plupart des puits mères de ghanat sont concentrés dans cette zone où le niveau statique de la nappe est profond.

Les eaux hypothermes existent localement, elles sont localisées le long du pied de la montagne de Nosrat-Abad au Nord de Damghan et ainsi dans les parties plus basses de la plaine. Dans le tableau "n°29" nous allons récapituler les températures des points d'eaux mesurés selon la classification ci-dessus.

TABLEAU n°29

N° du point	Localité	Température		Classification de Schoeller
		17° - 20°	20° - 24°	
34	:Ghanat Nosrat Abad	:	+	:Les eaux hypothermales
4	Talu	:	+	
23	:Puits Nosrat Abad	:	+	::
1	:Piézomètre Mehmandoust	:	+	: "
14	:Sondage Damghan	:	+	:
24	:Puits Vamarzan	:	+	:
8	:Puits Emam-Abad	:	+	: "
25	:Puits Bagh	:	+	:
14	:Puits Ghader-Abad	:	+	:
10	:Puits Hadji-Abad	:	+	:
3	:Puits Tagh	:	+	: "
9	:Puits Hossein-Abad	:	+	:
12	:Puits Zarin	:	+	:
11	:Puits Hossein Abad	:	+	: "
19	:Puits Hadadez	:	+	:
34	:Ghanat Hossein Abad	:	:	+
8	:Ghanat Idafar-Abad	:	:	+
5	:Ghanat Zarin-Abad	:	:	+
18	:Ghanat Hossein-Abad	:	:	+
17	:Ghanat Hossein-Abad	:	:	+
13	:Ghanat Ghader-Abad	:	:	+
12	:Ghanat Ghader-ABad	:	:	+
11	:Ghanat Momen-Abad	:	:	+
27	:Ghanat Momen-Abad	:	:	+
28	:Ghanat Momen-Abad	:	:	+
12	:Sondage Mehmandoust	:	:	+
15	:Sondage Mehmandoust	:	:	+
20	:Sondage Kalavan	:	:	+
19	:Sondage Kalavan	:	:	+
16	:Sondage Babavali	:	:	+
7	:Sondage Babavali	:	:	+

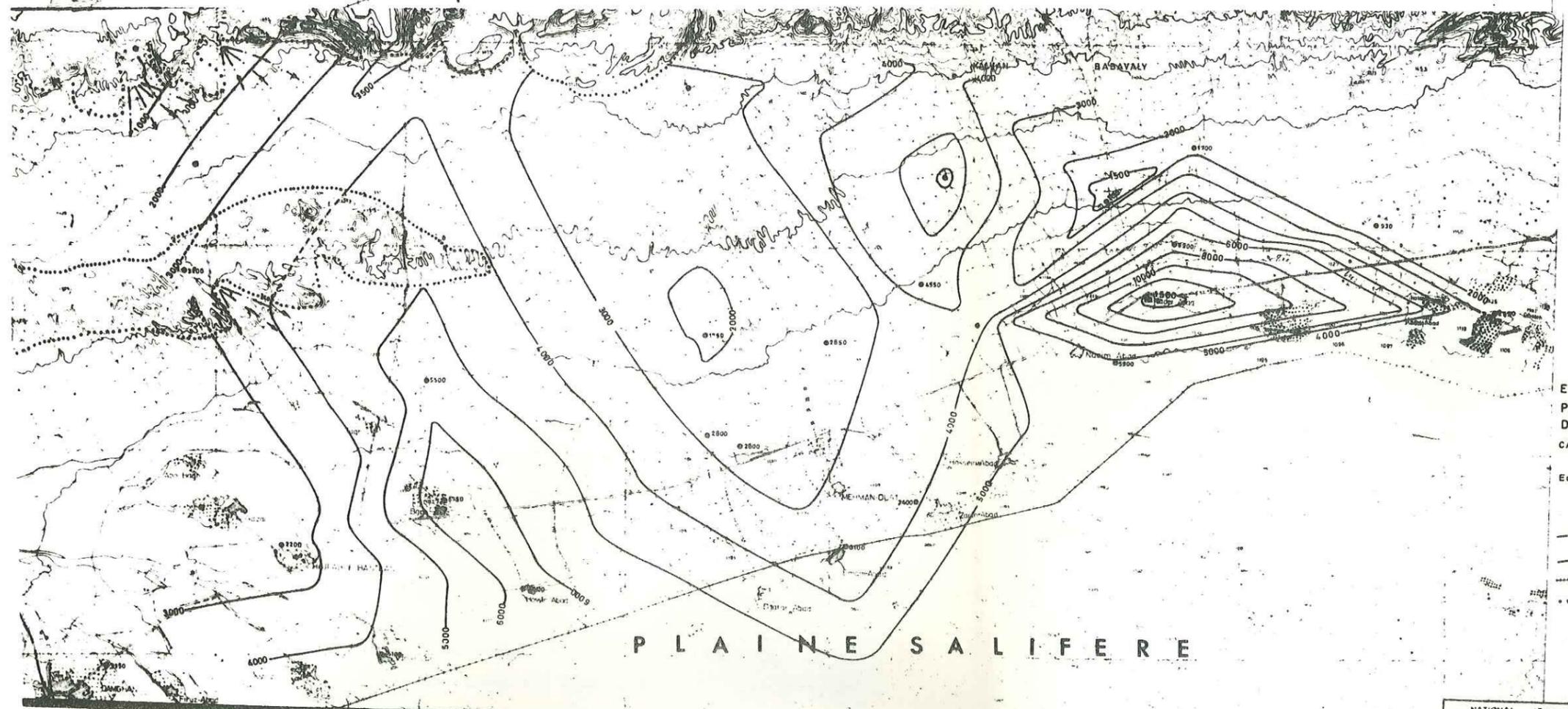
.../...



- Courbe d'égal résidu see et sa valeur en mg/lit
- Chemin de fer
- Route asphaltée
- Limite de la plaine
- Ville-Village
- Route non asphaltée

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA
 PLAINE DE MEHMANDOUST DAMGHAN IRAN
 Par. M. MAHVI
 CARTE DE SALINITE DE LA NAPPE
 Printemps 1976
 Echelle 0 2.5 Km

PLANCHE no 13



- Courbe d'égal conductivité sa valeur en mhos/cm
- Route asphaltée
- Chemin de fer
- Limite de la plaine
- Ville-Village

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA
 PLAINE DE MEHMANDOUST
 DAMGHAN IRAN. PAR. M. MAHVI
 CARTE D'ISOCONDUCTIVITE DE LA NAPPE
 Octobre 1976
 Echelle 0 2.5 Km

LEGENDE

NATIONAL IRAN STEEL CORPORATION / TSVETMETIPROMEXPORT / UE
 SHACHRUD HYDROGEOLOGICAL GROUP / IRAN
 ИРАНСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ КОРПОРАЦИЯ / ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ЦВЕТМЕТИПРОМЭКСПОРТ СССР

5.7.3. Propriétés chimiques des eaux souterraines

Généralités

Pour étudier la chimie de l'eau dans la nappe, il est nécessaire d'avoir des analyses complètes, avec au moins Ca, Mg, Na, Cl, SO₄, HCO₃, NO₃ et l'on comparera en particulier les rapports caractéristiques $r_{SO_4/Cl} - r_{Mg/Ca}$ et la méthode la plus simple est de reporter les analyses sur des graphiques logarithmiques.

Selon Schoeller on peut déterminer les zonalités de la composition chimique suivantes:

- Zonalité géologique: Les éléments des eaux peuvent s'enrichir par attaque chimique ou par dissolution. Cet enrichissement dépend de la nature du terrain, puisque la mise en solution du NaCl est plus rapide que celle du SO₄Ca et l'attaque du calcaire est plus rapide que celle des roches cristallines et cristallogéniques.

La concentration dépend aussi de la longueur du trajet et du temps de contact de l'eau avec le terrain. Il y a donc là des facteurs essentiellement géologiques. Comme la répartition des assises géologiques se fait suivant certaines plages ou certaines zones, on conçoit que l'on puisse avoir des zones où les eaux souterraines présentent les mêmes caractères. Par exemple, dans notre région à côté des affleurements du Néogène, il y a des eaux très sulfatées et chlorurées, et à côté des formations de grès et quartzites du Cambrien inférieur nous avons des eaux à faible résidu sec et faible teneur en calcium.

- Zonalité verticale: Les eaux souterraines circulent d'autant plus lentement et sont d'autant plus difficilement déplaçables par d'autres eaux (eaux d'infiltration superficielles) qu'elles sont plus profondes.

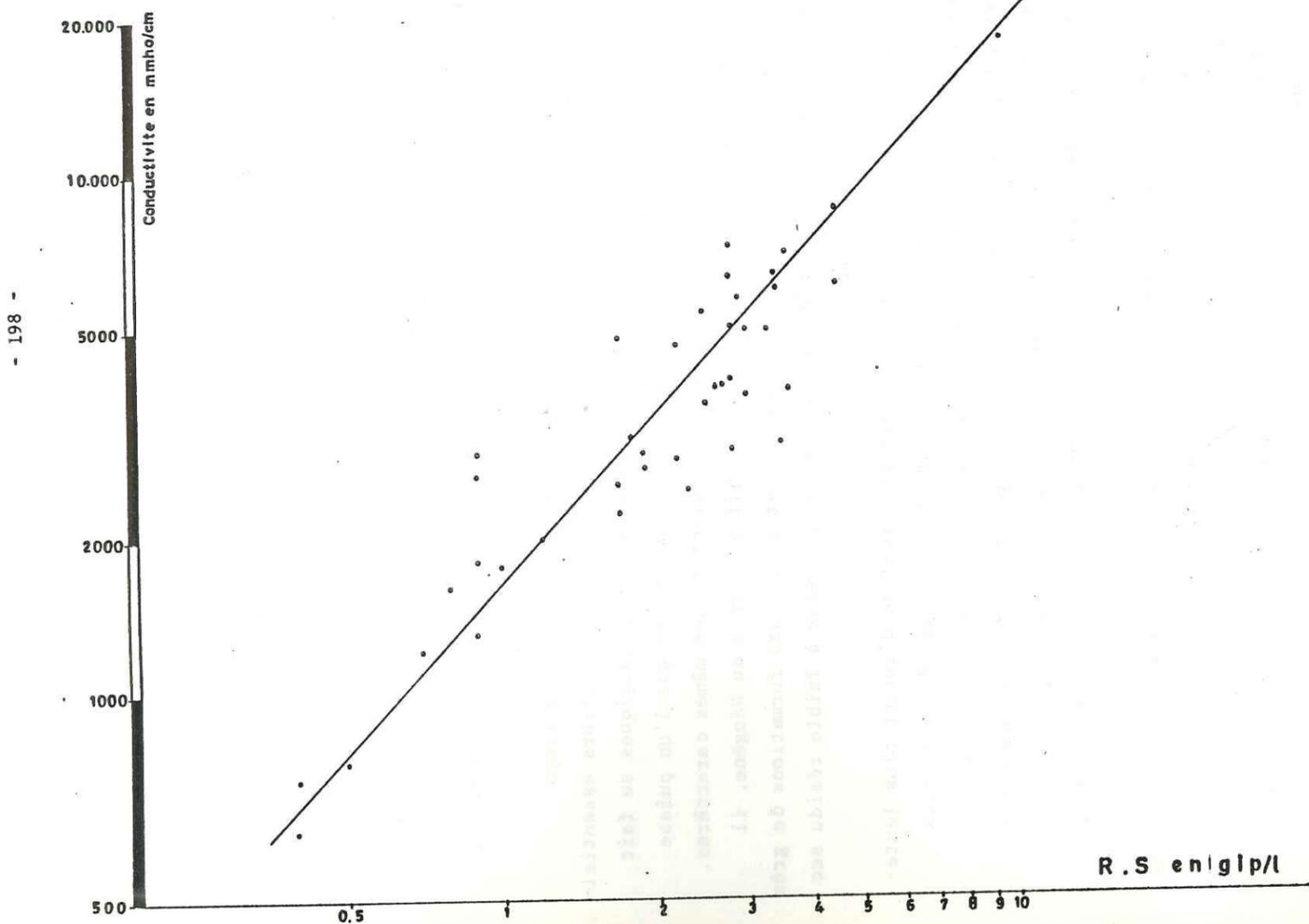
On aperçoit que la concentration de l'eau en sels dissous augmente avec la profondeur. On a donc une certaine zonalité verticale. Il est tout naturel qu'une eau hydrocarbonatée en surface, devienne chlorurée en profondeur.

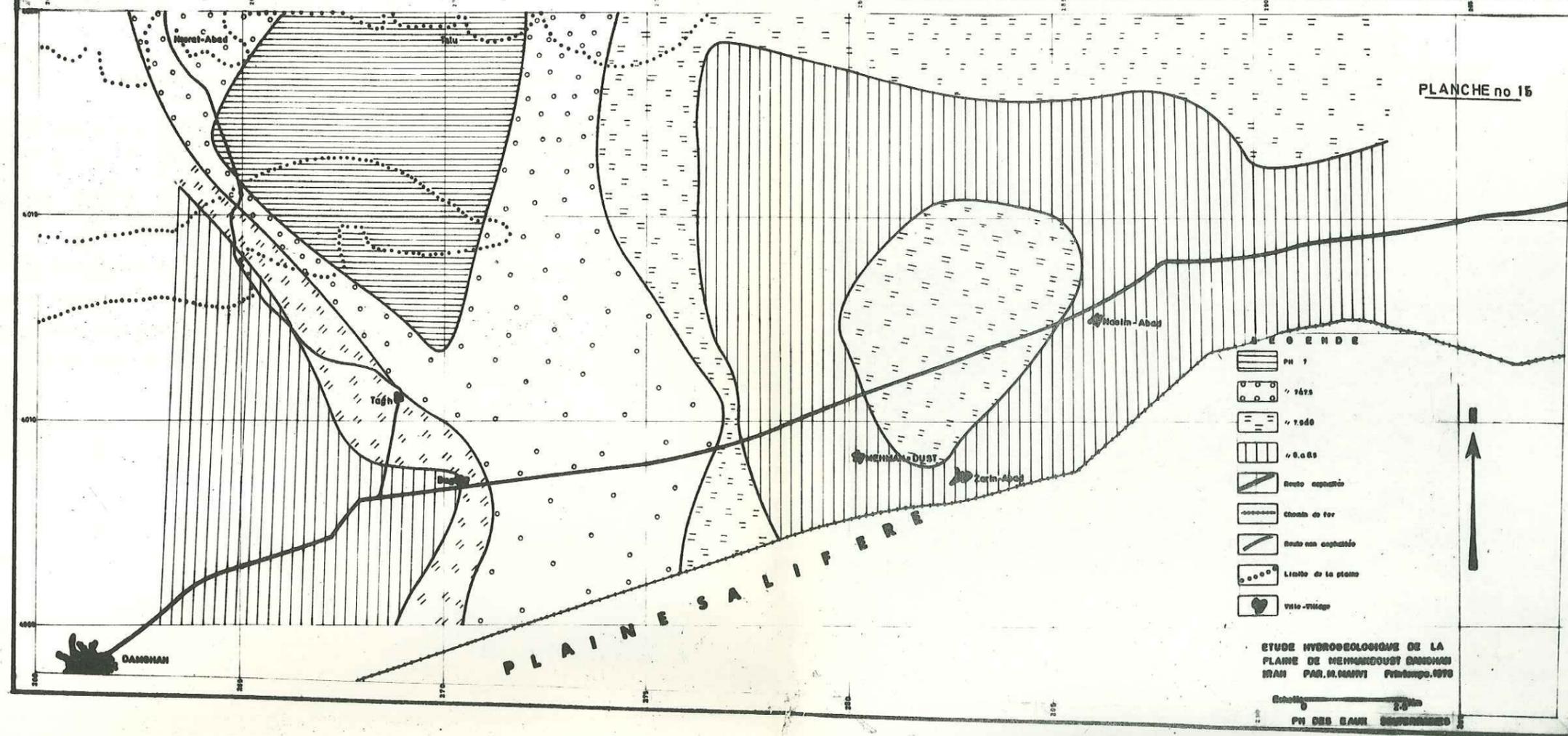
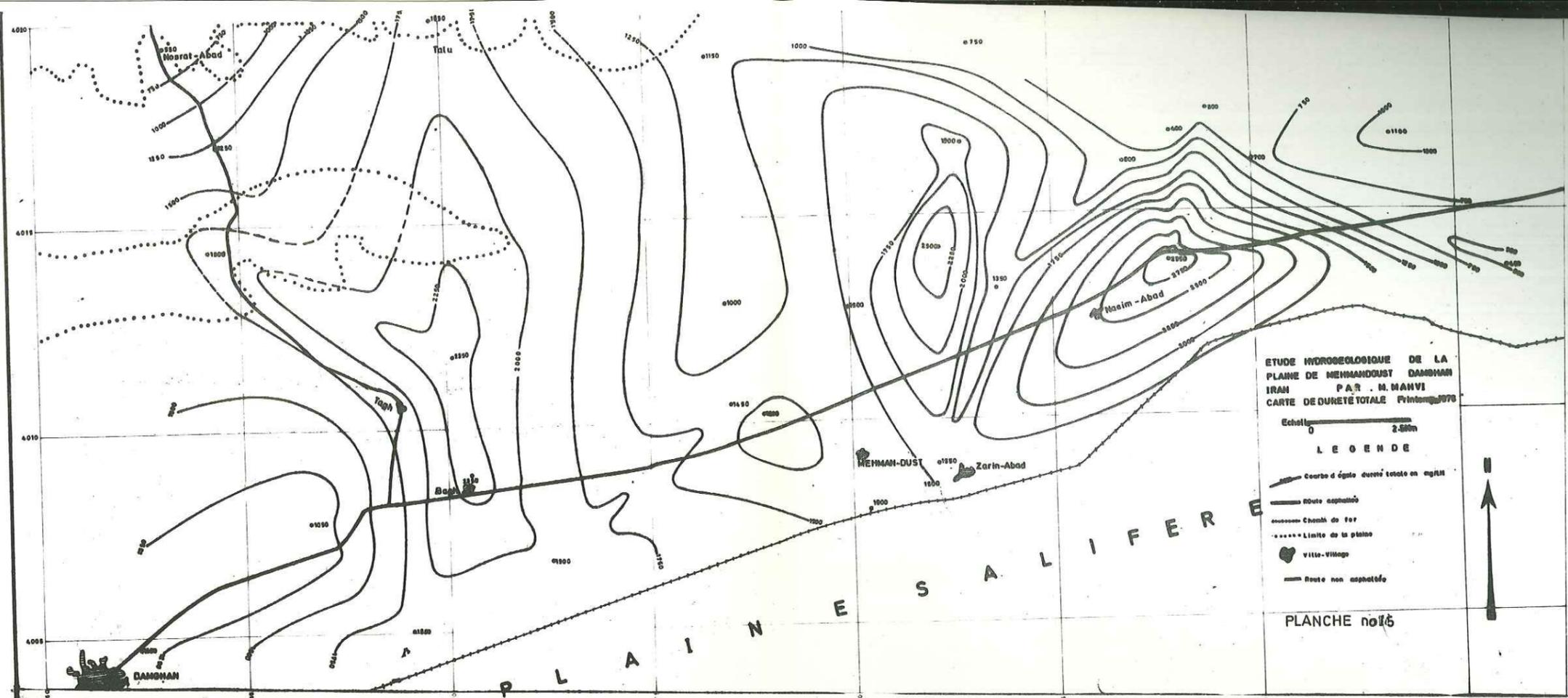
- Zonalité climatérique: Nous avons vu dans la partie consacrée à l'étude physico-chimique de la nappe une concentration par évaporation et que, suivant le degré de concentration, la composition chimique de l'eau présente des caractères différents. La concentration est d'autant plus importante que le pouvoir évaporant est plus grand, c'est à dire que la température de l'air et sa sécheresse, sont plus élevés. Donc les eaux des montagnes sont plus pures que celles des plaines.

La composition chimique des eaux est bien influencée par le climat, (Schoeller 1941).

VARIATION DE LA CONDUCTIVITE
EN FONCTION DE LA SALINITE (R - S)

Figno 60





Les facteurs climatiques régissant la composition chimique sont:

- la pluviométrie
- l'évaporation
- l'élévation de la température.

On voit donc qu'il y a une première zonalité climatique, zonalité très large, indépendante de tout facteur géologique, ne dépendant que du degré d'aridité. Elle est donc sous l'influence de conditions tout à fait générales qui tendent à effacer les autres causes de zonalité. Elle est surtout caractérisée par les concentrations ou dilutions plus ou moins grandes des eaux.

A l'intérieur de cette zonalité climatique, on pourra trouver des zonalités géologiques dans lesquelles les variations de la composition chimique sont dues à la nature du terrain. Les causes géologiques de zonalités ne sont en effet que des causes particulières amenant des perturbations dans la zonalité climatique de caractère beaucoup plus général. Enfin, partout on trouve une zonalité verticale, due au fait que les eaux de plus en plus profondes ont des vitesses de circulation de moins en moins grandes.

5.7.3.1. Analyse chimique et classification des eaux souterraines

Introduction

Les principales données de l'analyse chimique des eaux souterraines sont:

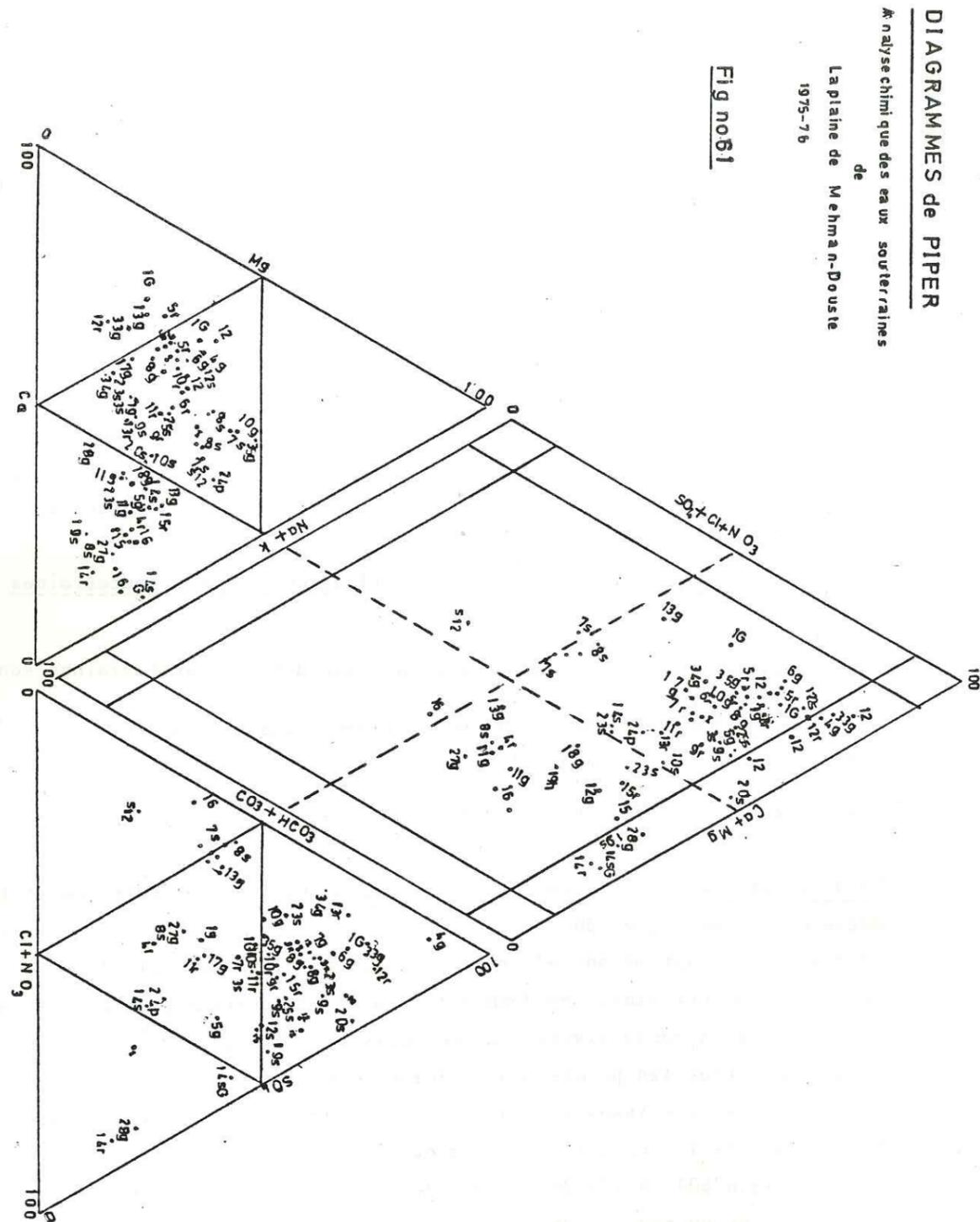
1) Eléments chimiques: les principaux éléments analysés sont:

Cations: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+

Anions: SO_4^{--} , Cl^- , CO_3^{--} , CO_3H^-

2) On détermine aussi le résidu sec (R-S), le titre alcalimétrique et le degré hydrotimétrique dh.

Le résidu sec exprimé en mg/l représente la totalité des sels dissous. Le résidu sec est ainsi une donnée sur la minéralisation totale d'une eau; il est lié à la conductivité: la conductivité a été déterminée systématiquement par tous les points d'eau. Sur un papier bilogarithmique nous avons porté en abscisses les valeurs du résidu sec en g/l et en ordonnées les valeurs de la conductivité en micro mho/cm. La courbe obtenue est une droite (fig.n°60). A l'aide de ce graphique, nous pouvons déduire la valeur approximative du résidu sec en effectuant seulement la mesure de la conductivité à l'aide d'un conductivimètre.



Les résultats d'analyses ont été regroupés d'une part sous forme de diagrammes de Piper (fig.61) et d'autre part sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff.

- Eaux bicarbonatées calciques: Dans notre région, la plaine de Mehmandoust les eaux douces du type bicarbonaté calcique n'existent pas ce qui reflète une alimentation lointaine.

- Eaux bicarbonatées sodiques

Généralités: Ces eaux caractérisent les zones non directement alimentées par les épandages des crues. Par suite, cette famille d'eau n'est pas très répandue dans la région de Damghan. Nous l'avons trouvée dans deux sources n°12 et 8 qui émergent au N.E. de la bordure de la plaine dans la formation de Mila (Cambrien moyen et supérieur)

Ce groupe est défini par une concentration en ions HCO₃ supérieure à celle des ions SO₄ ou Cl; il se différencie des eaux bicarbonatées calciques par la supériorité des ions Na + K sur les ions Ca + Mg.

Ces eaux dérivent en général des eaux bicarbonatées calciques; par suite leur concentration totale sera plus élevée.

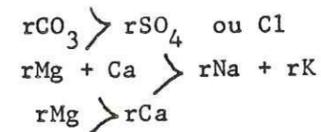
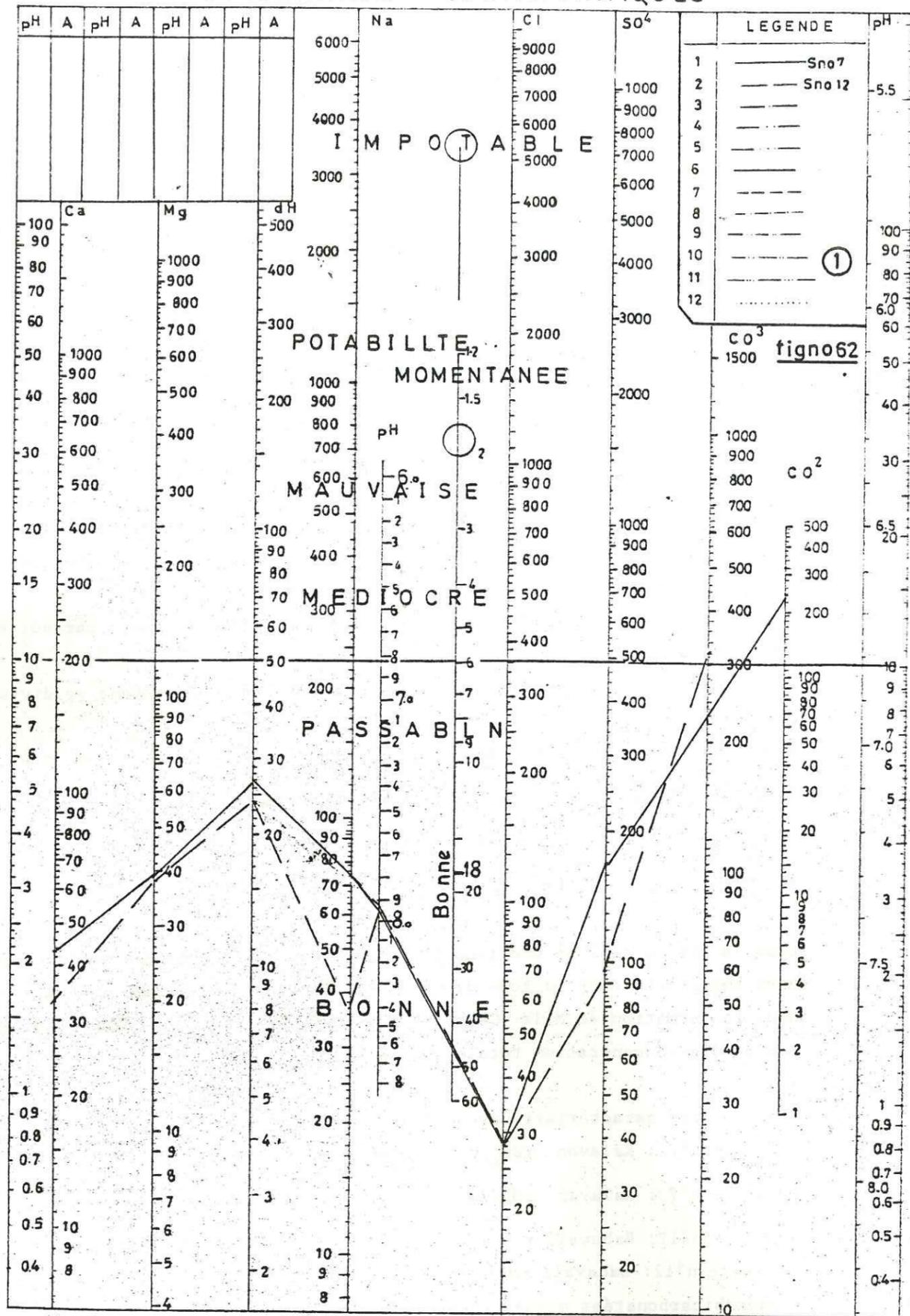
Caractères spécifiques: Les eaux bicarbonatées sodiques peuvent se diviser en quatre faciès:

- | | | |
|---|----|---|
| rCO ₃ > rSO ₄ > rCl | et | rNa + K > rCa > rMg |
| rCO ₃ > rSO ₄ > rCl | et | rNa + K > rMg > rCa (faciès n°7 - fig.62) |
| rCO ₃ > rCl > rSO ₄ | et | rNa + K > rCa > rMg |
| rCO ₃ > rCl > rSO ₄ | et | rNa + K > rMg > rCa |

Dans la région seul le deuxième faciès des eaux bicarbonatées sodiques est bien représenté dans la zone de Kalavan et Babavali (diagramme 1, fig.n°62) dans la formation de Mila (Cambrien moyen et supérieur) en bordure de la plaine (la concentration totale est de 580 mg/l).

Les rapports caractéristiques sont:

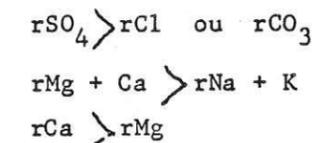
- Source n°7 : Kalavan rSO₄/Cl = 4,88
- Source n°7 : Kalavan rMg/Ca = 1,47
- Source n°12: Babavali rSO₄/Cl = 2,5
- Source n°12: Babavali rMg/Ca = 1,82
- Eaux bicarbonatées magnésiennes: Elles répondent à la définition suivante:



Nous n'avons qu'un seul échantillon de ce type: la source n°8 de Kalavan, près de la source n°7. Elle est liée à la zone dolomitique qui est abondante dans le Cambrien de Mila et présente le faciès 2
 $rCO_3 > rSO_4 > rCl$ et $rMg > rCa > rNa + K$ (diagramme n°2 - fig.63)
 Ce faciès est rare et ne se prête pas aux généralisations.
 Le rapport $rSO_4/Cl = 4$ $rMg/Ca = 2,32$

- Les eaux sulfatées calciques: Ce faciès est fréquent en Iran Central et aussi dans notre région qui se situe entre l'Elbourz et l'Iran Central, dans le cadre de la zonalité géographique, elles s'intercalent entre les eaux bicarbonatées et les eaux chlorurées. De plus, la proximité des terrains miocènes devrait favoriser l'extension de ce faciès.
 Elles sont en liaison plus ou moins directe avec les formations gypseuses. Il est à rappeler que du gypse en aiguille tapisse les marnes Néogènes et remplissent des failles.

Le faciès général est:



- Faciès n°3

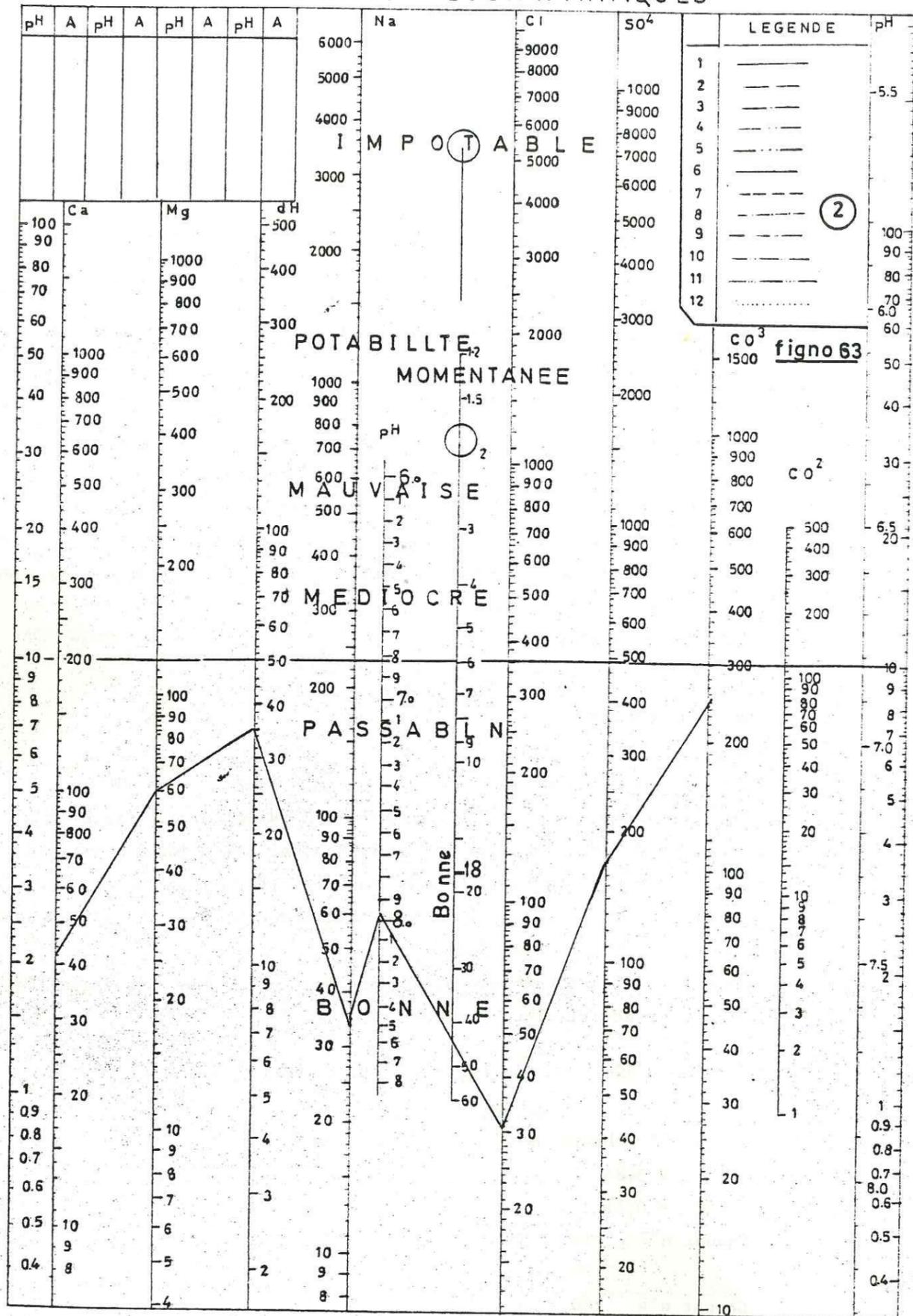


Il n'est représenté que par trois échantillons, deux échantillons situés en bordure du piemont de Mehmandoust (formation Qt₁): sondage n°12 et ghanat n°7 et aussi un échantillon du ghanate Talu n°4 en bordure de la plaine NW de Mehmandoust.

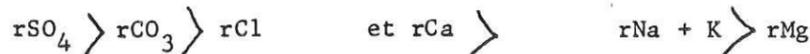
La concentration totale est élevée pour ce type d'eau. Les signes des rapports caractéristiques sont:

- Sondage n°12 $rSO_4/rCl = 2,5$
- Mehmandoust $rMg/Ca = 0,85$
- sondage n°1 Mehmandoust à $rSO_4/rCl = 3,84$
- $rMg/Ca = 0,64$
- Ghanat n°7 $rSO_4/rCl = 3$
- $rMg/Ca = 0,77$
- Ghanat n°4 $rSO_4/Cl = 10,4$
- $rMg/Ca = 0,93$

DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



- Faciès n°4 (fig. n°65)



Il est représenté par quatre échantillons: ghanat n°5 - sondage n°23
Nosrat-Abad - ghanat n°10, ghanat Nosrat-Abad n°34

Les signes des rapports caractéristiques sont:

sondage n°23 $rSO_4/rCl = 3,8$

$rMg/Ca = 0,52$

ghanat n°5 $rSO_4/rCl = 3,03$

$rMg/Ca = 0,6$

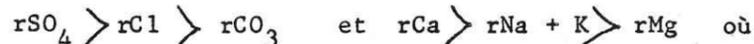
ghanat n°10 $rSO_4/Cl = 2$

$rMg/rCa = 0,6$

ghanat n°34 $rSO_4/rCl = 7,3$

$rMg/rCa = 0,5$

- Faciès n°5 (fig.n°66)



Elles sont représentées dans ghanat n°17, ghanat n°18, puits n°25 Bagh, puits n°3 Tagh. Les rapports caractéristiques sont:

Ghanat n°17 $rSO_4/rCl = 1,37$

$rMg/Cu = 0,77$

Ghanat n°18 $rSO_4/rCl = 1,18$

$rMg/Ca = 0,5$

Puits n°25 Bagh $rSO_4/rCl = 1,70$

$rMg/Ca = 0,6$

Puits n°3 Tagh $rSO_4/rCl = 1,6$

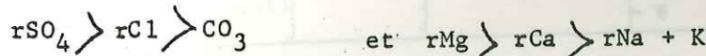
$rMg/Ca = 0,5$

Ghanat n°33 $rSO_4/rCl = 4,18$

$rMg/Ca = 0,36$

Les rapports caractéristiques $rSO_4/rCl > 1$ et $rMg/rCa < 1$ montrent que la salinité de cette eau, (sauf ghanat n°33 qui a une très forte salinité), a son origine dans la dissolution d'éléments gypseux par des eaux qui auraient dûes être normalement douces.

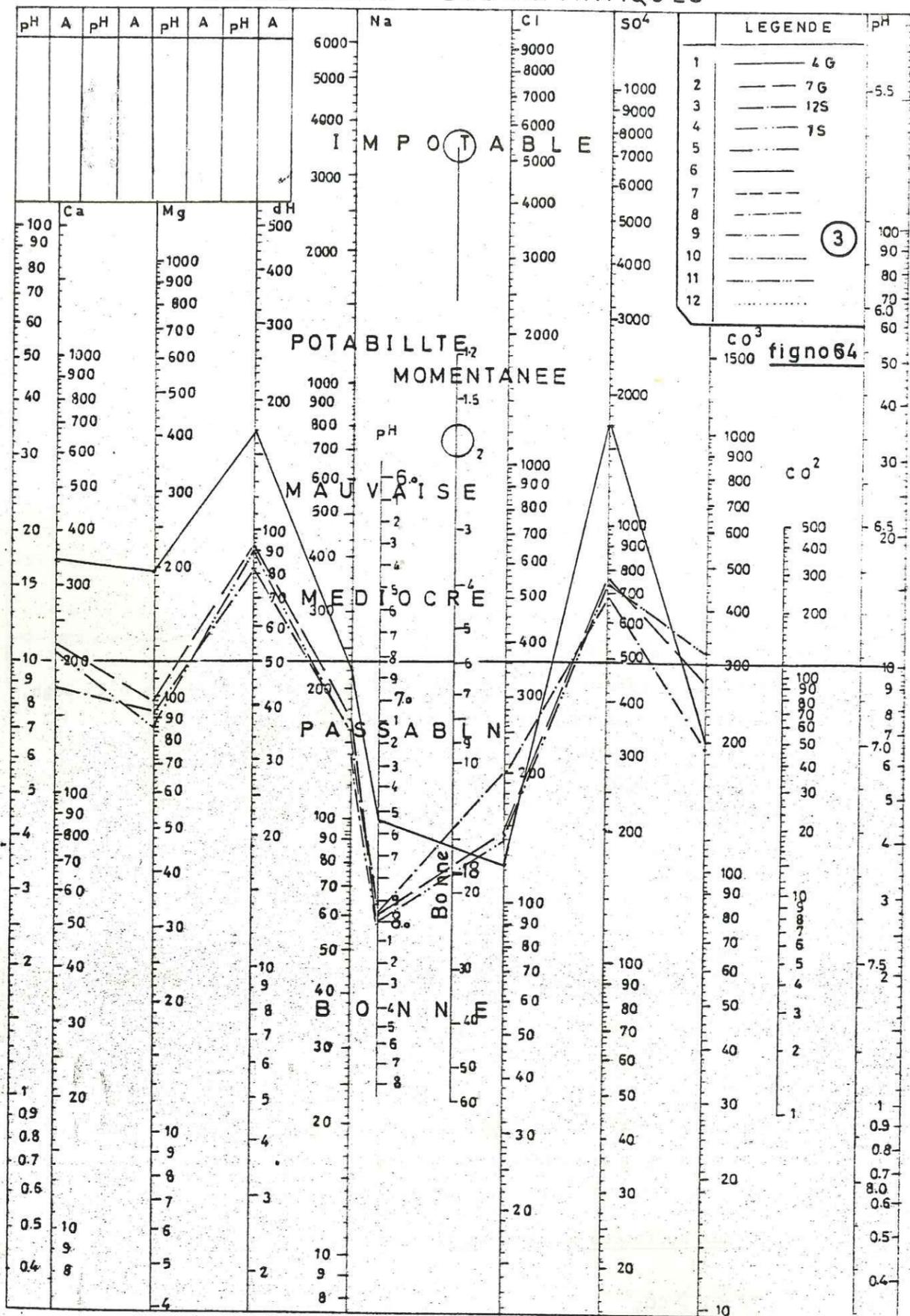
- Les eaux sulfatées magnésiennes:



où



DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



- Faciès n°6 (fig.n°67)

Elles sont représentées dans les points d'eaux suivants:

- Sondage n°12 Zarin-Abad, les rapports caractéristiques sont:

$$rSO_4/Cl = 1,6$$

$$rMg/Ca = 1,2$$

- Sondage n°8 d'Emam-Abad, les rapports caractéristiques sont:

$$rSO_4/Cl = 3,6 - rMg/Ca = 1,02$$

- Ghanat n°8 Jdafar-Abad les rapports caractéristiques sont:

$$rSO_4/Cl = 2,8 - rMg/Ca = 1,15$$

- Ghanat n°13 de Ghader-ABad, les rapports caractéristiques sont:

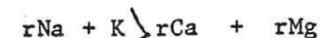
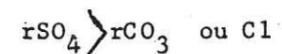
$$rSO_4/Cl = 2,65 - rMg/Ca = 3,7$$

- Ghanat n°35 d'Ali-Abad, les rapports caractéristiques sont:

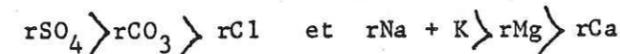
$$rSO_4/Cl = 2,1 - rMg/Ca = 1,9$$

Les eaux sulfatées sodiques

La formule générale est:



- Faciès n°7 (fig.n°68)



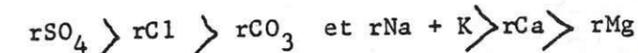
Rare et isolé, caractérise une eau issue d'un ghanat creusé dans le cône de déjection de Babavali et aussi le sondage n°16 près de ce ghanat.

Les rapports caractéristiques sont

$$\text{Ghanat n°11 } rSO_4/rCl = 1,4 - rMg/Ca = 1,99$$

$$\text{Sondage n°16 } rSO_4/rCl = 1,1 - rMg/Ca = 1,57$$

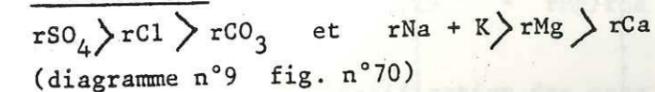
- Faciès n°8 (fig. n°69)



Faciès rare; nous avons seulement un puits dans notre terrain qui se caractérise par ce faciès.

Sondage n°19 avec niveau statique 260m $rSO_4/rCl = 1,18$ et $rMg/Ca = 0,6$ (diagramme n°8 - fig.n°69).

- Faciès n°9

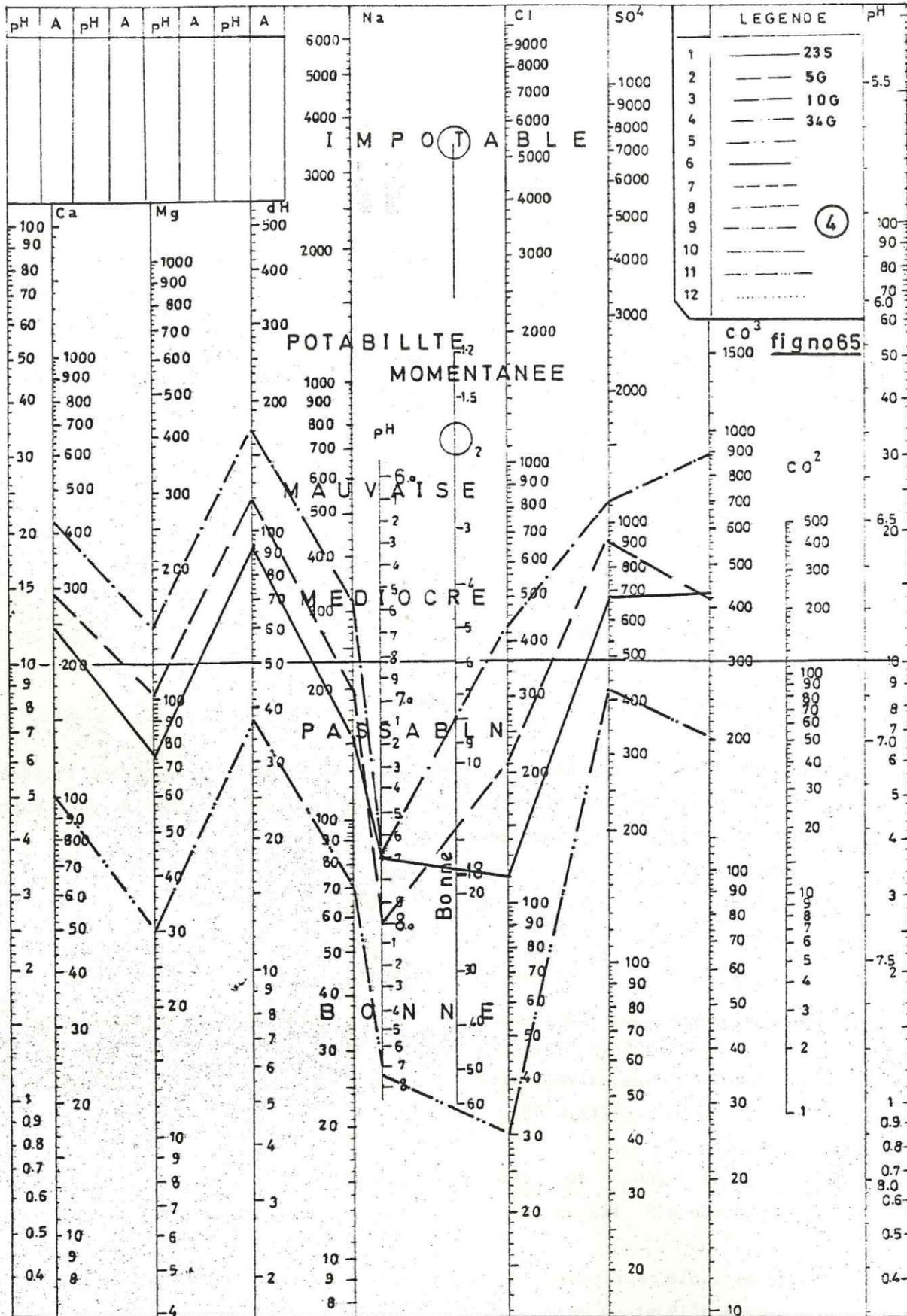


Faciès isolé, représenté seulement dans le sondage n°20 au dessous du sondage n°19 et un puits n°9 privé dans la zone sud. Les rapports caractéristiques sont:

$$\text{Sondage n°20 } rSO_4/Cl = 2,3 - rMg/Ca = 1$$

$$\text{Puits n°9 } rSO_4/Cl = 1,55 - rMg/Ca = 1,5$$

DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



- Les eaux chlorurées calciques

Elles sont rares dans notre secteur de travail, et nous n'avons pas observé non plus d'eaux chlorurées magnésiennes.

- Les eaux chlorurées sodiques

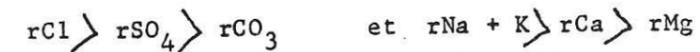
Formule générale:



Le nom de chloruré évoque les fortes salinités. Mais ce n'est pas toujours le cas. Ces faciès sont localisés dans l'extrême sud de la région. Ils définissent approximativement la zone d'évaporation des eaux souterraines.

Les résidus secs pour certains des échantillons atteignent leurs plus fortes valeurs; ils varient entre 0,7 - 9g/l dans l'échantillon n°413.

- Faciès n°10 (fig.n°71)



Les échantillons n°531 du puits n°6 et n°252 du puits n°10 représentent un faciès anormal pour la région.

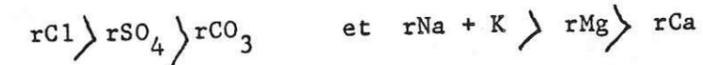
Le résidu sec prend une valeur différente pour le puits n°6, la valeur est très faible 678 Mg/l et dans le puits n°10 croit à 2142 mg/l.

Les rapports caractéristiques sont:

Puits n°7 $rSO_4/rCl = 0,6$ et $rMg/Ca = 0,6$

Puits n°10 Hadji-Abad $rSO_4/rCl = 0,9$ - $rMg/Ca = 0,9$

- Faciès n°11 (fig.n°72)



Cette formule correspond à la limite d'évolution de la composition de toute eau souterraine.

Six échantillons correspondent à ce faciès. Il peut être qualifié de normal pour la zone intéressée.

Les rapports caractéristiques pour chaque point d'eau sont:

Sondage n°19 Hadadez $rSO_4/rCl = 0,98$ - $rMg/rCa = 1,4$

Ghanat n°27 $rSO_4/rCl = 0,5$ - $rMg/rCa = 1,09$

Puits n°14 de Ghader-Abad $rSO_4/rCl = 0,84$ - $rMg/rCa = 2,04$

Sondage n°14 de Damghan $rSO_4/rCl = 0,6$ - $rMg/rCa = 1,2$

Puits n°24 de Vamerzan $rSO_4/rCl = 0,7$ - $rMg/rCa = 2,43$

Ghanat n°28 $rSO_4/rCl = 0,29$ - $rMg/rCa = 1,1$

5.7.3.2. Classification des eaux selon Schoeller

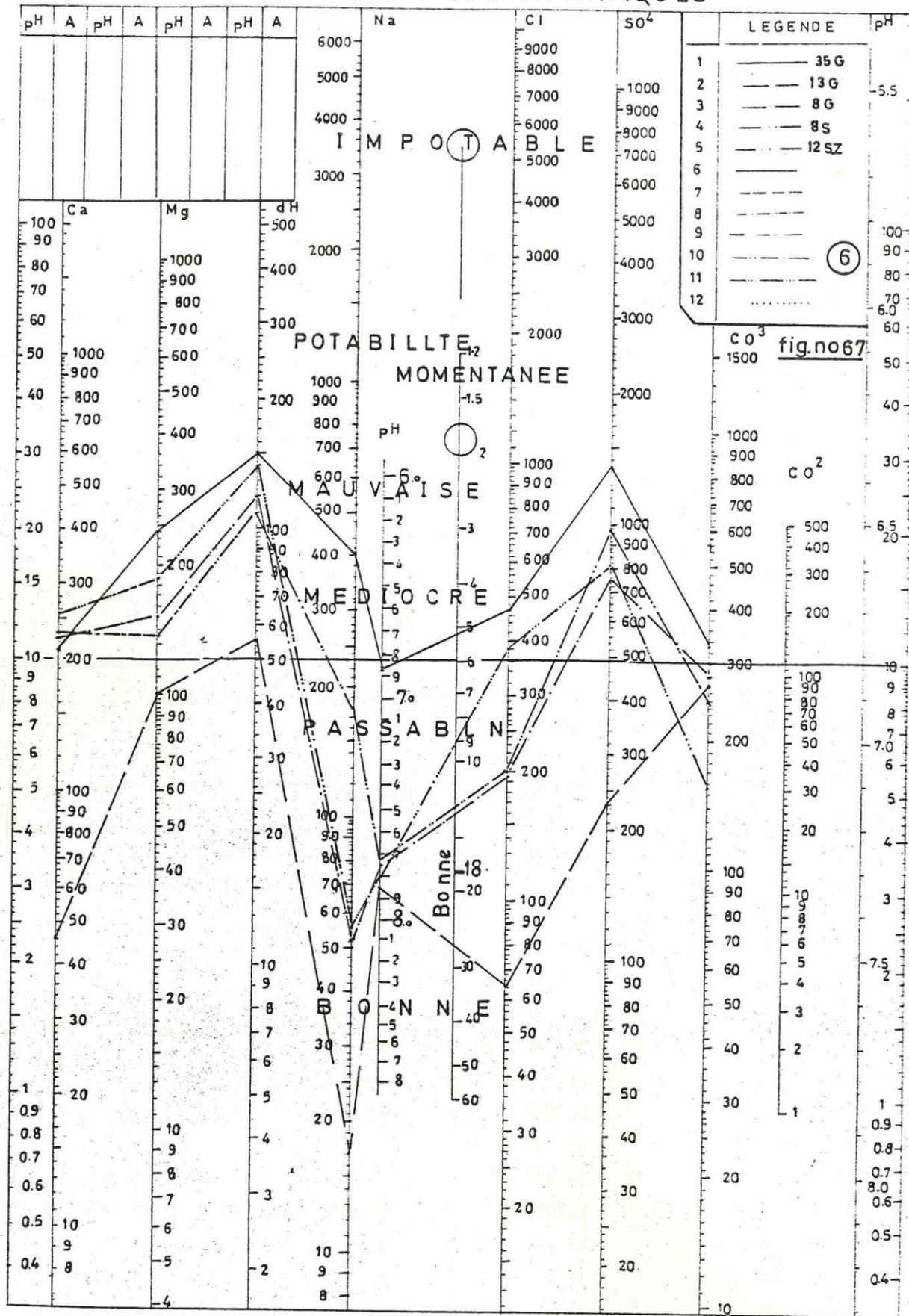
Les distinctions précédentes en grandes familles chimiques, puis en 11 faciès constituent déjà une forme de classification.

Nous allons utiliser la classification de Schoeller (1955)

Concentration en chlorures

Nous avons classé selon la concentration en chlorures les échantillons dans les tableaux suivants

DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



Un échantillon du SE de la région dans la zone anormale où l'évaporation est très élevée, présente une concentration en Clde l'ordre de 69,50.

Concentration en sulfates

- Eaux oligosulfatées à rSO_4 de 24 à 6
 La quasi totalité des eaux de la région sont "Eaux oligosulfatées et"

- les valeurs sont de rSO_4 plus grandes que 10.

Les points d'eau à l'E et au S.E. de la région se placent dans cette classe: ghanat n°18, sondage n°12, ghanat n°7, piézomètre n°1, sondage n°8, ghanate n°5, ghanat n°28, ghanate n°27, puits de Vamarzan n°24, sondage n°10, sondage n°19, sondage n°12 Zarin Abad, ghanat n°17, ghanat n°10, ghanat n°17, ghanat Hossein-Abad n°18, sondage n°14 Damghan.

- Eaux hypersulfatées à $rSO_4 > 24$

Nous avons les points d'eaux suivants dans cette catégorie:

ghanate n°4 Talu, ghanat n°33 Farahzad, ghanate n°35 Ali-Abad, sondage n°9 Hossein-Abad, sondage n°25 Bagh, sondage n°20, sondage de Tagh puits n°14 (la valeur atteint pour cet échantillon 58,99)

Ces points se placent dans les parties SW et S de notre région près de Damghandans les zones qui sont le plus influencées par les formations gypsifère du Paléogène vers l'W de la plaine de Mehmandoust.

- Eaux sulfatées normales à rSO_4 inférieur à 6

Ces eaux ne sont pas fréquentes dans la région sauf quelques échantillons du NE de la plaine où nous avons les eaux bicarbonatées sodiques.

puits n°19 Hadadez, ghanate n°13, sondage n°16, ghanate n°11, ghanate n°34 de Nosrat Abad.

Concentration en bicarbonates et carbonates

- Eaux hyperbicarbonatées à $rHCO_3 + rCO_3 > 7$. Appartiennent à cette catégorie les faciès 11, 9, 5, 4.

C'est à dire la zone chlorurée du Sud, les eaux bicarbonatées sodique du NE de la région ainsi que les eaux sulfatées calciques magnésiennes et les eaux sulfatées sodiques.

Donc d'une façon générale, les eaux les plus salées de la région.

Les points d'eaux qui appartiennent à cette classe sont:

puits n°14 de Ghader-Abad, puits n°3 du village Tagh, puits n°25 du village Bagh, puits n°9 Hossein Abad, sondage n°14 de Damghan, ghanat n°18, ghanat n°17, ghanat n°10, puits n°24 Vamerzan.

- Eaux bicarbonatées normales à $rHCO_3 + rCO_3$ compris entre 7 et 2

Sont dans cette catégorie les faciès 3 avec sondage n°12, ghanat n°7 et ghanate n°11 - faciès n°7 puits n°16, sondage n°12 de Zarin-Abad - faciès n°6 avec sondage n°19, ghanate n°13 et faciès n°8, faciès n°9 sondage n°20, ghanat n°35, faciès 11 Hadadez.

Dans les tableaux suivants nous récapitulons les classifications précédentes:

DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES

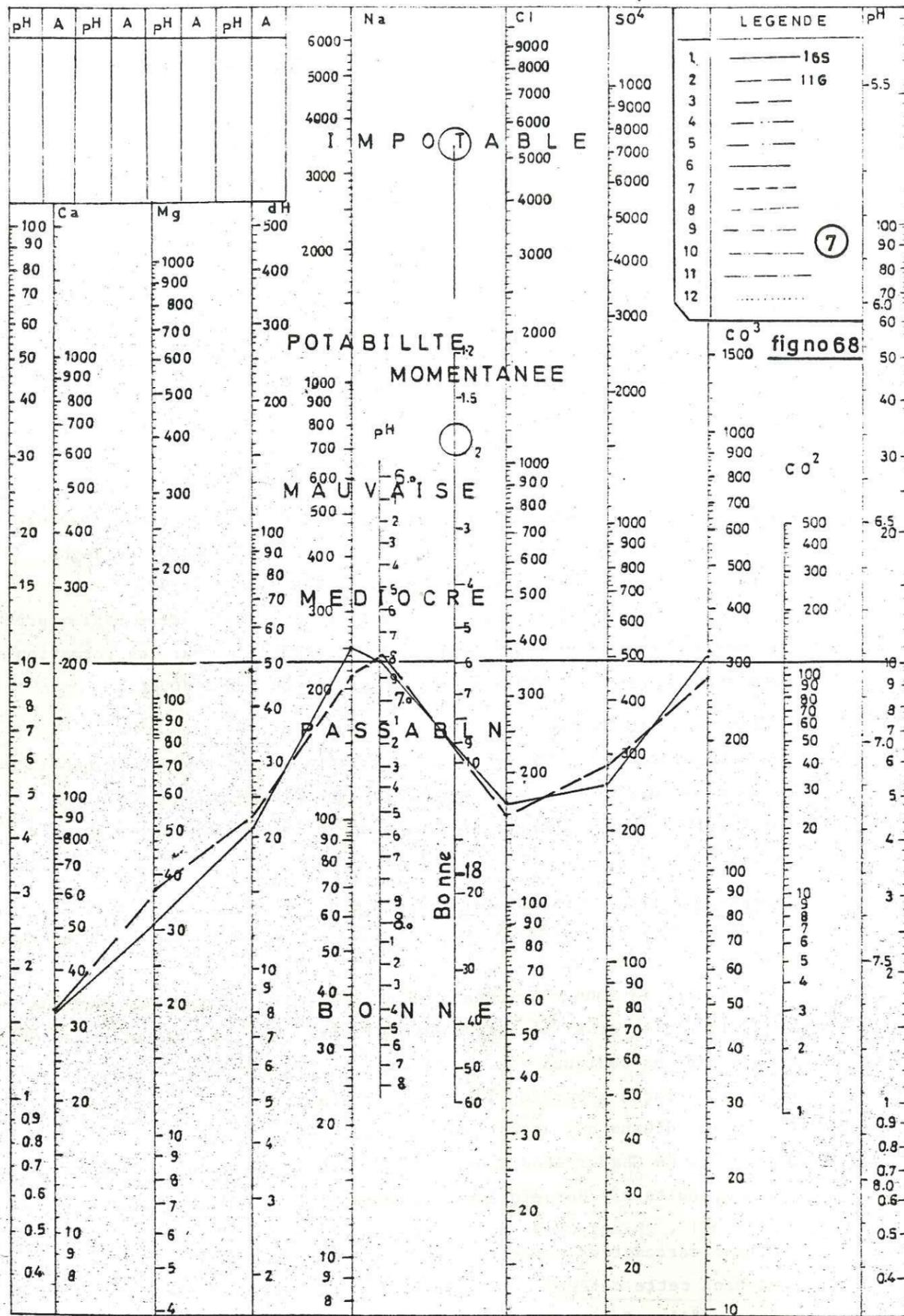


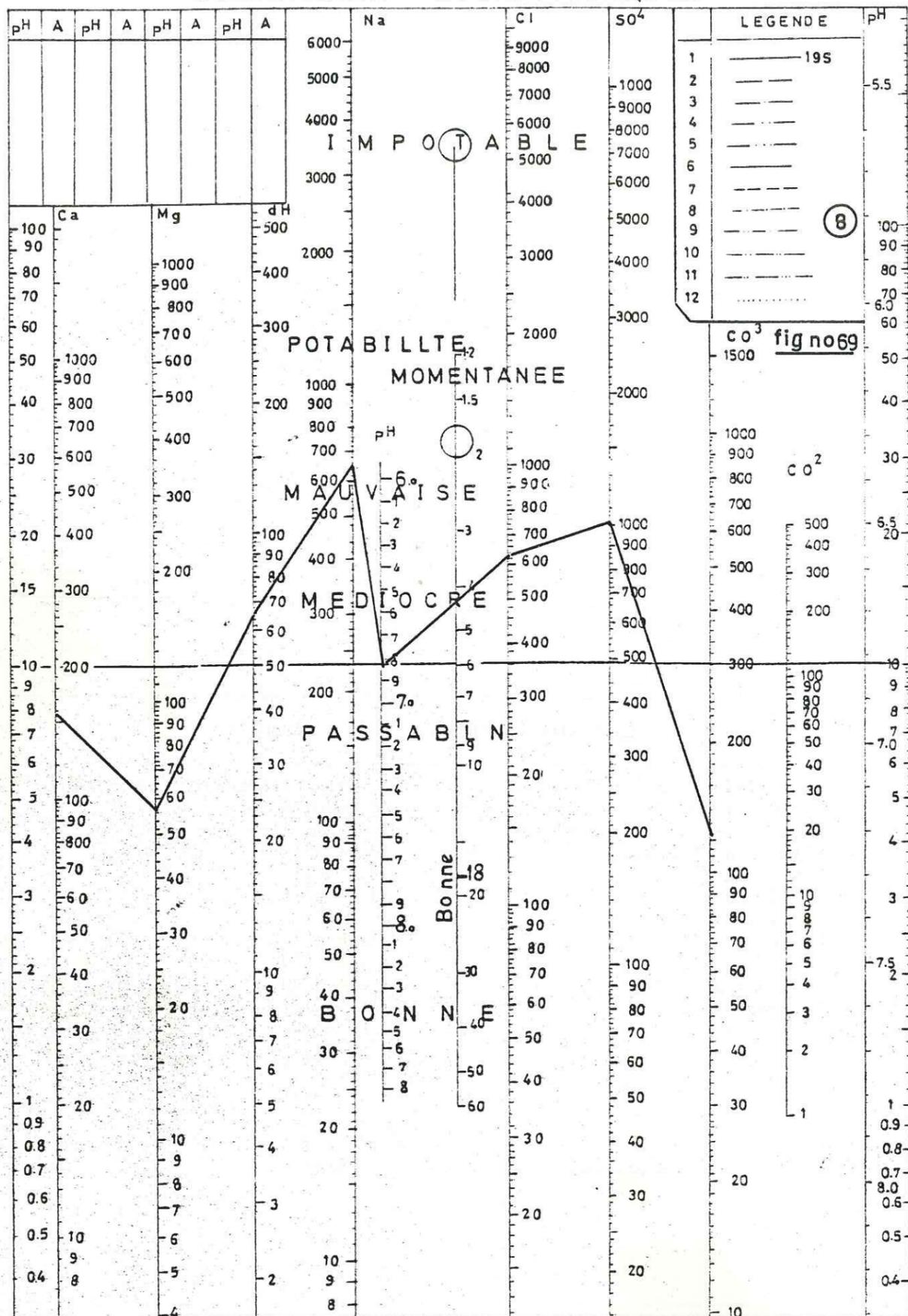
TABLEAU n°32

CONCENTRATION EN SULFATES		
Eaux sulfatées normales : Eaux oligo-sulfatées : Eaux hypersulfatées		
$rSO_4 < 6$	rSO_4 24 à 6	$rSO_4 > 24$
Puits n° 19	: Ghanate n°18	: Ghanat n°4
Ghanat n°13	: Sondage n°12	: Ghanat n°33
Sondage n°16	: Ghanat n°7	: Ghanat n°35
Ghanat n°11	: Piézomètre n°1	: Sondage n°9
Ghanat n°34	: Sondage n°8	: Sondage n°25
+ sources n°	: Ghanat n°5	: Sondage n°20
8, 7 et 12	: Ghanat n°28	: Puits n°14
	: Ghanat n°27	:
	: Puits n°24	:
	: Sondage n°10	:
	: Sondage n°19	:
	: Sondage n°12Z	:
	: Ghanat n°17	:
	: Ghanat n°10	:
	: Sondage n°14	:

TABLEAU n°33

CONCENTRATION EN BICARBONATES ET CARBONATES	
Eaux Hypercarbonatés	: Eaux bicarbonatés normales
$rHCO_3 + CO_3 > 7$: $7 > rHCO_3 + CO_3 > 2$
Puits n°14 Ghader Abad	: Sondage n°12
Puits n°3 Tagh	: Ghanat n°11
Puits n°3 Bagh	: Sondage n°16
Puits n°9 Hossein-Abad	: Ghanat n°7
Sondage n°14 de Damghan	: Sondage n°12Z
Ghanat n°18	: Sondage n°19
Ghanat n°17	: Sondage n°20
Ghanat n°10	: Ghanat n°13
Puits n°24	: Ghanat n°35
	: Sondage n°19H
	: Sondage n°10
	: Ghanat n°27
	: Ghanat n°28
	: et les sources
	: n° 7, 8, 12.

DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



5.7.3.3. Qualité des eaux souterraines

Il existe de nombreuses classifications des eaux au point de vue de la potabilité. Les classifications en usage en France où dans les pays européens sont trop exigeantes sur la qualité des eaux. Schoeller en 1937 propose une classification pour les pays de la zone aride ou semi-aride qui est plus adaptée aux conditions locales de notre région (tableau n°34)

TABLEAU N°34

CLASSIFICATION DES EAUX D'APRES LEUR POTABILITE					
Classe de potabilité absolue	Na : mg/l	Cl : mg/l	SO ₄ : mg/l	dh	rCa + rMg
1-Potabilité permanente, eau bonne sans saveur particulière	115	177,5	144	25	5
2-Potabilité permanente, eau potable à saveur faiblement perceptible	230	355	288	50	10
3-Potabilité permanente, eau médiocre saveur peu prononcée	460	710	576	100	20
4-Potabilité permanente, eau mauvaise, saveur peu désagréable	920	1420	1152	200	40
5-Potabilité momentanée, eau mauvaise saveur désagréable	1840	2840	2304	400	80
6- Impotabilité si supérieure à ..	1840	2840	2304	400	80

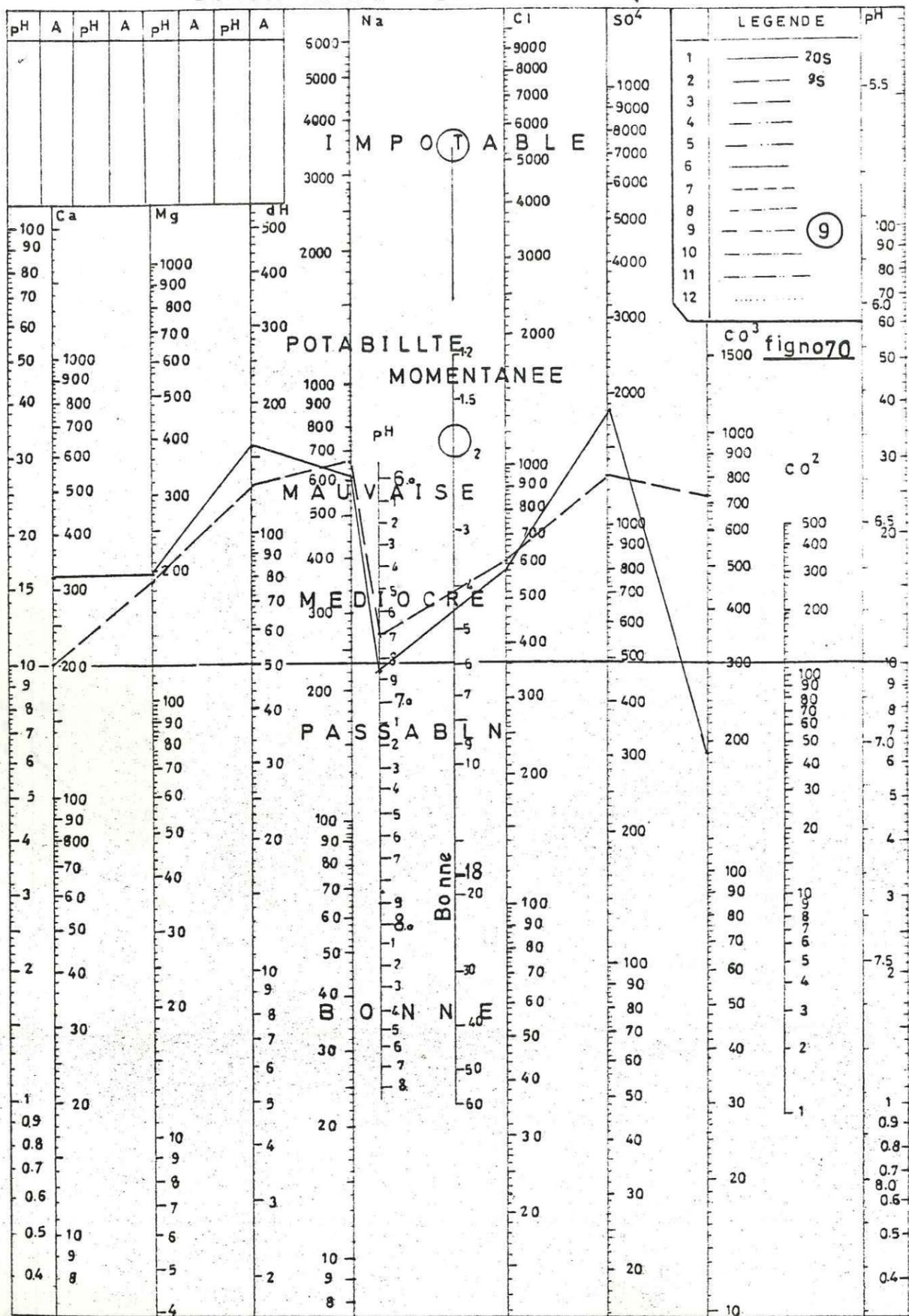
(Classification de H. Schoeller (1937))

Selon le schéma de potabilité des eaux souterraines (planche n°12), la quasi totalité des eaux de la région de Damghan est médiocre. Mais, il y a lieu de préciser que l'échantillon n°413 de Ghader-Abad est impotable en raison des trop fortes concentrations de chacun de ses constituants. Il n'est potable ni pour l'homme, ni pour les animaux quels qu'ils soient, ni pour l'irrigation.

ce sondage n°16 et aussi les ghanats n°11 et 13 au N.E. et le ghanat de Nosrat Abad à l'W sont situés dans la classe 2 des "eaux passables".

Les sources n°12, 8, 7 sur la bordure de la plaine sont situées dans la

DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



classe 1 "eaux bonnes" ainsi qu'à l'extrémité E de notre terrain nous avons le puits 6. Le puits privé de Hadadez n°19 comprend à la classe 2.

TABLEAU n°35

CLASSIFICATION de G. BOGOMOLOV				
Qualité des eaux souterraines	Résidu sec en mg/l	Dureté totale m.e.	Cl mg/l	SO ₄ mg/l
Douce, bonne	: 1000	: 7	: 150	: 300
Faiblement salée	: 2500	: 14	: 500	: 800
Assez salée	: 3500	: 20	: 700	: 1200
A la limite de salinité	: 4000	: 25	: 1000	: 1400
Pour le bétail	: 6000	:	: 2500	: 2500

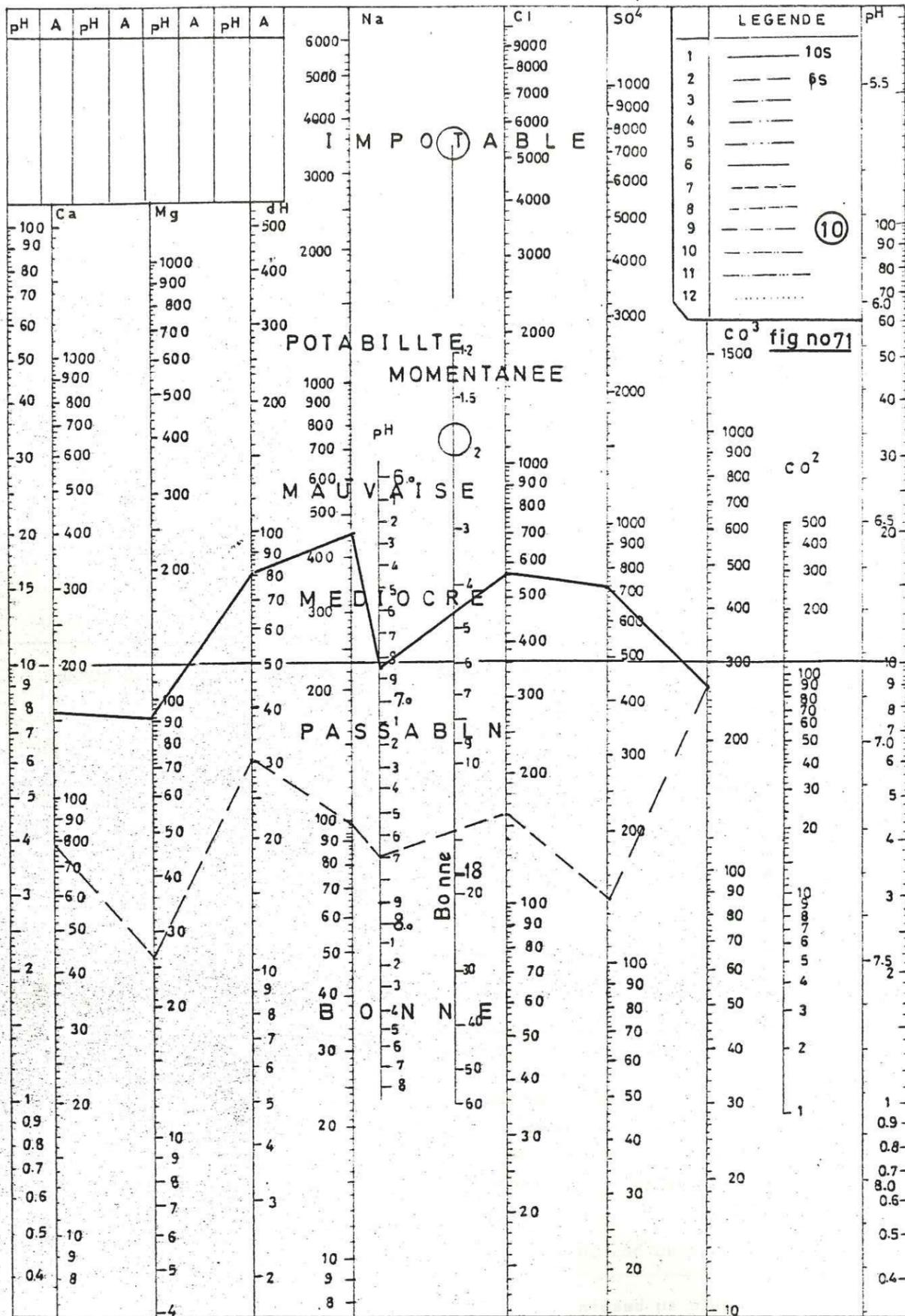
TABLEAU n°36

CLASSIFICATION DE V. KOUNINE (1944) POTABILITE POUR LES HOMMES						
Qualité de l'eau	Résidu sec mg/l	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	SO ₄ Mg/l
Bonne	: 1500	: 400	: 150	: 75	: 600	: 600
Satisfaisante	: 2000	: 500	: 250	: 125	: 700	: 800
Passable	: 2500	: 700	: 300	: 125	: 800	: 900
Mauvaise	: 3000	: 800	: 350	: 150	: 900	: 1000

TABLEAU n°37

CLASSIFICATION DE V. KOUNINE - EAUX CONSOMMEES PAR LES ANIMAUX						
Qualité de l'eau	Résidu sec mg/l	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	SO ₄ Mg/l
Bonne	: 3000	: 800	: 350	: 150	: 900	: 1000
Satisfaisante	: 5000	: 1500	: 700	: 350	: 2000	: 2500
Passable	: 7000	: 2000	: 800	: 500	: 3000	: 3000
Passable au besoin "été"	: 10.000	: 2500	: 900	: 600	: 4000	: 4000
Passable au besoin "hiver"	: 15.000	: 4000	: 1000	: 700	: 6000	: 6000

DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



La classification de Bogomolov de la qualité des eaux souterraines établie pour les régions subarides et arides du Karakhan et de l'Asie Centrale donne les limites sensiblement identiques à celles de Schoeller (tableau n°34.)

V. Kounine donne aussi une classification des eaux potables basée sur l'expérience pratique des habitants des déserts de l'Asie (1947) (tableau 35).

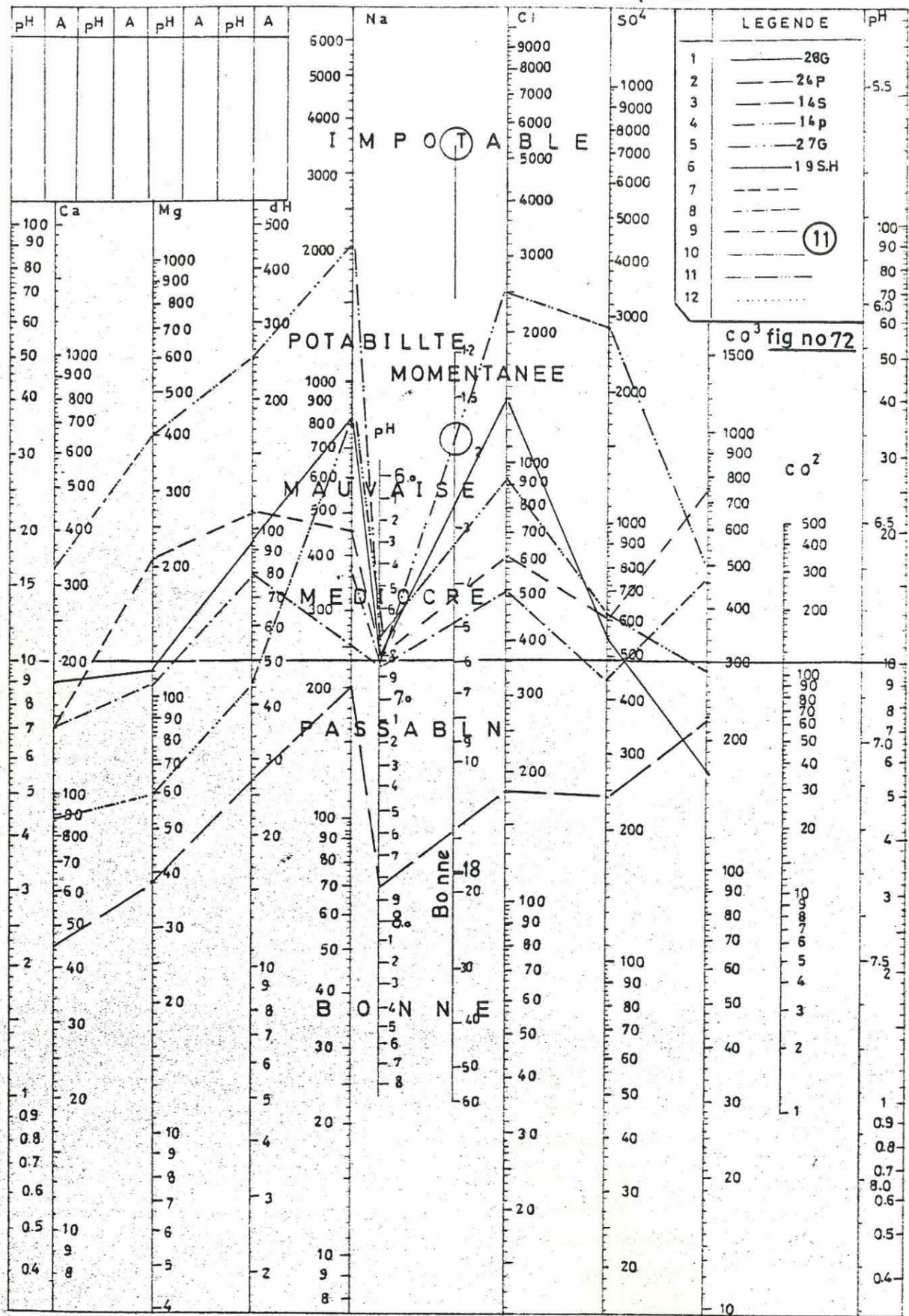
Cette classification est dans l'ensemble plus sévère que celle de Schoeller c'est à dire que les limites supérieures de salinité sont plus faibles. Les eaux ayant une teneur supérieure à 5 en 6g/l ne peuvent être consommées qu'exceptionnellement. Des troubles peuvent apparaître au bout de quelques jours. Par contre, les animaux peuvent boire des eaux de 15 à 20g. En hiver les chameaux et les moutons peuvent boire l'eau de la mer Caspienne (15g/l). La consommation par les paysans d'eaux chargées à 3g/l est chose courante. De 3 à 5g/l, l'eau est employée pour l'alimentation du bétail et de la volaille. Nombreuses sont les plantes qui supportent des salinités de 5g/l. Dans le Sud de Damghan poussent les pistaches et les grenadiers.

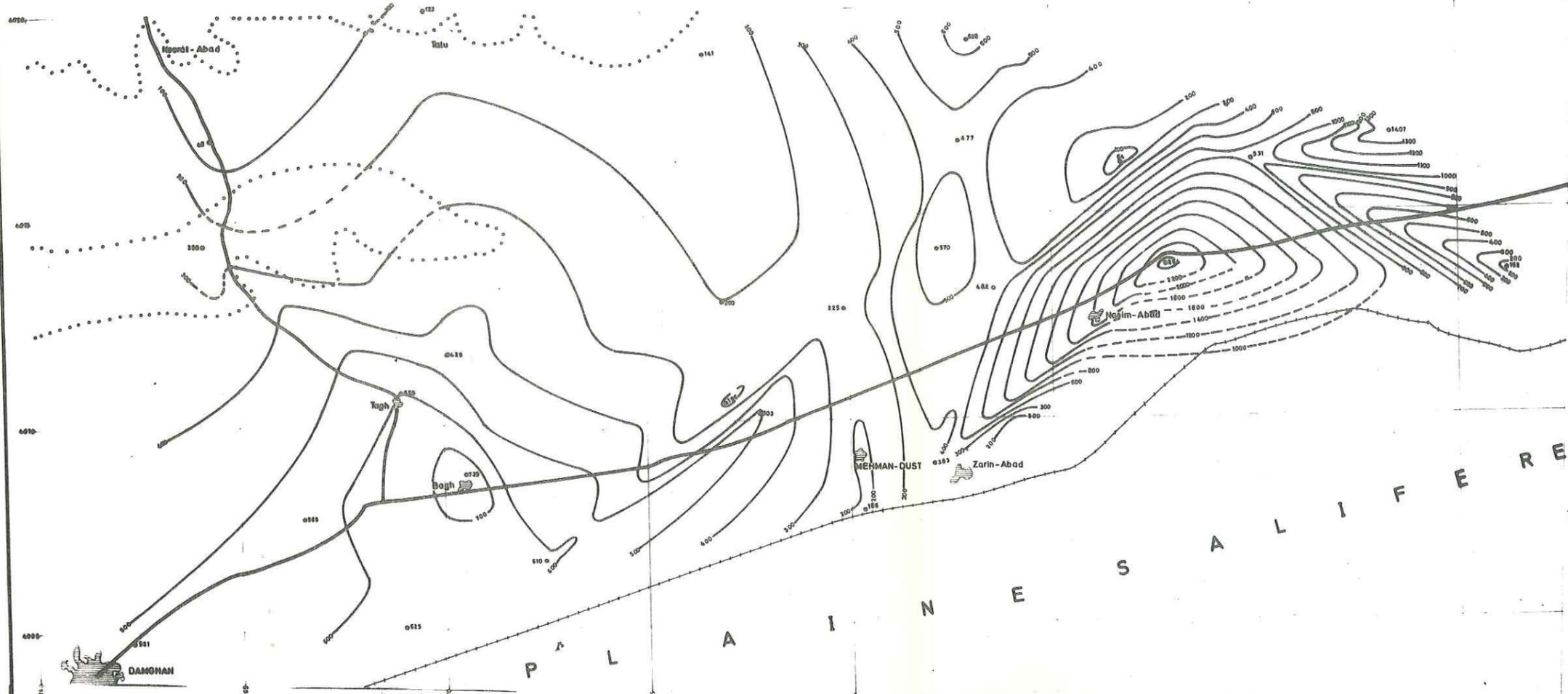
En conclusion, les meilleures eaux de la région de Damghan sont celles qui sont dans la zone de Nosrat-Abad et Babavali.

5.7.3.4. Conclusion sur les caractères physico-chimiques des eaux souterraines de la région de Damghan

L'étude des propriétés chimiques des eaux souterraines et de la répartition des faciès chimiques, apporte quelques confirmations aux hypothèses géologiques formulées dans les chapitres précédents. L'inégale répartition des masses alluviales entraîne celle des masses d'eaux souterraines, et par suite une forte distinction dans la répartition des faciès chimiques. Les zones alluviales récentes et modernes qui représentent de bons aquifères, sont saisonnièrement alimentées par l'infiltration des eaux de crues, comme le confirment les faibles concentrations de ces eaux. Par contre les zones alluviales anciennes que nous avons isolées par leur origine et la nature de leur matériaux des zones directement alimentées par les épandages de crues sont caractérisées et individualisées par des faciès chimiques différents. Le chimisme de l'eau est donc sensible aux conditions du milieu et des bordures.

DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



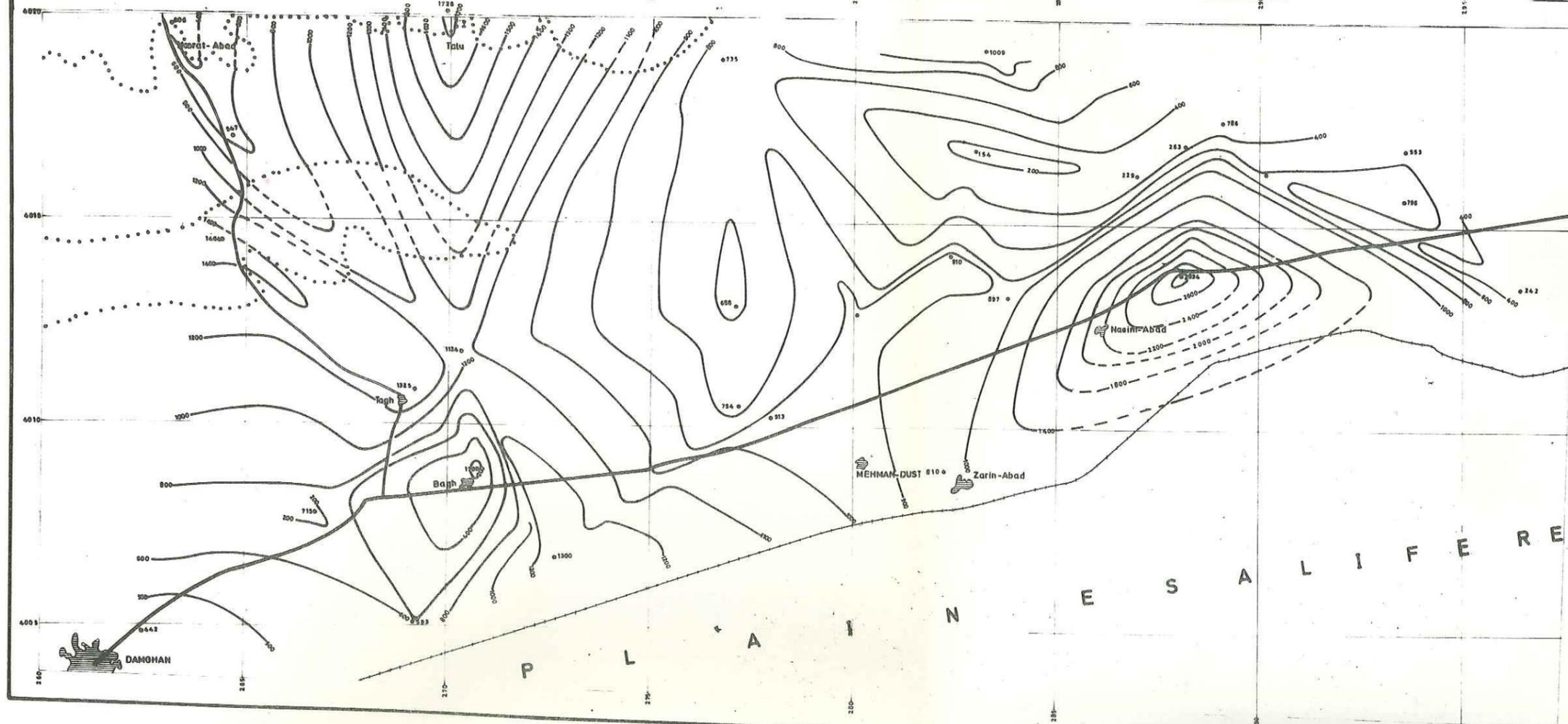


———— Courbe d'égal teneur en Chlore mg/lit
 ———— Route asphaltée
 ———— Chemin de fer
 Limite de la plaine
 Ville-Village
 ———— Route non asphaltée

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE
 DE MEHMANDOUST DAMGHAN IRAN
 Par M. MAHVI
 CARTE DE TENEUR EN CHLORE DES
 EAUX DE LA NAPPE (Printemps 1975-1976)

Echelle 0 2.5 Km

PLANCHE no 18

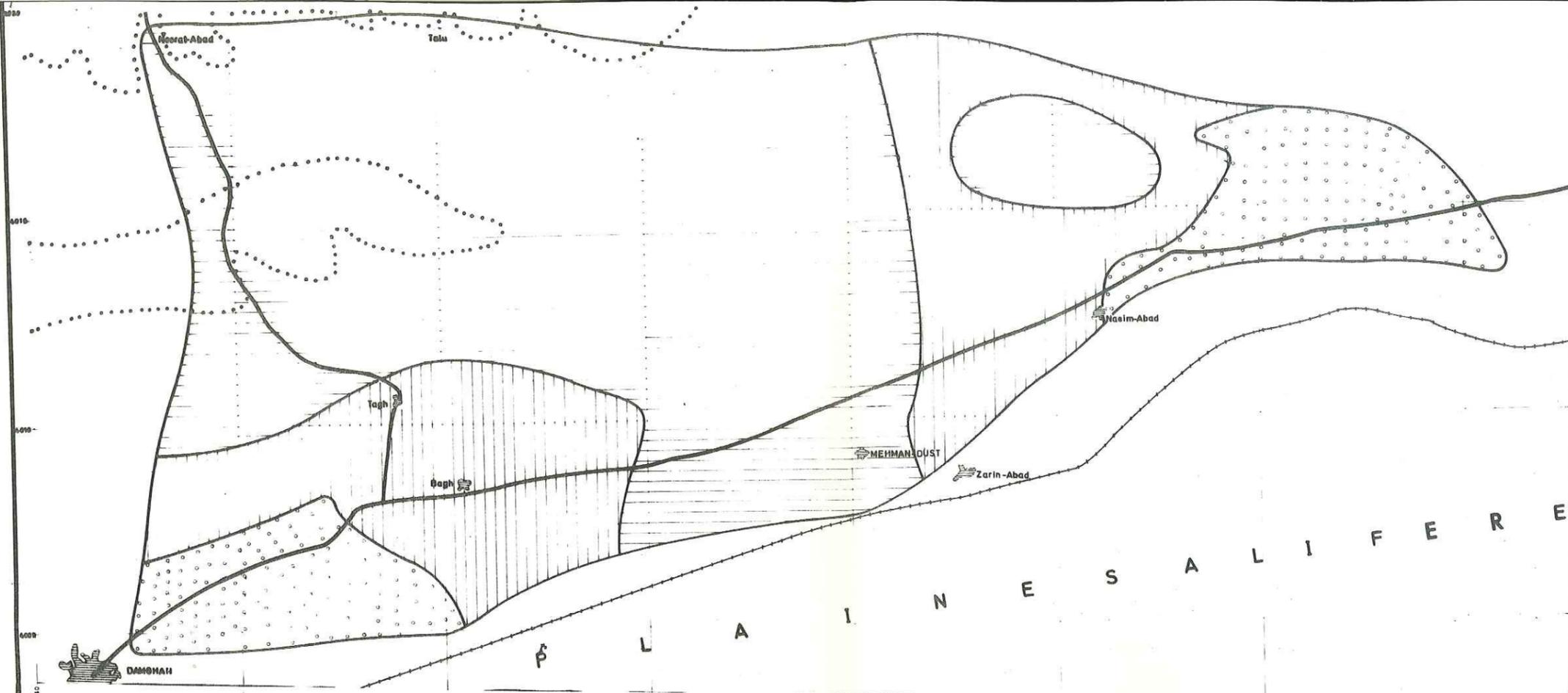


———— Isogone de 50 mg/l
 ———— Route asphaltée
 ———— Chemin de fer
 Limite de la plaine
 Ville-Village
 ———— Route non asphaltée

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA
 PLAINE DE MEHMANDOUST DAMGHAN
 IRAN
 Par M. MAHVI
 CARTE DE TENEUR EN SOULPATE
 DES EAUX DE LA NAPPE (Printemps 1976)

Echelle 0 2.5 Km

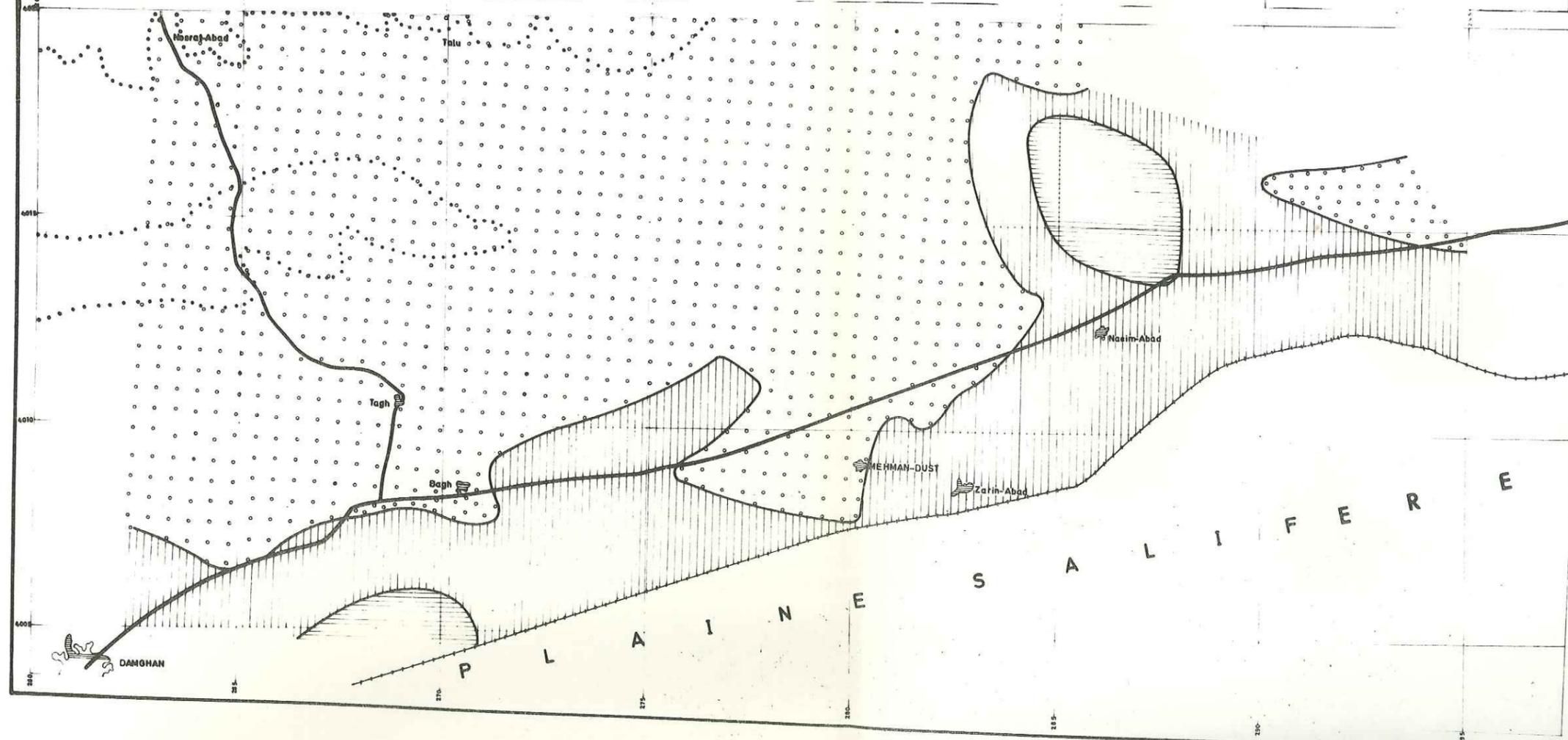
PLANCHE no 17



ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST DAMGHAN IRAN
 PAR M. MAHVI Printemps 1976
 ISOLIGNES DES RAPPORTS $r_{Soq/Cl}$

Echelle 0 2.5Km

N
 ↑
 PLANCHE no 20



LEGENDE

0.5-1
 1-2
 >2
 Route asphaltée
 Chemin de fer
 Limite de la plaine
 Ville-Village
 Route non asphaltée

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST DAMGHAN IRAN
 PAR M. MAHVI Printemps 1976
 ISOLIGNES DES RAPPORTS $r_{Mg/Ca}$

Echelle 0 2.5Km

N
 ↑
 PLANCHE no 19

CHAPITRE VI

EVALUATION DES RESSOURCES EXPLOITABLES

- Généralité
- Exploitation actuelle
- Ressources en eaux souterraines de la plaine de Mehmandoust
- Essai de bilan et balance hydrologique
- Ajustement et conclusion

6 - EVALUATION DES RESSOURCES EXPLOITABLES

GENERALITES

Nous essayerons de calculer les ressources en eaux souterraines exploitables de la plaine de Mehmandoust d'après les résultats obtenus à partir des études sur l'écoulement de la nappe, sur l'alimentation des nappes souterraines et sur le remplissage plio-pléistocène de la plaine.

6.1. EXPLOITATION ACTUELLE

Les eaux souterraines de la plaine sont surtout exploitées pour les besoins en eau d'irrigation des zones agricoles des villages situés au Sud de la route Damghan-Chahroud et aussi pour les besoins d'alimentation humaine de ces villages.

La majeure partie de l'exploitation dans la région est effectuée par les forages. Le système ancien des ghanats est encore valable: le débit de ces ghanats est estimé en 1976 comme nous l'avons montré dans le tableau n°26 du chapitre précédent à $4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

Les puits et les forages équipés d'un moteur sont exploités avec des débits totaux de $1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

Le volume total exhauré de la nappe de la plaine de Mehmandoust sur une superficie de 590 km^2 est donc égal à $5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

6.2. RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST

Les ressources en eaux souterraines de la plaine de Mehmandoust peuvent être subdivisées comme cela se fait généralement en:

- Masse d'eaux régulatrices: c'est le volume d'eau dans la zone des fluctuations des nappes d'eaux souterraines libres. Ce volume varie au grès des fluctuations saisonnières et annuelles.

- Réserves permanentes totales: C'est le volume d'eau des nappes à surface libre situé au-dessous de cette surface. Il ne varie qu'à l'échelle des temps géologiques.

- Réserves dynamiques: C'est la quantité d'eau qui passe par une section de l'horizon aquifère, normale à la direction de l'écoulement des eaux souterraines.

- Ressources exploitables: C'est le volume d'eau souterraine qui peut être judicieusement extraits sans altération du régime d'exploitation et de la qualité de l'eau pendant la durée prévue. Les paramètres qui déterminent les volumes des réserves d'eaux souterraines de la plaine, sont les caractéristiques hydrodynamiques des nappes tels que:

T = Kh: la transmissivité qui s'exprime en m^2/s .

K: la perméabilité qui s'exprime en m/s.

h: l'épaisseur de l'horizon aquifère en m.

me: la porosité efficace pour la nappe libre qui s'exprime en %.

S: le coefficient d'emmagasinement pour la nappe profonde qui s'exprime en %.

Ces paramètres sont déterminés:

- à partir de l'étude granulométrique qui a porté sur les échantillons de cuttings du sondage n°24 près de la ville de Chahroud-

- à partir de la méthode d'Archie;

- à partir des essais de pompage effectués sur les forages importants de la plaine de Mehmandoust.

6.2.1. Etude granulométrique

Notre étude granulométrique a porté sur des échantillons (13 échantillons) prélevés lors de l'exécution de forage n°24 près de la ville de Chahroud. Les résultats des analyses granulométriques sont présentés sur les diagrammes fig.n°36 à 39 du chapitre IV.

Nous avons calculé à partir de ces diagrammes par la formule d'Allen-Hazen: $K = 100d^{2.10}$ K en cm/s d10 en cm

Les valeurs de la perméabilité des horizons où ont été prélevés les divers échantillons.

Le tableau suivant montre les valeurs de perméabilités et de transmissivités pour chacun des niveaux.

Il ressort de ces résultats que seul l'horizon 100 - 125m est vraiment en accord avec les essais de pompage. Les autres échantillons du sondage 24 ont des perméabilités et porosités très élevées qui sont dues au remaniement et à l'entraînement des parties fines lors de l'extraction des échantillons du sondage.

.../...

TABLEAU n°38

Prof du niveau et son numéro	Perméabilité m/s	Epaisseur en m	Transmissivité en m ² /s
1 - 8 5	-	8	-
13 - 17 6	1,6 x 10 ⁻³	4	6,4 x 10 ⁻³
21 - 36 7	7 x 10 ⁻³	15	0,0105
38 - 60 8	0,01	22	0,22
60 - 75 9	0,014	15	0,21
80 - 85 10	0,1	5	0,5
85 - 90 11	3,8 x 10 ⁻³	5	0,019
90 - 95 12	1,2 x 10 ⁻⁴	5	6 x 10 ⁻⁴
95 - 100 13	1,6 x 10 ⁻³	5	8 x 10 ⁻³
100 - 110 14	2,1 x 10 ⁻⁵	10	2,1 x 10 ⁻⁴
110 - 115 15	1 x 10 ⁻³	5	5 x 10 ⁻³
115 - 125 16	4 x 10 ⁻⁵	10	4 x 10 ⁻⁴
125 - 130 17	0,078	5	0,39

FACTEUR DE FORMATION

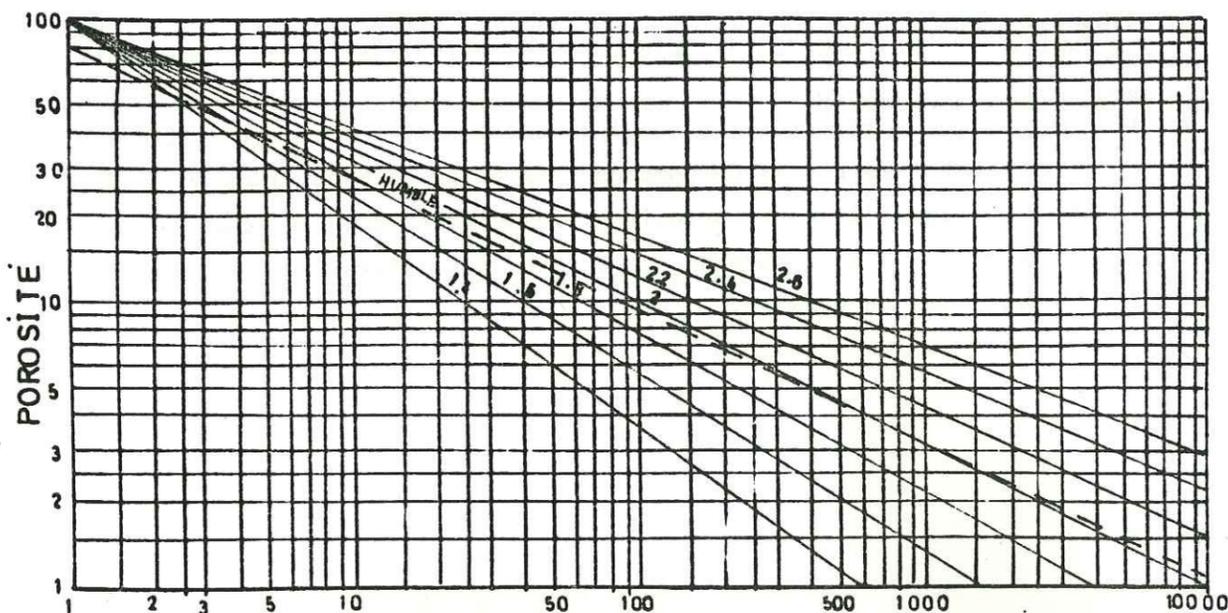


Fig. 73 Relations entre le facteur de formation et la porosité

6.2.2. Calcul de la porosité par la méthode d'Archie

6.2.2.1 Principe de la méthode

(Interprétation des diagraphies Schlumberger 1973)

Il a été établi expérimentalement que la résistivité d'une formation propre, c'est à dire contenant une part peu importante d'argile est proportionnelle à la résistivité de la solution avec laquelle elle est complètement saturée. La constante de proportionnalité est appelée F: facteur de formation. Celui-ci, si R₀ est la résistivité d'un échantillon de formation saturée à 100% par une solution de résistivité R_w, est égal à $\frac{R_0}{R_w}$

La porosité ϕ d'une roche est la fraction du volume total occupé par des pores ou des vides. Le facteur de formation est une fonction de la structure des pores et de la distribution de la taille de ces pores, il est donc une fonction de porosité.

Archie propose la formule $F = \frac{a}{\phi^m}$ ou m est le facteur de cimentation et "a" une constante déterminée empiriquement. Des résultats satisfaisants sont obtenus couramment avec $F = \frac{0,81}{\phi^2}$ dans les sables et $F = \frac{1}{\phi^2}$ dans les formations compactes. Dans leur domaine d'application, ces deux formules diffèrent légèrement de la formule de Humble : $F = \frac{0,62}{\phi^{2,15}}$. Tandis que la formule de Humble est satisfaisante pour les roches détritiques, de meilleurs résultats sont obtenus en utilisant $F = \frac{1}{\phi^2}$ pour les roches crayeuses et $F = \frac{1}{\phi^{1,2 \text{ à } 2,5}}$ pour les roches compactes ou oolithiques. Pour ces dernières, m peut atteindre la valeur de 3. Au-dessous d'environ 17% de porosité, la formule de Humble donne généralement des porosités qui sont trop faibles.

L'exposant m est en relation avec la forme des chenaux principaux qui généralement est contrôlée par le degré de cimentation de la formation; les estimations communément utilisées pour m sont les suivantes:

Formation	m
non consolidée	1,3 - 1,4
légèrement consolidée	1,4 - 1,6
modérément consolidée	1,6 - 1,8
consolidée	1,8 - 2,2
fortement consolidée	2,2 - 2,6

Les formations non détritiques, bien cimentées et plus vieilles ont des facteurs de formations plus élevés que les formations détritiques non cimentées et plus jeunes.

Donc la détermination de la porosité, à partir du facteur de formation, est basé sur l'affirmation qu'il existe une partie de la formation étudiée qui est saturée par une solution de résistivité connue et que la résistivité de cette partie de formation peut-être mesurée. C'est ce qui se passe lors d'une diagraphie: on a un forage plein de boue dont on mesure la résistivité; la diagraphie proprement dite mesurant la résistivité des terrains. On peut alors calculer F en choisissant un valeur m et en utilisant l'abaque (fig.n°73) on obtient la valeur de la porosité.

Grace à la campagne géophysique de sondages électriques et à partir des diagraphies des carottages électriques, nous avons pu calculer la porosité. Les résultats sont récapitulés dans le tableau n°39.

Conclusion

Dans le chapitre n°V nous avons trouvé une valeur moyenne du coefficient d'emménagement de l'ordre de 1% à partir de la droite de rabattement logarithme du temps, établie lors de l'essai de pompage.

La méthode d'Archie montre de résultats plus grands et la valeur moyenne de la porosité serait de l'ordre de 25% pour toute la plaine de Mehmandoust.

Comme les mesures géophysiques et les carottages électriques ont un caractère plus général que les essais de pompage, le chiffre de 25% calculé à partir des diagraphies de carottages électriques, pourrait être plus représentatif de l'ensemble de l'aquifère de la plaine de Mehmandoust.

6.2.3. Essais de pompage

Lors de chaque mise en service d'un forage, nous avons procédé à un essai de pompage sur celui-ci. C'est ainsi que plusieurs essais de pompage ont été effectués sur tous les forages que nous avons réalisés en 1975-1976.

Dans le chapitre qui précède nous avons étudié en détail les résultats des essais et nous les avons récapitulé dans le tableau n°28. Pour le calcul des volumes des différentes ressources en eaux

TABIEAU n°39

METHODE D'ARCHIE à PARTIR DES DIAGRAPHIES				METHODE D'ARCHIE à PARTIR DE PROFILS DE RESISTIVITES				
Forage	16	12	23	19	20	16	12	23
Intervalle	-130-200	-137-200	107-150	254-266	-151-182	-	-	-
Lithologie	Sables, grès	Sables, grès	Sables, grès	Conglomé- rat conso- lidé	Conglomé- rat conso- lidé	Sables, grès	Sables, grès	Sables, grès
Fac. m	1,6 - 1,8	1,6-1,8	1,6-1,8	1,8-2,2	1,8-2,2	1,8-2,2	1,8-2,2	1,8-2,2
RO ohm/m	83	68	52	54	62	68	100	68
θ°	25°	25	25	25	25	25	25	25°
Rw ohm / m	8,5	6	9	2,2	2	8,5	6	9
Fac F	9,8	11	6	24,5	31	8	17	7,5
Formation	Quaternaire	Quaternaire	Quaternaire	F. rouge Néogène	F. rouge du Néogène	Quater- naire	Quater- naire	Quaternaire
	24% - 28%	21%-26%	32%-39%	16%-23%	15%-22%	28%-32%	17%-21%	26-31

souterraines de la plaine de Mehmandoust, nous adoptons les valeurs suivantes:

de la transmissivité: $T = 1,6 \times 10^{-3}$

nous avons trouvé la valeur de la porosité efficace par la méthode du point arbitraire de $m_e=1\%$

$K = 2 \times 10^{-5}$ m/s après avoir étudié les épaisseurs utiles à partir des diagrammes géophysiques et aussi des profils de sondage électrique.

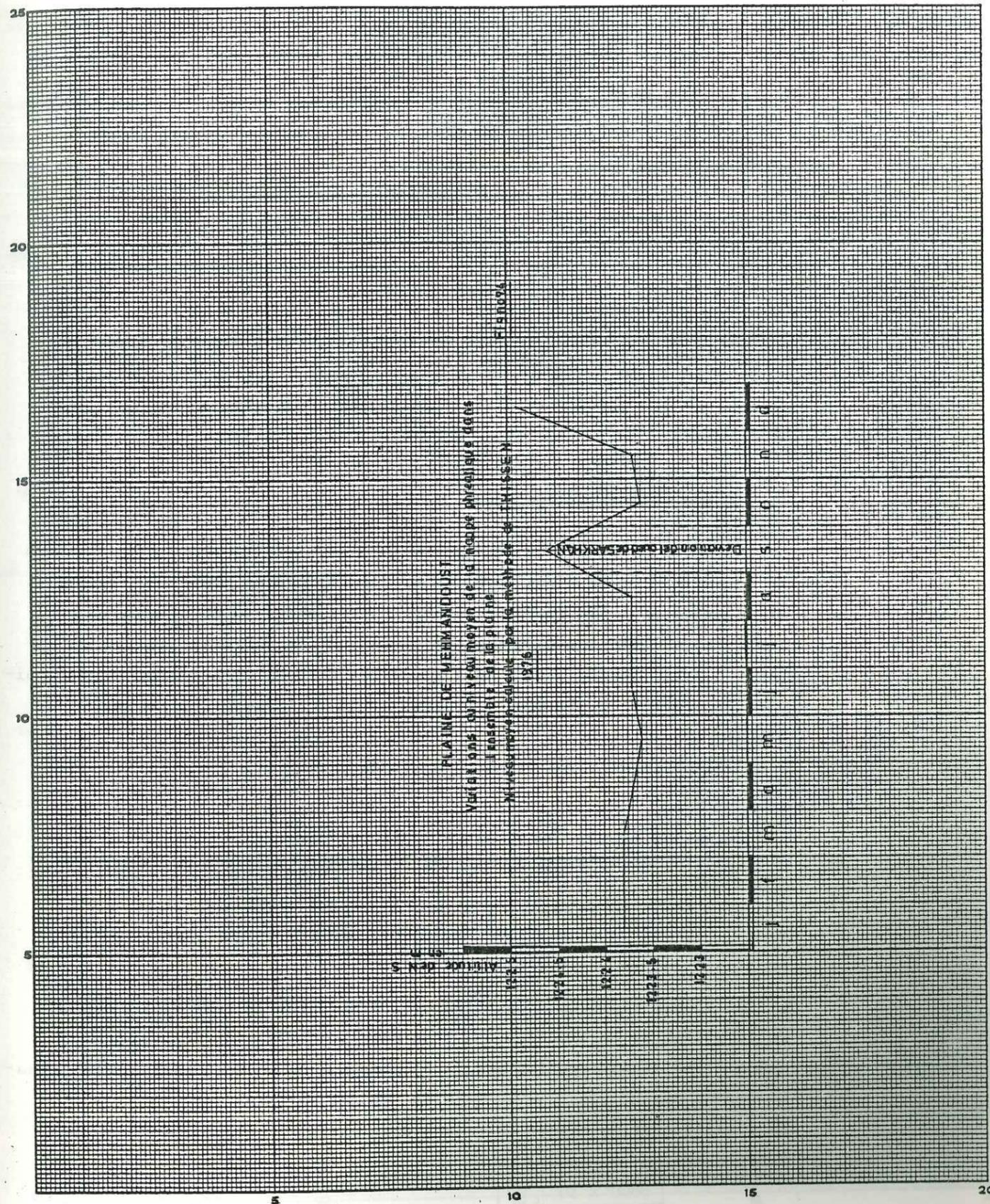
6.2.4. Fluctuations du niveau de la nappe phréatique

Comme nous avons dit dans le chapitre d'étude de la nappe souterraine les "basses eaux" se situent en automne, dans la deuxième semaine de septembre. Les "hautes eaux" doivent se situer en Avril. Les amplitudes sont plus faibles dans les zones correspondant aux glacis (plaine de Mehmandoust), parceque dans l'état actuel d'exploitation des eaux souterraines, il est difficile d'évaluer ces variations, les pompages étant très actifs pendant la période sèche; les hautes eaux correspondent à la faible alimentation de l'automne et les basses eaux à la fin de la période hivernale, car l'influence des pompages est prépondérant, ceci est montré par le diagramme de variation du niveau moyen de la nappe, dans l'ensemble de la plaine, par la méthode de Thissen, en 1976. En septembre 1976, le niveau piézométrique a remonté de 100cm par rapport au mois d'Avril "hautes eaux", ce qui est dû d'une part à la dérivation de l'oued Sarkhan dans la plaine et d'autre part à l'arrêt du pompage en vue de l'irrigation agricole (fig.n°74) . Les figures n°75 à 77 montrent aussi les variations mensuelles du niveau statiques de la nappe dans les puits n° 1, 16, 12, 19 et 20.

Certains points qui sont loin du rayon influencé par les pompages indiquent un niveau haut à la mi-printemps (hautes-eaux) et un niveau bas à la mi-automne (basses eaux), tels que les sondages n° 20, 16 et 12.

L'établissement de ces diagrammes montre que le niveau des eaux souterraines a baissé de 1975 à 1976 (fig. n°75-76), en raison d'une diminution des précipitations en 1976. Les variations annuelles du niveau statique de la nappe souterraine sont tributaires des variations pluviométriques de la région.

Malgré une faible amplitude de variation du niveau statique entre basses eaux et hautes eaux en 1976, nous avons essayé de calculer la moyenne arithmétique de la variation du plan d'eau entre les deux saisons ci-dessus, sur les puits, forages et puits mères des ghanates, loin des zones d'influence des pompages équipés. Le chiffre obtenu est de l'ordre de 22cm en 1976.



6.2.5. Les ressources régulatrices

C'est le volume de l'eau qui passe au cours d'une année au-dessus du niveau le plus bas de la nappe. Il joue donc le rôle de régulateur du débit de toute la nappe. Ce volume est donné par:

$$V_r = A \cdot h \cdot m_e$$

A = superficie de la plaine de Mehmandoust; elle est égale à 590 km² ou 590 x 10⁶ m² (les kévirs non compris)

h = valeur de la variation du plan d'eau; h = 22 cm

m_e = valeur de la porosité efficace de l'aquifère = 25 % (calculée par la méthode d'Archie).

$$V_r = 32 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_r = 590 \times 10^6 \times 0,22 \times 0,25$$

Si l'on prend la valeur fournie par les essais de pompage = 1% on a

$$V_r = 1,2 \times 10^6 \text{ m}^3$$

On peut penser que les réserves régulatrices sont comprises entre ces deux valeurs

$$16 \times 10^6 \text{ m}^3$$

6.2.6. Les réserves permanentes

C'est le volume d'eau emmagasiné au-dessous de la zone de fluctuation de la surface de la nappe phréatique. Il comprend la nappe superficielle et la nappe profonde. Dans la région, nous n'avons pu distinguer qu'une seule nappe libre des alluvions de la plaine. La puissance moyenne de la nappe d'après les résultats de l'étude des forages et des mesures géophysiques est estimée à 75m d'où le volume d'eau intéressant les nappes de la plaine.

- le volume intéressant la nappe profonde

$$V = A \cdot h \cdot S$$

A = Superficie de la plaine : 590 x 10⁶ m²

h = puissance moyenne de la nappe profonde: 75m

S = coefficient d'emmagasinement de l'aquifère (calculé par la méthode d'Archie)

$$590 \times 10^6 \times 0,25 \times 75$$

$$V = 1100 \times 10^7 \text{ m}^3$$

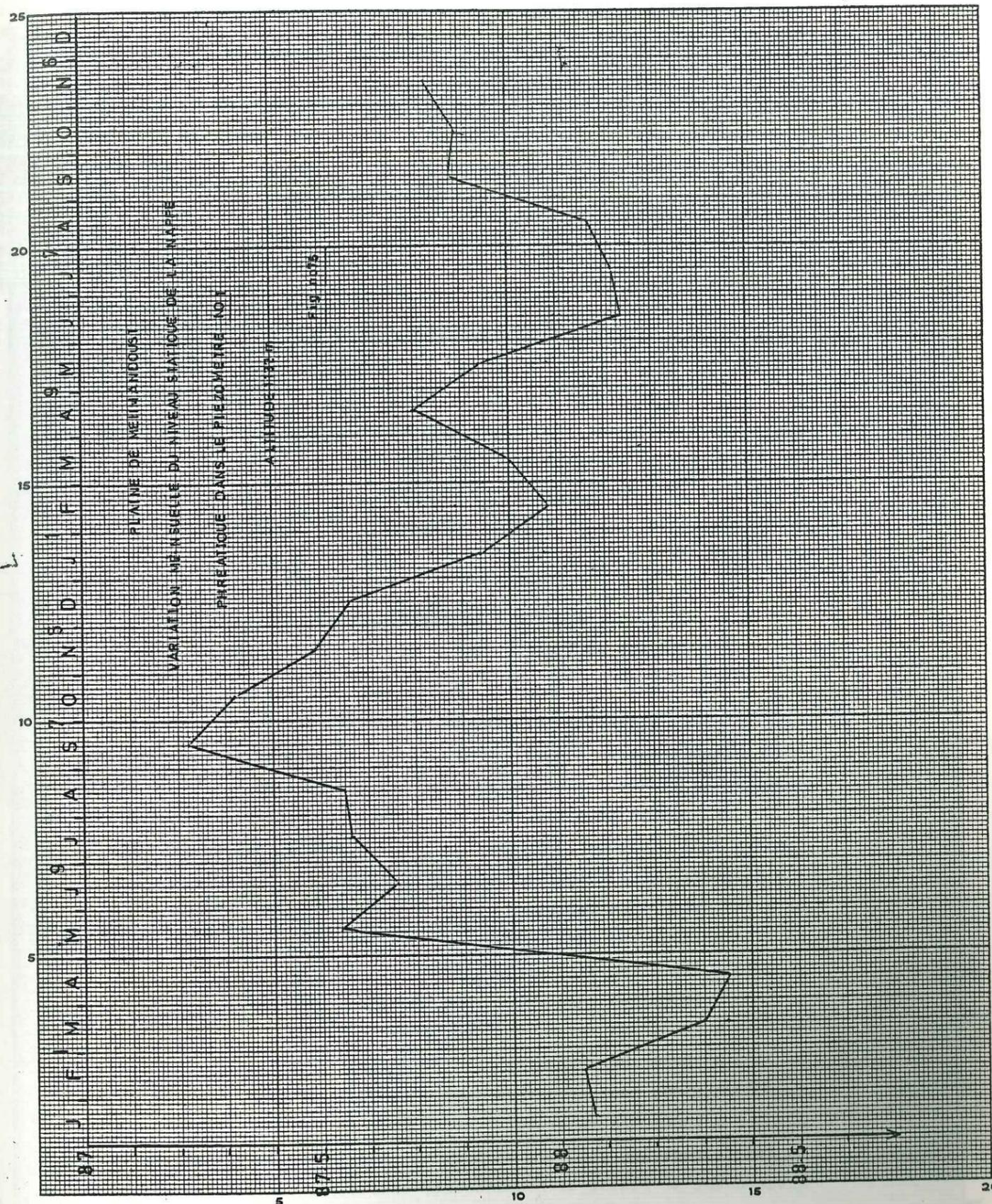
ou si S = 1%

$$V = 440 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Ce volume représente les réserves permanentes en eaux souterraines de la plaine de Mehmandoust. Si l'on admet un valeur de S proche de 1% comme l'indiquent certains essais de pompage, le volume des réserves permanentes ne serait plus que 44 x 10⁷ m³ ce qui est peu.

La réalité doit se situer entre ces deux chiffres, c'est à dire être de l'ordre de

$$6000 \times 10^6 \text{ m}^3$$



6.2.7. Apports à la nappe

Dans ce paragraphe, nous allons essayer d'estimer les ressources totales en eau dans les versants situés au Nord de la plaine de Mehmandoust; comme notre plaine n'a pas de limites latérales nettes et n'est pas un bassin typique fermé, nous serons obligés de calculer les ressources dynamiques à partir de la carte piézométrique moyenne de 1976 pour établir un bilan plus sûr.

6.2.7.1. Les apports à partir des sources bordières de la plaine qui débouchent dans les comblements d'alluvions

A la limite nord de la plaine de Mehmandoust existent quelques sources qui servaient pour l'irrigation des petits jardins des oasis situées entre la montagne et la plaine. Une partie de ces eaux s'infiltrer et l'autre partie est évaporée par les arbres. L'alimentation de la plaine par les sources de Nosrat-Abad-Talu-Kalavan-Babavali est de l'ordre de $3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

6.2.7.2. Apports à la nappe par les précipitations sur le bassin de Tazareh

D'après les calculs de l'évapotranspiration réelle pour les différentes tranches d'altitude (chapitre: climatologie), nous pouvons déduire les ressources en eau disponibles à partir du bassin de Tazareh.

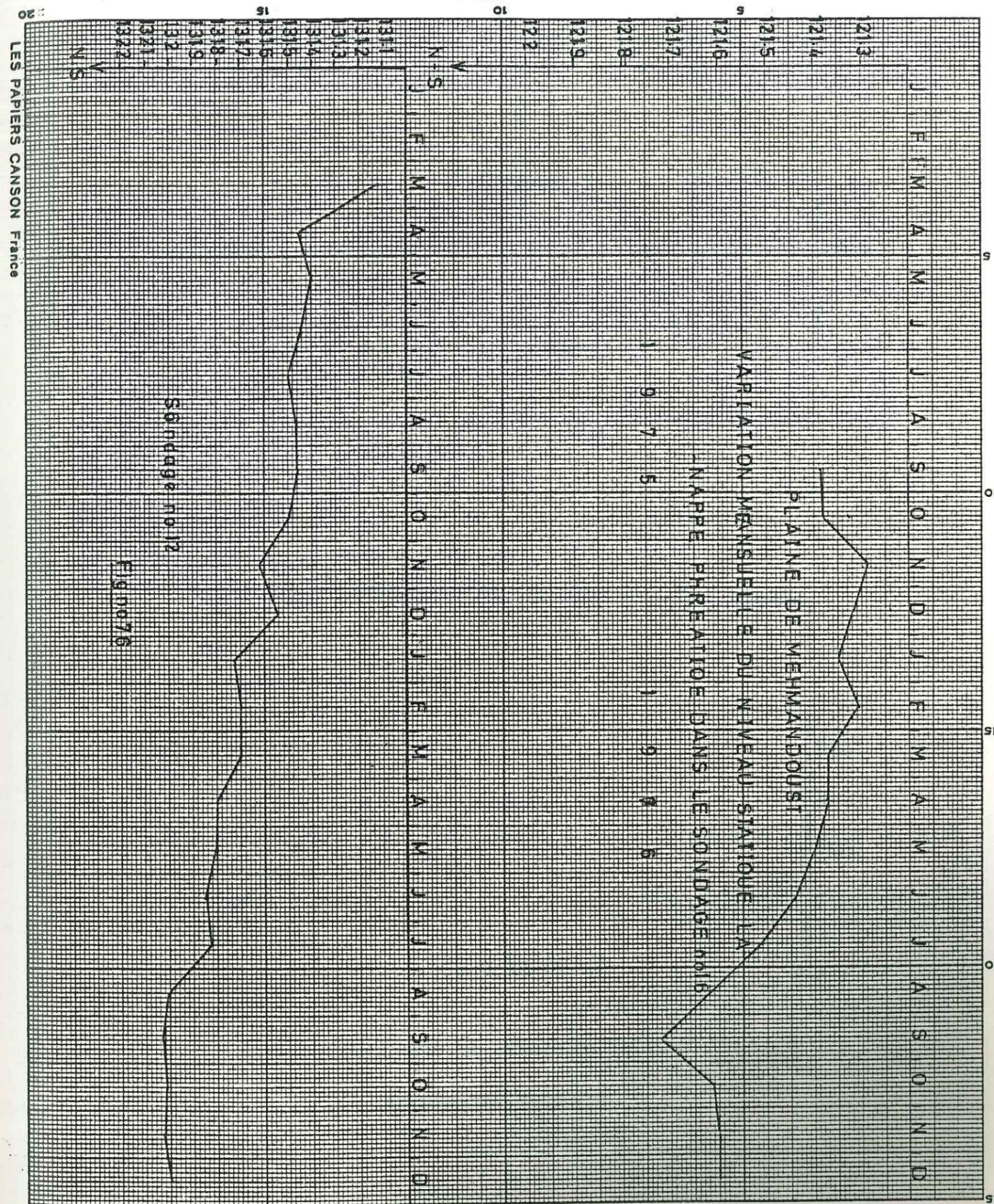
Après déduction de l'évapotranspiration et en admettant qu'en dessous de l'altitude 2000m la totalité des précipitations retourne à l'atmosphère par l'évapotranspiration.

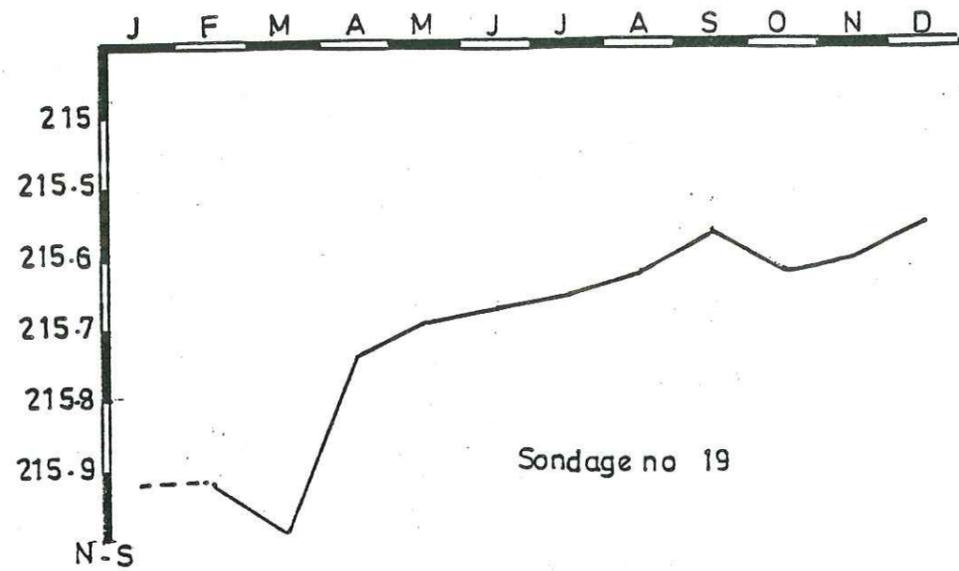
On a les valeurs suivantes:

- De 2000 à 2200m les ressources sont d'environ 5mm
- De 2200 à 2400m les ressources sont d'environ 18mm
- De 2400 à 2600m les ressources sont d'environ 30mm
- De 2600 à 2800m les ressources sont d'environ 48mm
- De 2800 à 3000m les ressources sont d'environ 70mm
- De 3000 à 3500m les ressources sont d'environ 119,5mm
- De 3500 à 4000m les ressources sont d'environ 210,5mm.

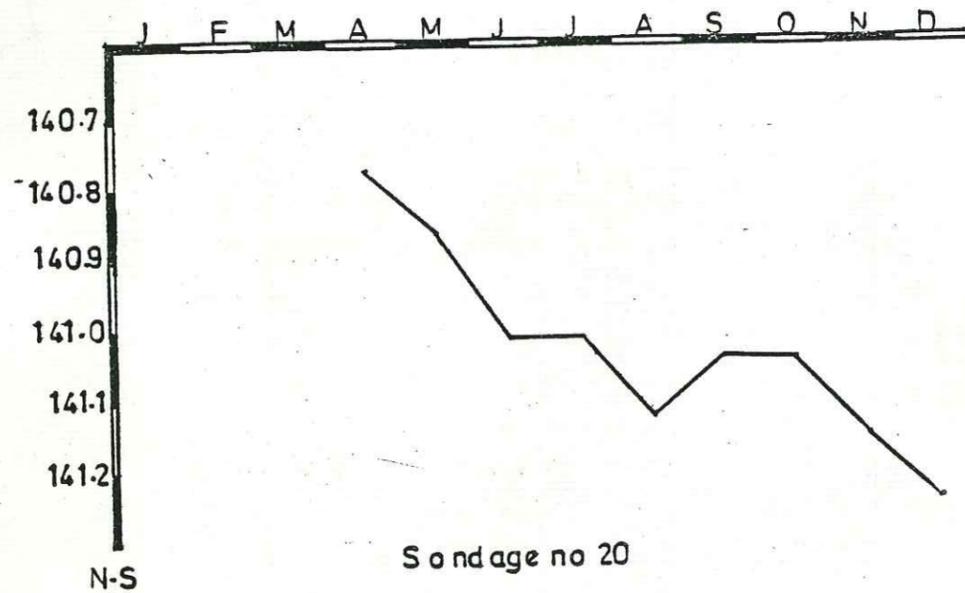
En considérant les chiffres mentionnés pour le bassin versant de Tazareh environnant la plaine de Mehmandoust, nous avons calculé les ressources en eau de ce bassin versant (tableau n°40 montre les résultats).

../..





Sondage no 19



Sondage no 20

Fig no 77 Variation mensuelle du niveau statique de la nappe phreatique en 1976

TABLEAU n°40

Altitude	Surface km ²	Lame d'eau I + Rmm	Volume d'eau I + R m ³
1000-2000	-	-	-
2000-2200	48,25	5	241250
2200-2400	69	18	1242000
2400-2600	58	30	1740000
2600-2800	21	48	1008000
2800-3000	7,5	70	525000
3000-3500	14	119,5	1673000
3500-4000	1	210,5	210500
			<u>Total 6450750</u>

Il y aurait donc plus de $6 \times 10^6 \text{ m}^3$ disponibles pour l'alimentation de la nappe de la plaine de Mehmandoust.

6.2.7.3. Calculs des apports à la nappe à partir des réserves dynamiques

C'est le débit de l'écoulement souterrain qui correspond à la quantité d'eau qui passe par une section de l'horizon aquifère, normale à la direction du mouvement des eaux souterraines. Le débit de l'écoulement souterrain est donné par la formule de Darcy.

$$Q = K \cdot S \cdot i$$

$$= Tl i$$

K = la perméabilité

S = la surface de la section transversale de l'écoulement souterrain

i = le gradient hydraulique

T = la transmissivité

l = la longueur de la section transversale

Le gradient hydraulique i est donné de façon précise par le tracé de la carte piézométrique.

a = le débit d'alimentation de la nappe souterraine à travers la section amont est égal à: $Q_{am} = Tl i$

- Dans le secteur de Nosrat-Abad

i moyenne = 0,048

l = 1200m

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

$$Q_{am} = 0,06336$$

- Pour le secteur de Mehmandoust à Kalavan

i moyen = 0,02

T moyenne = 2 x 10⁻⁴

L = 5700m

Q_{am2} = 0,023 m³/s

- Secteur de Kalavan à Babavali

i moyen = 4,3 x 10⁻³

T moyenne = 5,4 x 10⁻³

L = 4500m

Q_{am3} = 0,1045 m³/s

Donc Q_{am} = Q_{am1} + Q_{am2} + Q_{am3} = 07641 m³/s

ou

6 x 10⁶ m³/an

6.2.8. Sorties de la nappe aux exutoires

Nous savons que la nappe de la plaine de Mehmandoust dans la

limite de notre travail n'a qu'un seul exutoire: c'est le front sud de la plaine. Pour déterminer le débit de l'écoulement souterrain à travers le front sud, nous avons appliqué le formule de Darcy.

Q aval = KS'I = TLi

Pour trouver la valeur de la transmissivité moyenne entre les valeurs moyennes du sondage n°II privé et du sondage n°12, nous avons tracé les courbes d'égale transmissivité et nous avons adopté les valeurs suivantes.

- Secteur Momen-Abad - Na im-Abad

i moyen = 6,6 x 10⁻³

l = 4750m

T_m = 7,55 x 10⁻⁴ m²/s

Q_{1aval} = 0,0236 m³/s

- Secteur Naeim-Abad - Hossein-Abad

i_m = 3,7 x 10⁻³

l = 5250m

T_m = 8 x 10⁻⁴

Q_{2aval} = 0,0155 m³/s

- Secteur Hossein-Abad - Jafar-Abad

i_m = 1,75 x 10⁻³

l = 5150m

T_m = 9 x 10⁻⁴

Q_{3aval} = 0,0081 m³/s

- Secteur Jafar-Abad - Hossein-Abad

i_m = 3,44 x 10⁻³

T_m = 1,3 x 10⁻³

l = 3900m

Q_{4aval} = 0,0174

Q_{aval total} = Q₁ + Q₂ + Q₃ + Q₄

Q_{aval} = 0,06464 m³/s ou 2 x 10⁶ m³/an

6.2.9. Conclusion

Nous avons calculé l'apport d'eau vers la nappe à partir de deux méthodes: gradient pluviométrique et méthode de Darcy en utilisant la carte piézométrique.

Ces deux méthodes nous ont donné des résultats très voisins, et l'apport d'eau vers la plaine de Mehmandoust peut-être estimé à 6 x 10⁶ m³/an.

6.3. ESSAI DE BILAN ET BALANCE HYDROGEOLOGIQUE

Le calcul du bilan hydrogéologique est fait pour l'année 1976, connaissant les apports d'une part, et les prélèvements d'autre part. L'équation classique d'un bilan hydrogéologique peut s'écrire par la formule.

±ΔV = Q_{am} + Q_r - (Q_{av} + Q_p + E_t + D)

Q_{am} = apports ou alimentation de la nappe

Q_{av} = débit de la nappe aux exutoires

Q_r = réalimentation à partir des prélèvements effectués dans le bassin

Q_p = prélèvement dans la nappe

D = drainage de la nappe par la rivière

E_t = évaporation par la surface de la nappe

ΔV = variation des réserves de la nappe.

6.3.1. Q_{am} = ou apports

Ils sont déterminés suivant la carte piézométrique à $6 \times 10^6 \text{ m}^3$ par an.

6.3.2. Q_{av} = Le débit aux exutoires

Ce débit a été calculé dans le secteur sud de la plaine de Mehmandoust égal à $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ ou 63 l/s

6.3.3. Q_p = Prélèvement dans la nappe

Les prélèvements dans la nappe par les systèmes de ghanates, forages et puits creusés à la main d'après les enquêtes sur tous les points d'eau sont estimés à $5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

6.3.4. Q_r = Réalimentation à partir des prélèvements

On peut penser qu' au moins 10% du volume total prélevé Q_p pourrait réalimenter la nappe. Donc, nous avons 5×10^5 par an pour la valeur de Q_r, qui est estimé en moyenne à 10%. Il faut ajouter aussi à ce chiffre l'alimentation de la nappe à partir de la rivière Sarkhan qui est de l'ordre de 40% ou $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ donc Q_r total est de l'ordre de $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

6.3.5. E_t = Evaporation par la surface de la nappe

Selon la carte isoprofondeur de la nappe (planche n°10), la nappe de la plaine de Mehmandoust est à au moins 10m en dessous de la surface. Nous admettons qu'il n'y a aucune évaporation à partir de la surface de la nappe.

6.3.6. Drainage de la nappe par la rivière

Dans la région étudié, nous n'avons pas pu observer de signe que les eaux souterraines soient drainées par la rivière. Donc, cette valeur sera considérée comme nulle dans l'équation du bilan.

6.3.7. Variations des réserves ΔV

En appliquant les données numériques de la formule du bilan, nous obtenons:

$$\Delta V = 6 \times 10^6 + 2 \times 10^6 - (2 \times 10^6 + 5 \times 10^6 + 0 + 0) = 1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an} \text{ ou } 32 \text{ l/s}$$

On constate donc qu'à l'échelle de l'année 1976 les variations des réserves que l'on peut calculer sont faibles, c'est à dire que les prélèvements ne sont que de peu inférieurs aux apports ce qui n'exclut pas qu'il existe des apports et des pertes inapparentes par le substratum et des variations des réserves à l'échelle interannuelle. Le manque d'observations pour l'année 1975 ne nous a pas permis de comparer les bilans des années 1975 et 1976 entre eux ni avec ceux des années précédentes, mais il semble que l'on puisse prélever encore 30 à 40 l par seconde supplémentaires dans la nappe sans compromettre les réserves permanentes, ce qui représente un accroissement des ressources de 20% que l'on devra rechercher surtout au niveau des zones faillées si l'on veut obtenir un bon rendement des ouvrages de captage.

6.3.8. Ajustement des caractéristiques hydrodynamiques à partir du bilan

Le calcul du volume des réserves régulatrices nous avait amené dans l'hypothèse où le coefficient d'emmagasinement S était de 25% à une valeur de $32 \times 10^6 \text{ m}^3$ par an, compte-tenu d'une variation moyenne du niveau piézométrique de 22 centimètres. Il convient de confronter ce chiffre à celui des apports à la nappe calculés par la méthode de Darcy, à partir de la carte piézométrique et de la valeur de la transmissivité moyenne déterminée par les essais de pompage qui est de $6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ et à celui de l'infiltration estimé à $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$. Les réserves régulatrices devait être égales au volume des apports de tous ordres, on peut écrire: $S = \frac{8}{32} \times 0,25 = 6,25 \%$

On obtient donc pour l'ensemble de la plaine de Mehmandoust une valeur moyenne du coefficient d'emmagasinement nettement supérieure à celle calculée par les essais de pompage, selon la méthode d'Archie, sur les valeurs des résistivités. Cette valeur moyenne de 6,25% apparaît très plausible, car les mesures par la méthode d'Archie ont été réalisées dans les zones les plus favorables pour la recherche d'eau, et il est logique que dans les zones faillées où à remplissage grossier on ait de fortes valeur de la porosité efficace alors que celle-ci est beaucoup plus faible

dans d'autres secteurs et dans des horizons différents.

L'ajustement proposé présente cependant une certaine imprécision du fait que les valeurs moyennes de la transmissivité adoptées pour les calculs du bilan bien que connues avec plus de certitude que les valeurs du coefficient d'emménagement n'ont pu être contrôlées par d'autres méthodes comme celle de Rorabaugh en l'absence de variations suffisantes du niveau piézométrique d'un point à l'autre au cours de l'année.

6.3.9. Conclusion

L'estimation des ressources exploitables nous amène à considérer que les apports à la nappe de Mehmandoust depuis la limite nord de cette plaine et à travers les zones faillées qui affectent les reliefs qui la séparent du bassin de Tazareh sont de $6 \times 10^6 \text{ m}^3$ par an; que les infiltrations et réinfiltrations sont proches de $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ et qu'il reste environ $1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$, soit 32 litres/secondes disponibles pour une exploitation des réserves dynamiques sans entamer les réserves permanentes.

L'exploitation des résultats du bilan permet un ajustement de la valeur moyenne du coefficient d'emménagement qui serait de 6,25% en moyenne, mais doit atteindre plus de 20% dans certains secteurs et tomber à des valeurs de l'ordre de 1% dans beaucoup d'autres.

Cette hétérogénéité des caractéristiques hydrodynamiques rend donc très aléatoire un calcul précis du volume des réserves permanentes que l'on peut situer tout de même entre 250 et $300 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{an}$, alors que la valeur des réserves dynamiques n'est que de $8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

Le rapport entre les deux types de réserve paraissant très grand on doit se demander quel est l'âge des eaux des réserves permanentes et s'il s'agit d'eaux fossiles ou d'eaux actuelles se renouvelant en permanence et seules les études isotopiques peuvent permettre de résoudre ce problème qui est fondamental pour l'exploitation des eaux souterraines dans la plaine de Mehmandoust pour l'avenir.

CHAPITRE VII

ÉTUDE DE LA TENEUR EN TRITIUM DES EAUX

VII - ETUDE DE LA TENEUR EN TRITIUM DES EAUX

Nous avons montré qu'il existait une nappe importante dans la plaine de Mehmandoust et dans le piemont du versant montagneux. Du fait de l'importance de l'évapotranspiration et de la faiblesse des apports par les cours d'eau superficiels, on peut craindre que les eaux rencontrées soient des eaux fossiles où tout au moins anciennes.

Le renouvellement des eaux de la nappe ne paraît provenir en effet que d'apports inapparents par les fractures du bedrock amenant les eaux de façon rapide depuis le versant montagneux.

Il est donc fondamental pour une future exploitation de savoir quel est l'âge relatif des eaux observées ?.

L'étude des teneurs en tritium des eaux de la nappe et leur comparaison avec celles des eaux de pluie et celles des eaux rencontrées dans le versant montagneux peut permettre de résoudre le problème posé. Le tritium H₃ qui se trouve dans les eaux de précipitation a une période radioactive de 12,6 année. Il provient de l'action de la composante neutro-nique du rayonnement cosmique sur les constituants gazeux de l'atmosphère. Compte-tenu de l'activité au moment de la mesure et de la période de l'élément, il est possible d'obtenir des datations absolues. Cependant, depuis les essais thermonucléaires aériens, le carbone 14 et surtout le tritium doivent être considérés comme des isotopes artificiels: leur production naturelle étant actuellement masquée par la production artificielle. Quoi qu'il en soit, le tritium peut-être utilisé comme élément traceur et dateur du cycle de l'eau.

La quantité totale de tritium naturel a été estimée à 3,5kp par Lal et Peters (1962).

Le 31 octobre 1952 à Eniwetok dans le Pacifique, les américains en faisant exploser la première bombe thermonucléaire, ont introduit 5kg de tritium dans l'atmosphère une unité tritium correspond à un atome de H₃ pour 10¹⁸ atomes de l'hydrogène.

../..

Dans la région du versant sud de l'Elbourz les teneurs en tritium des eaux des pluies varient de 60 à 95 UT au cours de l'année avec une valeur moyenne proche de 75 UT, ceci du fait que les précipitations proviennent de la Caspienne ou du Golfe Persique.

Les mesures des teneurs en tritium des eaux de pluie de trois échantillons d'eaux prélevés dans les forages de la plaine et de deux échantillons provenant du forage réalisés dans les zones fracturées du versant montagneux ont été faites par le S.A.R.R. du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble grâce à la bienveillance de Monsieur Margriřa.

Les échantillons ont été prélevés dans les forages après un pompage de longue durée afin d'éliminer totalement les eaux utilisées lors des travaux de creusement et de disposer d'un échantillon vraiment représentatif.

Les analyses réalisées ont fourni les résultats suivants:

: Forage	: Localité	: Profondeur du prélèvement m	: Date	: Teneur en UT
: 1A	: Tazareh	: -	: 26/3/1976	: 62 + 2
: 3	: Tazareh	: -	: 26/3/1976	: 58 + 2
: 12	: Mehmandoust	: 140	: 2/10/1976	: 52 + 2
: 23	: Nosrat-Abad	: 110	: 23/1/1977	: 58 + 2

Les résultats obtenus montrent que toutes les eaux prélevées sont récentes et ont un âge moyen apparent qui est au maximum d'un an ou deux. Il en résulte que les eaux rencontrées dans la nappe ne peuvent provenir que d'apports depuis la rivière Sarkhan mais surtout d'une importante alimentation par les fractures de direction qui affectent la bordure montagneuse de la plaine et qui laisse passer comme nous l'avons déjà montré des débits importants du bassin versant de Tazareh vers la plaine de Mehmandoust de façon totalement indépendante des eaux superficielles.

Ces circulations peuvent se faire assez près de la surface comme dans la région de Nosrat-Abad, mais sont certainement souvent beaucoup plus profondes. C'est leur existence qui permet d'envisager de façon sûre

l'exploration de la nappe dans l'avenir.

Un échantillon d'eau prélevé à la profondeur de 150m dans le puits n°20 près de Mehmandoust, présente une teneur en tritium très faible et certainement inférieure à 10 UT (Analyse faite par le Centre de Recherche Géodynamique de Thonon), sans qu'il ait été possible de préciser plus, faute de disposer d'un volume d'échantillon suffisant.

Ce fait montre donc qu'en dehors des zones alimentées par les grandes fractures, il y a de grands risques de ne rencontrer que des eaux fossiles qui ne se renouvelleraient pas.

Il convient donc que l'exploitation ne dépasse pas les volumes des apports que nous avons estimés, et il serait utile de contrôler l'évolution des teneurs en tritium de la nappe au cours des temps, car il y a un moyen simple et rigoureux de contrôle de l'origine des eaux prélevées.

CHAPITRE VIII

PRINCIPAUX RÉSULTATS OBTENUS ET CONCLUSION GÉNÉRALE

PRINCIPAUX RESULTATS ET CONCLUSION GENERALE

La plaine de Mehmandoust se situe au Sud de la montagne de Tazareh (Elbourz oriental) et au Nord de la dépression salifère (Dashté-Kavir). Dans la partie amont de cette plaine, se trouve le site de la ville de Mehmandoust actuellement en cours de construction par la Société Métallurgique d'Iran.

Le but de notre étude était de déterminer les ressources en eau de cette plaine et des montagnes avoisinantes pour subvenir aux besoins civils et industriels d'une ville de 30.000 habitants.

Parmi les critères retenus dans le choix du site d'implantation de la ville de Mehmandoust le problème de l'alimentation en eau potable n'était pas considéré à priori comme primordiale.

Lorsque nous avons commencé les études hydrogéologiques, la ville était déjà en construction, et nous étions obligés d'évaluer les points d'eau les plus proches de la ville, les plus aisément réparables et accessibles. En outre, il était impossible de capter l'eau au niveau de la ville, la nappe étant très profonde. De plus, il fallait trouver une eau avec une concentration totale en sels de moins de 1g/litre, car il était financièrement impossible d'implanter une usine de traitement des eaux.

Donc la finalité de notre étude hydrogéologique était la résolution des problèmes généralement posés pour toutes les régions arides et semi-arides:

- 1/ profondeur de la nappe supérieure à 150m;
- 2/ côte élevée de la ville par rapport à la côte absolue de la nappe donc difficulté de pompage d'eau vers la ville;
- 3/ salinité élevée de la nappe de la plaine;
- 4/ évaporation intense dans la plaine donc difficulté de calculer le bilan d'eau de la plaine.

L'ensemble des études climatiques (pluviométrie, température, vents, évapotranspiration) nous a permis de voir que la valeur de la hauteur d'eau tombée sur la plaine était beaucoup plus faible que celle tombée au-dessus de 2000 mètres.

La géologie des bordures de la plaine nous a montré que les roches sédimentaires se sont déposées entre l'Infracambrien et le Miocène. Cette bordure montagneuse qui constitue la ceinture plissée du flanc sud de l'Elbourz oriental chevauche le piémont de la plaine de Mehmandoust.

L'ensemble des études géologiques, géomorphologiques, géophysiques, sédimentologiques et des sondages mécaniques et carottages géophysiques ont eu pour but de reconnaître le mode de remplissage quaternaire, l'origine du dépôt, son âge et son évolution dans le temps et dans l'espace. A l'aide de ces études nous avons aussi découvert certaines caractéristiques hydrodynamiques des formations quaternaires.

Le soulèvement de la grande chaîne de l'Elbourz associé à des changements climatiques a entraîné une accumulation très importante de sédiments après le Pliocène. Ces dépôts plio-pléistocènes ont été affectés par des mouvements orogéniques anté-quaternaires et nous y avons distingué les différentes formations par ordre chronologique et aussi par leur origine de dépôts: Qt_1 , Qt_2 , Q_c , Q_{al} .

Les terrains élevés formant les collines anticlinales (formation Qt_1) sont les plus anciens. Ils se moulent sur les compartiments surélevés du substratum.

Les terrains bas sont les plus récents. Ils forment des synclinaux et se moulent sur les compartiments effondrés du substratum. Ces terrains sont susceptibles d'être attaqués par l'érosion.

Ces considérations expliquent l'hétérogénéité relative et le grand déséquilibre dans la répartition des alluvions de notre région. La plus grande partie de ces dépôts s'est produite lors de la fonte des glaces au Pléistocène, donnant des torrents très puissants. Grâce à une campagne générale et importante de sondages électriques et de sondages mécaniques, nous avons tiré les résultats suivants.

L'épaisseur des alluvions de la plaine varie entre 50 et 300m dans les différents compartiments délimités par les failles qui recoupent le substratum.

Celles-ci ne se voient pas en surface, mais elle provoquent l'existence d'un système "horst-graben" en profondeur.

La comparaison des résultats des sondages n°1, 19, 20 forés dans les

compartiments soulevés avec ceux des sondages 16, 23 et 12 dans les parties effondrées montre que les compartiments soulevés sont quasiment inexploitable.

En fait l'importance de ces failles dans l'alimentation et le drainage de la nappe aquifère exigerait une étude plus approfondie avec peut-être utilisation de modèles mathématiques.

La concentration en sels de la nappe est très hétérogène et d'un forage à un autre, cette teneur peut-être très variable. Il faut encore invoquer le rôle des grandes failles alimentant les alluvions de la plaine.

Tantôt l'eau circule dans des fractures riches en dépôts salifères ("décrochement de la formation paléozoïque de Tazareh") et se trouve chargée en sels. Tantôt au contraire, elle circule dans des fractures "propres" (For. de Lalun et Mila à Babavali, lieu du sondage n°16 et dans la zone de Nosrat-Abad) et donne dans la plaine des possibilités de captage d'eau potable avec un résidu sec de moins de 1g/l.

Les études de la nappes nous ont permis d'envisager les zones d'alimentations et les zones d'exutoires mais les zones en raison de l'étendue de la plaine de Damghan-Chahroud sont mal définies.

Pour les essais de pompage faits sur les différents forages, les caractéristiques hydrodynamiques sont calculées par la méthode graphique d'approximation logarithmique. Les valeurs de la transmissivité sont fortes dans les secteurs du sondage n°16 à Babavali (site abandonné, le niveau piézométrique étant plus bas que la côte de la ville) et du puits n°23 à Nosrat-Abad. Ces valeurs fortes et les formes des courbes de rabattement et de remontée montrent aussi l'importance des zones fracturées des montagnes avoisinantes dans la recharge en eau de la nappe de la plaine.

La valeur moyenne de la transmissivité obtenue est de l'ordre de $1,6 \times 10^{-3}$ pour toute la plaine.

Les fluctuations de la nappe entre les périodes de "hautes-eaux" et de "basses-eaux" étant trop faibles en comparaison de celle dues aux pompages intenses pour l'agriculture au printemps, ne nous ont pas permis de calculer le coefficient d'emmagasinement par la méthode de Rorabaugh.

Nous avons essayé de déterminer la valeur de ce coefficient à partir d'une part de certains essais de pompage, d'autre part à partir de la méthode

d'Archie, grâce aux campagnes géophysiques et de carottages électriques des sondages mécaniques.

La valeur de ce coefficient obtenu par les essais de pompage est de 1% et celle calculée par la méthode d'Archie est de l'ordre de 25%.

De ces deux valeurs nous avons dans un premier temps conservé la deuxième, car celle obtenue à partir des essais de pompage nous paraît peu vraisemblable.

A partir des résultats des études granulométriques et de la formule d'ALLEN-HAZEN, nous avons déterminé aussi la valeur de la perméabilité à différentes profondeurs, dans un puits foré dans les alluvions de la plaine près de la ville de Chahroud.

Les propriétés physico-chimiques des eaux souterraines montrent que les eaux souterraines de la plaine sont bicarbonatées sodiques à chlorurées suivant les endroits.

La concentration en sel varie du Nord au Sud et Est en Ouest. Elle dépend du remplissage argilo-gypsifère des grandes failles qui alimentent la nappe. Elle passe de 600 mg/l à 800 mg/l dans la zone d'évaporation.

Au milieu de la plaine les valeurs du résidu sec dans la zone d'alimentation sont élevées.

La variabilité de la salinité de la nappe et de composition chimique est due au lessivage de dépôts dans les grandes fractures.

Nous avons pu distinguer trois zones hydrogéologiques différentes.

Le cône de déjection de Babavali (lieu du puits n°16), le cône de déjection de Nosrat-Abad contenant de l'eau moins salée et le cône de déjection de Mehmandoust contenant de l'eau à résidu sec élevé.

En ce qui concerne le calcul du bilan, nous avons déjà indiqué que la zone étudiée constitue une petite partie d'une vaste plaine et ne possède pas d'exutoire défini.

Il est également difficile de déterminer exactement les fronts d'alimentation. Ce qui rend les calculs peu précis et sujets à caution.

Le calcul des débits de l'écoulement souterrain à travers les sections amont et aval montre qu'il existe une alimentation satisfaisante pour le

régime d'exploitation actuelle, et qu'il est possible d'augmenter les prélèvements dans la nappe d'environ 20%, sans entamer les réserves permanentes.

L'ajustement des données du bilan et des caractéristiques hydrodynamiques montre que les valeurs calculées lors des essais de pompages et par la méthode d'Archie sont des valeurs extrêmes et que la valeur moyenne du coefficient d'emménagement est un peu supérieure à 6%.

Ce phénomène est lié à l'extrême hétérogénéité des sédiments qui constituent le soubassement de la plaine et aux accidents tectoniques qui affectent le substratum de la plaine et les alluvions.

La valeur de $275 \times 10^7 \text{ m}^3$ calculée comme volume des réserves permanentes est donc très incertaine d'autant plus que l'étude de la teneur en tritium des eaux de la plaine montre une participation très forte des eaux météoriques actuelles à la recharge de la nappe. Les résultats obtenus montrent, en effet, que les eaux de la nappe ont un âge apparent qui est maximum d'un an ou deux, ce qui implique une alimentation de la nappe par infiltration et circulation rapide des eaux de précipitation dans les zones fracturées des montagnes situées au-dessus de 2000m.

Le débit exploitable est donc fonction des précipitations dans la partie montagneuse de la région. D'un point de vue pratique, c'est la zone fracturée de Nosrat-Abad qui a pu être décelée par prospection géophysique qui est la plus intéressante pour l'alimentation de la ville neuve. Les pompages d'un puits dans les calcaires fracturés de la zone de Nosrat-Abad a donné un débit spécifique de 40 l/s et par mètre de rabattement, ce qui est très rare dans les autres secteurs de la plaine. Le niveau piézométrique est supérieur à la cote de la ville et l'alimentation de la nappe est excellente, car la zone faillée draine un massif calcaire intensément fracturé qui présente lui-même une forte transmissivité. L'eau y est douce et à l'abri des pollutions.

Il a donc été possible de proposer solution pour l'alimentation en eau potable de la ville neuve de Mehmandoust, mais il est certain que des recherches plus poussées sur d'autres zones faillées pourraient amener à de nouvelles découvertes intéressantes.

CONCLUSION GENERALE

L'étude que nous avons réalisée sur une région aride de la bordure sud de l'Elbourz nous a permis, en dehors de ses applications pratiques immédiates qui sont la vraie sanction de toute recherche hydrogéologique, de montrer les rôles fondamentaux de l'hétérogénéité des sédiments du substratum et du remplissage alluvial et de la tectonique ancienne, mais surtout récente dans la répartition d'aquifères dont l'alimentation se fait presque uniquement par de grandes fractures et donc de façon anisotrope.

Dans de telles conditions, l'emploi des méthodes classiques supposant l'existence de milieux homogènes et isotropes devient problématique et seuls des ajustements successifs permettent de déterminer des caractéristiques moyennes qui ne présentent cependant souvent aucune réalité physique, et n'ont de sens que dans le cadre de calculs et ensemble.

Il paraît possible d'améliorer les techniques d'interprétation des données géophysiques comme la méthode d'Archie pour arriver à une plus grande précision dans la connaissance des propriétés des diverses formations, mais il convient donc de ne pas séparer les résultats ainsi obtenus de l'ensemble des études en oeuvre qui nous a permis non seulement de mieux connaître les ressources en eau de la plaine étudiée, mais de mieux comprendre sa structure profonde et surtout de reconnaître les édifices structuraux cachés sous les dépôts du quaternaire.

Nous pensons que c'est bien là un point essentiel, car hydrogéologue ne peut définir le volume des réserves en eau, leur origine, leur mode de circulation et les conditions de leur exploitation que s'il connaît bien le contexte géologique du réservoir.

La diversité des méthodes mises en oeuvre n'avait pour autre but que de faire progresser les connaissances hydrogéologiques d'une région vierge, aride et sèche.

Ce travail qui demande à être complété pourra nous l'espérons suivre à l'étude de ces régions pour l'avenir.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSERETO R. - 1963 - The paleozoic formation in Central Elburz (Iran) (preliminary note) Riv. Ital. Paleont. Strat. vol LXIX n°4 - pp.503-543
- ASSERETO R. - SESTINI F. - 1962 - Nuovi dati sul paléozoico dell'Alta Valle del Djadejud (Elburz Centrale Iran). Rendiconti della classe di Sc. fis. mat. enat serie VIII - vol. XXXII fasc.3 - pp. 369-376
- ALAVI-NAINI - Etude géologique de la région de Djam - Geological survey of Iran - Report n°23, 19,72.
- ASTIER. - 1971 - Géophysique appliquée à l'hydrogéologie Edition Masson
- ASFIA - 1948 - Notes on the geology of the Elbourz mountains N.E. of Iran Geol. Soc. of London Vol. CIV - part.1.
- BERKALOFF E. - 1970 - Interprétation des pompages d'essai. Bull. B.R.G.M. (2) 111-1
- BOGOMOLOV G. - SILIN-BETCHOURINE A.I. - 1955 - Hydrogéologie spécialisée Moscou.
- BOGOMOLOV G. - Hydrogéologie et notion de géologie d'ingénieur. Editions de la Paix - Moscou 278 p - 134 fig.
- CASTANY G. - 1968 - Prospection et exploitation des eaux souterraines Dunod Paris
- CASTANY G. - 1967 - Traité pratique des eaux souterraines Dunod Paris
- CAILLEUX A. - 1947 - L'indice d'éroussé définition et première application
- CAILLEUX A. - 1945 - Distinction des galets marins et fluviatiles B.S.G.F.
- DJEMILI ELBATI - Hydrogéologie de la plaine d'Enfidaville Thèse 3ème Cycle 1974
- DELLENBACH J. - 1964 - Contribution à l'étude géologique de la région située à l'Est de Téhéran (Iran) - Université de Strasbourg.
- EGHBALI A. - 1967 - Hydrogéologie - Université de Téhéran Pub. n°1112-1 - Hydrogéologie - Université de Téhéran Pub. n°1112-2
- ENGALENC M. - 1966 - Appréciation hydrogéologique compte-tenu de la géomorphologie en Iran Central. Institut d'Hydrogéologie de Téhéran - Séminaire E.C.A.F.E. Téhéran 11p - 5fig.
- ENGALENC M. - 1963 - Géologie, géomorphologie, hydrogéologie de la région de Téhéran (Iran) Thèse de Docteur ès Sciences 1963

- FOROGHI H. - 1976 - Contribution à l'étude des nappes en pays aride et essai de bilan hydrogéologique de la plaine de Kerman (Iran) - Thèse de Docteur Ingénieur (1976).
- FOURNEAUX J. - 1967 - Hydrogéologie du Grésivaudan Thèse de 3ème Cycle
- FOURMARIER - 1958 - Hydrogéologie Edition Masson
- GEOLOGICAL map. 1975 1/100.000 - Damghan
- GEOLOGICAL maps. 1970 1/100.000 South flank of east Centra Alborz by H. Božorgnia
- Le courrier JOHNSON n°44 - Avril 1975 - L'auscultation des couches souterraines.
- LE PRIOL J. - 1974 - Etude hydrogéologique du bassin versant de la Bourbre - Application à l'étude d'une ville nouvelle Lisle D'Abeau. Thèse de 3ème Cycle.
- LETOURNEUR & R. MICHEL - 1971 - Géologie du Génie Civil Paris - A. Colin
- LUPARINI V. - Etude hydrogéologique du massif du Dévoluy Thèse de Doctorat de 3e Cycle
- MICHEL M. - 1971 - Hydrogéologie du bassin versant de Theys (Isère) Thèse 3ème Cycle 1971.
- OLIVE Ph. - 1970 - Contribution à l'étude géodynamique du cycle de l'eau dans l'hémisphère nord par la méthode du tritium. Centre de Recherches géodynamiques (Thonon).
- PERRIAUX J. - 1974 - Cours de sédimentologie C₃ de Géologie Appliquée
- PABOT H. - 1962 - Etude d'agroclimatologie dans la zone aride et semi-aride du proche Orient - F.A.O. (rapport préliminaire).
- ROSSET G.M. - 1976 - Etude d'un aquifère profond hétérogène en zone aride Plaine du Wadi Al Hira et du Wadi Abu Shaybah - Tripolitaine - Libye - Thèse de 3ème Cycle.
- RORABAUGH M.I. - 1969 - L'emploi de niveaux d'eau pour l'estimation des constantes hydrauliques dans un aquifère de dimensions finies. Bulletin du B.R.G.M. (deuxième série). Section III n°2 - p.83.90
- RIEBEN H. - 1957 - Observation sur la plaine de Téhéran
- RIEBEN H. - 1956 - Note préliminaire sur les terrains alluviaux de Téhéran et particulièrement du territoire de Chemiran. Bull. Soc. Vaudoise des Sc. Nat. n°283
- SARROT-REYNAULD J. - 1964 - Hydrogéologie karstique dans le massif du Vercors - Association Internationale des Hydrogéologues - Mémoire 5,

Association Internationale des Hydrogéologues - Mémoire 5
Réunion d'Athènes 1962 - p. 321-329

- STOCKLIN J - RUTTNER A. - NABAVIM - 1964 - New data of the lower paléozoïc and précambrian of the North Iran.
Geol. Survey of Iran - Téhéran.
- SCHOELLER M. - 1962 - Les eaux souterraines
Edition Masson - Paris
- SCHOELLER H. - 1956 - Géochimie des eaux souterraines
Technip Paris.
- SCHOELLER H. - 1948 - Le régime hydrogéologique des calcaires
- SCHKOLA - MAHVI M. - NARAGHI A. - Schematic Geological map. 1974
1/250.000 Damghan Shahroud and Geshlag.
- SABETI - Les études bioclimatiques de l'Iran - Publication de l'Université de Téhéran - n°1231
- TEHRANI Kh. - 1974 - Stratigraphie d'Iran - Université de Téhéran
Pub. n° 1452
- TODD D.K. - 1959 - Ground water hydrogeology - Copyright by John Wiley-sons Inc New-York.
- VATAN A. - I. YASSINI - 1969 - Revue de l'Institut Français du pétrole
Bull. n° 7, 8, 9.
- VATAN A. - 1965 - Guide géologique de la région de Qum - Téhéran
42 p - 8 pl.
- ZAMANKHAN M. - 1965 - Hydrogéologie du bassin versant du Moharlu Hydrodynamique des massifs calcaires de la région de Chiraz (Iran) - Thèse de Docteur ès Sciences - 1965.

TABLE DES MATIERES

AVANT PROPOS

CHAPITRE I

	Pages
<u>I - GENERALITES</u>	1
<u>1.1. BUT ET METHODE DE L'ETUDE</u>	2
<u>1.2. GEOGRAPHIE PHYSIQUE</u>	3
<u>1.2.1. Situation géographique et limites de la région étudiée</u> ...	3
<u>1.2.2. Limites</u>	3
<u>1.2.3. Grandes unités géographiques</u>	5
<u>1.3. LE RELIEF</u>	5
<u>1.3.1. Couverture en photographies aériennes</u>	5
<u>1.3.2. Cartographie</u>	5
<u>1.4. GEOGRAPHIE DE LA REGION</u>	9
<u>1.5. ANALYSE DU RELIEF PAR TRANCHES D'ALTITUDES</u>	11
<u>1.6. POPULATION ET RESSOURCES (GEOGRAPHIE HUMAINE)</u>	11
<u>1.6.1. L'agriculture</u>	11
<u>1.6.2. Moyens d'accès et routes intérieures</u>	13
<u>1.7. L'HYDROGRAPHIE</u>	13

CHAPITRE II

<u>II- CLIMATOLOGIE</u>	15
<u>I - GENERALITES SUR LE CLIMAT</u>	16
<u>1.1. INFLUENCE DES RELIEFS SUR LE CLIMAT DE LA REGION SUD-ELBOURZ</u>	16
<u>1.2. LA CIRCULATION GENERALE DE L'ATMOSPHERE ET L'ORIGINE DES PLUIES AU NORD DU PLATEAU IRANIEN</u>	17
<u>2. - LES DONNES D'OBSERVATION - LEURS INTERPRETATIONS</u>	17
<u>2.1. LE RESEAU DES STATIONS D'OBSERVATION</u>	17
<u>2.2. LES PRECIPITATIONS</u>	18
<u>2.2.1. Hauteur moyenne normale des pluies annuelles</u>	19
<u>2.2.2. Régime pluviométrique</u>	19
<u>2.2.3. Coefficient pluviométrique mensuel</u>	24
<u>2.2.4. Variabilité inter-annuelle</u>	28
<u>2.2.5. Détermination de la lame d'eau précipitée</u>	29
. <u>Moyenne arithmétique des stations</u>	29
. <u>Calcul par l'utilisation des courbes isohyètes</u>	30
. <u>Calcul par la méthode de Thiessen</u>	30

- . Gradient altimétrique de précipitation 32
- . Conclusion 34
- 2.2.6. Précipitations solides 34
- 2.3. LES TEMPERATURES 34
- 2.3.1. Températures moyenne normale de l'année 34
- 2.3.2. Maxima-Minima 34
- 2.3.3. Régime thermique annuel - station de Damghan(1958-1976).... 35
- 2.4. LA PRESSION ATMOSPHERIQUE 37
- 2.5. LES VENTS 38
- 2.6. HUMIDITE RELATIVE 38
- 2.7. L'EVAPORATION 39
- A/ Méthode de Turc 39
- B/ Méthode de Coutagne 40
- C/ Méthode de Thornthwaite 40
- 1) Calcul de l'Ep à partir de l'abaque 40
- 2.8. GENERALISATION DU PROBLEME 47
- 2.9. INFILTRATION 48
- 3 - HYDROLOGIE DE SURFACE ET RUISSELLEMENT 49
- 3.1. STATIONS HYDROMETRIQUES 50
- 3.2. REGIME DU RUD-E-SARKHAN 50
- 4 - DEFINITION OU CLIMAT DE DAMGHAN et CHAHROUD -
- L'ARIDITE 50
- . Conclusion sur le climat de Damghan 53

CHAPITRE III

- GEOLOGIE DE LA REGION 55
- 3.1. STRATIGRAPHIE DES BORDURES 56
- Introduction 56
- 3.1.1. Infracambrien 57
- . Formation de Soltanier (E_s) 57
- . Formation de Barut (E_b) 57
- . Conclusion 58
- 3.1.2. Paléozoïque 58
- . Paléozoïque inférieur 58
- Généralités 58
- A/ Cambrien inférieur 58
- . Formation de Zaigun (E_z) 58
- . Formation de Lalun (E₁ et E₂) 61
- B/ Cambro-Ordovicien 63

- . La formation de Mila 63
- C/ Ordovicien 64
- . Considérations générales sur la paléogéographie du Cambrien en Iran 64
- Paléozoïque supérieur 64
- 3.1.3. Mésozoïque 65
- . Introduction 65
- . Trias 65
- . Jurassique 65
- A/ Jurassique inférieur 65
- . Formation de Shemshak (J₁) 65
- B/ Jurassique moyen et supérieur 66
- . Dogger: Formation de Dellitchai (J₂) 66
- . Formation de Lar (J₃) 67
- Crétacé 67
- 3.1.4. Cénozoïque 67
- . Formation de Karadj-Eocène 67
- . Eocène terminal 68
- Conclusion Générale sur l'Eocène 68
- . Miocène 69
- 3.2. GEOLOGIE DES FORMATIONS ALLUVIALES DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST 70
- 3.2.1. Stratigraphie du piémont de "Mehmandoust" 70
- Introduction historique 70
- 3.2.1.1. La formation "A" Qt₁ 70
- Description 70
- Observations microscopiques 70
- Origine des sédiments 71
- Détermination de l'âge du Qt₁ 71
- . Pliocène 71
- . Localisation du Pliocène 71
- 3.2.1.2. La formation "B" Qt₂ 71
- . Origine des sédiments 72
- 3.2.1.3. Les alluvions Q_c 72
- 3.2.1.4. Les alluvions "Qal" ou D 73
- 3.3. TECTONIQUE DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST 74
- 3.3.1. Histoire orogénique et évolution structurale 74
- Phase anté-éocène (Laramienne) 74
- Phase oligocène terminal- Miocène 74

- Phase anté-Quaternaire ancien 75
- 3.3.2. Description tectonique régionale 75
- 3.3.3. Tectonique des alluvions de la plaine de Mehmandoust 76
- 3.4. CONCLUSION SUR LA TECTONIQUE DU PIEMONT 77
- 3.4.1. Le pied de l'Elbourz 77
- 3.4.2. Le piemont de Mehmandoust 77
- 3.4.3. Le plateau central 77

CHAPITRE IV

- 4 - ETUDE DETAILLEE DU REMPLISSAGE DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST ... 79
 - Introduction 80
 - 4.1. ETUDE GEOLOGIQUE DE SURFACE 80
 - 4.2. ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE DE LA REGION DE DAMGHAN 81
 - Introduction générale 81
 - 4.2.1. Les conditions de la morphogénèse 81
 - 4.2.1.1. Les facteurs climatiques 81
 - a) Les précipitations 81
 - Les reliefs de l'Elbourz 81
 - Le piemont 82
 - La plaine 82
 - b) Les températures 82
 - 4.2.1.2. La végétation 82
 - 4.2.1.3. Les sols 83
 - A- Dans le piemont 83
 - B- Dans la plaine 83
 - C- Dans les reliefs 83
 - 4.2.1.4. L'écoulement superficiel 83
 - A- Dans l'Elbourz 84
 - B- Dans le piemont 84
 - C- Dans la plaine limoneuse 85
 - 4.2.1.5. Les vents 85
 - 4.2.1.6. Les facteurs géologiques 85
 - A- Facteurs tectoniques 85
 - B- Facteurs lithologiques 85
 - 4.2.1.7. Le facteur anthropique 86
 - A- Influence de la végétation 86
 - B- Influence du ruissellement 86

- C- Conséquences diverses 86
 - 4.2.1.8. Conclusions sur les facteurs de la morphogénèse 86
- 4.2.2. Les formes locales du relief 87
 - Introduction 87
 - 4.2.2.1. La bordure montagneuse 87
 - L'ELBOURZ 87
 - a) Jeunesse des reliefs et altitudes 87
 - b) Les torrents de boue 88
 - c) Les éboulis 88
 - 4.2.2.2. Le piemont de Mehmandoust 88
- A- Le degré d'érosion des formations alluviales 88
 - a) Les alluvions "A" cartographie "Qt₁" 88
 - b) Les alluvions "B" "Qt₂" 89
 - c) Les alluvions "C" "Qc" 89
 - d) Les alluvions "D" "Qa1" 89
- B- La couleur des formations alluviales 90
 - a) Les cailloutis "A" 90
 - b) La formation "B" "Qt₂" 90
 - c) La surface des alluvions "C" 90
 - d) Les cailloutis "D" cartographie Qa1 90
- 4.2.2.3. Les sols salés 90
 - A- Les zones d'épandages à sols salés 90
 - B- Les dépressions 91
 - . La plaine salée du kavir de Némak 91
 - . Age du Kavir de Némak 91
- 4.2.2.4. Les croûtes et les encroûtements 92
 - A- Les croûtes d'origines morphologiques 92
 - B- Les croûtes d'origine pédologique 93
 - C- Les croûtes d'origine hydrogéologique 93
- 4.2.3. Conclusion 94
 - 4.3. ETUDE GENERALE DU QUATERNAIRE PAR PROSPECTION GEOPHYSIQUE 95
 - 4.3.1. Exposé de la méthode 95
 - 4.3.2. Campagne générale de prospection géophysique 96
 - Généralité 96
 - 4.3.2.1. Interprétation des résultats 96
 - a) Interprétation des résultats de la campagne géophysique à partir des profils de résistivités 96

- Profil n° V 96
- Profil n° VI 97
- Profil n° VII 97
- b) Interprétation des cartes d'isorésistivités 102
 - carte de résistivité des terrains à la profondeur de 50m - Longueur AB = 200 m..... 102
 - carte isorésistivité de terrain à la profondeur de 1000m - Longueur AB environ 400 m 102
 - carte isorésistivité à la profondeur d'environ 200m - Longueur AB = 1000m 105
 - 4.3.2.2. Conclusion 105
 - 4.4. ETUDE DES SONDAGES, CAROTTAGES GEOPHYSIQUES ET DES ECHANTILLONS DES SONDAGES MECANQUES 105
 - 4.4.1.- Puits n°12 106
 - 4.4.1.1. Ouvrage de sondage 106
 - 4.4.1.2. Les travaux de sondage 106
 - 4.4.1.3. L'auscultation électrique: les carottages géophysiques du sondage n°12 106
 - a) résistivité 106
 - b) Potentiel 109
 - c) Rayon Gamma 109
 - 4.4.1.4. Observations des échantillons de forage 109
 - 4.4.2. Puits n°16 111
 - 4.4.2.1. Ouvrage de sondage 111
 - 4.4.2.2. Les travaux de sondage 111
 - 4.4.2.3. Carottages géophysiques 111
 - a) Courbe de résistivité 111
 - b) Courbe de PS 111
 - c) Courbe de rayon Gamma 111
 - 4.4.2.4. Observations des échantillons de forage 111
- 4.4.3. Puits n°19 113
 - 4.4.3.1. Ouvrage de sondage 113
 - 4.4.3.2. Les travaux de sondage 113
 - 4.4.3.3. Carottages géophysiques 113
- 4.4.4. Puits n°20 115
 - 4.4.4.1. Ouvrage de sondage 115
 - 4.4.4.2. Les travaux de sondage 115
 - 4.4.4.3. Carottages géophysiques 115

- 4.4.5. Puits n°23 115
 - 4.4.5.1. Ouvrage de sondage 115
 - 4.4.5.2. Les travaux de sondage 119
 - 4.4.5.3. Les carottages géophysiques 119
- 4.5. LA NATURE DU SUBSTRATUM 119
 - 4.5.1. Substratum résistant de 100 ohm/m (Miocène) 121
 - 4.5.2. Substratum conducteur de 4-45 ohm/m (Miocène) 121
 - 4.5.3. Substratum conducteur de 28-48 J₁ et J₂ (Jurassique inférieur-supérieur)..... 121
 - 4.5.4. Substratum de résistivité supérieure à 200 ohm/m 121
 - 4.5.5. Conclusion 121
- 4.6. ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST
 - Introduction et Méthode d'étude 123
 - 4.6.1. Analyse de la formation Qt₁ - Cône de déjection ancien de Mehmandoust (Formation Hezardarez)..... 123
 - A- Morphométrie des sédiments 123
 - Disposition des galets et sens de dépôt 127
 - B.C. Granulométries par tamisage et méthode linéaire 127
 - 4.6.2. Analyse de la formation de Qc - limon dans la plaine de Mehmandoust 130
 - 4.6.3. Analyse granulométrique du forage réalisé près de la ville de Chahrout 132
 - 4.6.4. Conclusion 134

CHAPITRE V

- 5 - HYDROGEOLOGIE (AUX SOUTERRAINES) 137
 - Introduction 138
 - 5.1. ETUDES DESCRIPTIVES DES DIFFERENTES SOURCES DE LA LA BORDURE 138
 - Généralités 138
 - 5.1.1. Source de Nosrat-Abad 138
 - 5.1.2. Source de Talu 138
 - 5.1.3. Source de Kalavan (n°8) 138
 - 5.2. ETUDE HYDRODYNAMIQUE DES SOURCES - COURBES DE TARISSEMENT - FORMAT DE MAILLET 142
 - Introduction 142

5.2.1. Source de Nosrat-Abad 142

5.2.2. Source de Talu 144

5.2.3. Source de Kalavan 144

5.2.4. Conclusion 146

5.3. ETUDE DE LA NAPPE DE LA REGION DE DAMGHAN " MEHMANDOUST"

5.3.1. Les données de la géologie 146

5.3.1.1. Les bordures montagneuses 146

5.3.1.2. La dépression de Damghan 146

5.3.2. Géomorphologie et particularités hydrogéologiques 148

5.3.3. Etude des conditions aux limites et de milieu des aquifères 149

5.3.3.1. Les conditions aux limites 149

5.3.3.2. Les conditions de milieu de l'aquifère 149

5.4. LA SURFACE DES EAUX SOUTERRAINES 150

Introduction 150

5.4.1. Inventaire systématique des points d'eau 150

X a) Les caractéristiques des puits 150

b) L'équipement 151

c) L'utilisation 151

d) Régime d'exploitation 151

5.4.1.1. La carte piézométrique 151

Généralités 151

a) Le piémont de Mehmandoust 151

b) La plaine limoneuse 152

5.4.1.2. Carte de profondeur de la nappe 152

5.4.1.3. Les variations de la surface des eaux souterraines 153

5.4.1.4. Alimentation de la nappe des alluvions 153

a) Infiltration des eaux météoriques 153

b) Alimentation à partir des eaux de ruissellement 153

c) Alimentation à partir du substratum 156

5.4.1.5. Conclusion 156

5.5. LES MOYENS D'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES ... 159

5.5.1. Les puits profonds 159

5.5.2. Les puits creusés à la main 157

5.5.3. Les galeries souterraines ou ghanats 157

5.5.3.1. Définition et description 158

5.5.3.2. Les ghanats dans le piémont 158

5.5.3.3. Répartition des ghanats dans la plaine de Mehmandoust 160

- Ghanat n°5 - Zarin-Abad 160

- Ghanat n°10 - Hossein-ABad 160

- Ghanat n° 7 - Emam-Abad 160

5.5.3.4. Considérations hydrodynamiques générales 164

5.6. CONSIDERATIONS SUR LES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST 164

5.6.1. Introduction et méthodologie 164

- Calcul de la transmissivité T et du coefficient d'emmagasinement 165

A) Méthode graphique d'approximation logarithmique 165

B) Courbe de remontée 166

5.6.2. Essais de pompage des principaux puits réalisés sur la plaine de Mehmandoust 167

5.6.2.1. Essais de pompage de puits n°11 privé 167

- Droite de rabattement-logarithme de temps 167

- Calcul de T par la courbe de remontée 169

5.6.2.2. Essais de pompage du puits n°12 169

- Droite de rabattement-logarithme du temps 169

- Calcul de remontée 171

5.6.2.3. Essais de pompage du puits n°16 171

- Gurbe caractéristique 171

- Détermination des caractères hydrodynamiques à partir de la courbe de remontée 175

. première étape 178

. deuxième étape 178

. troisième étape 178

5.6.2.4. Détermination des caractères hydrodynamiques du puits n°20 178

- Droite de rabattement-logarithme du temps 178
 - . première étape 180
 - . deuxième étape 180
 - . troisième étape 180
- La courbe de remontée 180
 - . première étape 180
 - . deuxième étape 180
 - . troisième étape 182
- 5.6.2.5. Essais de pompage du puits n°23 182
- Généralités 182
- Essai de rabattement 182
 - . première étape 182
 - . deuxième étape 182
 - . troisième étape 182
- Calcul de "S" pour le point arbitraire "A" 184
- Courbe de remontée 184
 - . première étape 184
 - . deuxième étape 184
- 5.6.3. Conclusion 186
- Perméabilité 186
- 5.7. PHYSICO-CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES 187
- 5.7.1. Introduction 187
- 5.7.2. Interprétation hydrogéologique des cartes physico-chimiques 187
- Caractères généraux 187
- Cône de déjection de Babavali 188
- Cône de déjection de Mehmandoust 188
- Cône de déjection de Nosrat-Abad 188
- 5.7.2.1. Analyse des cartes physico-chimiques 188
 - . Carte des faciès chimiques "planche n°11" 188
 - . Carte des résidus secs "planche n°13" 189
 - . Carte des conductivités des eaux souterraines (planche n°14) 190
 - . Carte de dureté totale "planche n°15" 190
 - . Carte des valeurs du PH "planche n°16" 190
 - . Carte des sulfates "planche n°17" 190

- . Carte des isolignes du chlore "planche n°18" 193
- . Carte des rapports rMg/Ca (Planche n°19) 193
- . Carte des rapports rSO₄/Cl (planche n°20) 193
- 5.7.2.2. La température de la nappe 193
- 5.7.3. Propriétés chimiques des eaux souterraines 197
- Généralités 197
 - Zonalité géologique 197
 - Zonalité verticale 197
 - Zonalité climatérique 197
- 5.7.3.1. Analyse chimique et classification des eaux souterraines 201
- Introduction 201
 - Eaux bicarbonatées calciques 203
 - Eaux bicarbonatées sodiques 203
 - . Généralités 203
 - . Caractères spécifiques 203
 - Eaux bicarbonatées magnésiennes 203
 - Eaux sulfatées calciques 205
 - . Faciès n°3 205
 - . Faciès n°4 207
 - . Faciès n°5 207
 - Eaux sulfatées magnésiennes 207
 - . Faciès n°6 209
 - Les eaux sulfatées sodiques 209
 - . Faciès n°7 209
 - . Faciès n°8 209
 - . Faciès n°9 209
 - Les eaux chlorurées calciques 211
 - Les eaux chlorurées sodiques 211
 - . Faciès n°10 211
 - . Faciès n°11 211
- 5.7.3.2. Classification des eaux selon Scholler 211
 - . Concentration en chlorures 211
 - . Concentration en sulfates 215
 - . Concentration en bicarbonates et carbonates 215
- 5.7.3.3. Qualité des eaux souterraines 219
- 5.7.3.4. Conclusion sur les caractères physico-chimiques des eaux 223

CHAPITRE VI

6 - EVALUATION DES RESSOURCES EXPLOITABLES 229

Généralités 230

6.1. EXPLOITATION ACTUELLE 230

6.2. RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES DE LA PLAINE DE MEHMANDOUST 230

- Masses d'eaux régulatrices 230

- Réserves permanentes totales 230

- Réserves dynamiques 230

- Ressources exploitables 231

6.2.1. Etude granulométrique 231

6.2.2. Calcul de la porosité par la méthode d'Archie 233

6.2.2.1. Principe de la méthode 233

Conclusion 234

6.2.3. Essais de pompage 234

6.2.4. Fluctuations du niveau de la nappe phréatique 236

6.2.5. Les ressources régulatrices 238

6.2.6. Les réserves permanentes 238

6.2.7. Apports à la nappe 240

6.2.7.1. Les apports à partir des sources bordières de la plaine qui débouchent dans les comblements d'alluvions. 240

6.2.7.2. Apports à la nappe par les précipitations sur le bassin de Tazareh 240

6.2.7.3. Calcul des apports à la nappe à partir des réserves dynamiques 243

 . dans le secteur de Nosrat-Abad 243

 . pour le secteur de Mehmandoust-à Kalavan 244

 . pour le secteur de Kalavan à Babavali 244

6.2.8. Sorties de la nappes aux exutoires 244

 . Secteur Momem-Abad-Naim-Abad 244

 . Secteur Nalim-Abad-Hossein-Abad 244

 . Secteur Hossein-Abad-Jafar-Abad 245

 . Secteur Jafar-Abad-Hossein-Abad 245

6.2.9. Conclusion 245

6.3. ESSAI DE BILAN ET BALANCE HYDROGEOLOGIQUE 245

6.3.1. Qam = ou apports 246

6.3.2. Qav = le débit aux exutoires 246

6.3.3. Qp = prélèvement dans la nappe 246

6.3.4. Or = Réalimentation à partir des prélèvements 246

6.3.5. Et = Evaporation par la surface de la nappe 246

6.3.6. Drainage de la nappe par la rivière 246

6.3.7. V = variation des réserves 247

6.3.8. Ajustement des caractéristiques hydrodynamiques à partir du bilan 247

6.3.9. Conclusion 248

CHAPITRE VII

7 - ETUDE DE LA TENEUR EN TRITIUM DES EAUX 250

CHAPITRE VIII

8 - PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS ET CONCLUSION GENERALE 254

CONCLUSION GENERALE 260

BIBLIOGRAPHIES 261

LISTE DES TABLEAUX

N° de tableau

CHAPITRE I

1 - Le projet de bassin d'eau pour la ville 2

2 - Coordonnées de points de triangulation et de relèvement dans la plaine de Mehmandoust 7

3 - Répartition altitudinale de la surface de la plaine 11

CHAPITRE II

4 - Précipitations moyennes mensuelles à Damghan 1958-1976 et à Ghahroud (1952-1976) 19

5 - Précipitations mensuelles de la période 1956-1976 Station de Damghan (en mm) 22

6 - Précipitations et pourcentages saisonniers de la période 1956-1976. Station de Damghan (en mm) 24

7 - Précipitations moyennes mensuelles, saisonnières et coefficient pluviométrique Station Damghan (1958-1976) 26

8 - Précipitations moyennes mensuelles, saisonnières et coefficient pluviométrique - Station Chahroud 1951-1976 26

9 - Les indices de pluviosité (1958 à 1976) 28

10 - Les moyennes arithmétiques des précipitations annuelles pour l'année 1975-1976 29

11 - Calcul de lame d'eau tombée par les courbes isohyètes 30

12 - " " " " la méthode de Thissen 30

13 - " " " " " de gradient altimétrique de précipitation 32

14 - Les températures à Damghan (1958 - 1976) 37

15 - Valeurs mensuelles de I correspondant aux températures moyennes..... 43

16 - Durée moyenne possible d'ensoleillement 44

17 - Bilan hydrogéologique de la plaine de Mehmandoust (période 1957-1976) 45

18 - Calcul du bilan hydrogéologique à partir du gradient pluviométrique. 48

CHAPITRE IV

19 - Résistivités déduites des campagnes géophysiques sur les différents secteurs de la plaine de Mehmandoust 101

20 - Résultats du pompage des puits 112

21 Indice d'aplatissement pour les galets de la formation Hezardarez Qt₁ 125

22-Résultats des granulométries de la formation Qt₁ 127

23 - " " " " " Qc limon dans la plaine de Mehmandoust 130

24 - " " " des limons argileux 130

25 - " " " du forage près de la ville de Chahroud .. 132

CHAPITRE V

26 - Caractéristiques des ghanats utilisables de la plaine de Mehmandoust 162

27 - Résultats de la courbe caractéristique du puits n°16 174

28 - Essai de pompage des puits par la courbe de remontée et de rabattement 185

29 - Températures des points d'eaux 194

30 - Les eaux chlorurées normales 213

31 Les eaux oligo-chlorurées 213

32 - Concentration en sulfates 217

33 - Concentration en bicarbonates et carbonates 217

34 - Classification des eaux d'après leur potabilité (classification de H. Schoeller) 219

35 - Classification de G. Bogomolov 221

36 - Classification de V. Kounine (1944) Potabilité pour les hommes. 221

37 - " " " Eaux consommées par les animaux... 221

CHAPITRE VI

38 - Les valeurs de la perméabilité à partir de l'étude granulométrique de la plaine 232

39 - Résultats de la méthode d'Archie à partir des diagraphies et de profils de résistivités 235

40 - Résultats des apports à la nappe par les précipitations sur le bassin de Tazareh 243

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figures

1 - Tableau d'assemblage des photographies aériennes de la région de Damghan-Chahroud 4

2 - Tableau montrant les réseaux de triangulation de la plaine de Mehmandoust 6

3 - Situation de la plaine de Mehmandoust dans le cadre de l'Iran, 8

4 - Schéma géographique de l'Iran montrant les principales chaînes montagneuses 10

5 - Répartition altimétrique des surfaces 12

6 - Cartes montrant les voies d'accès de la région 14

CHAPITRE II

7 - Moyenne mensuelle des pluies à Damghan (1958-1976)..... 18

8 - Moyenne mensuelle des pluies à Shahroud(1951-1976)..... 18

9 - Variation des précipitations à Chahroud (1951-1976)..... 20

10 - Variations des précipitations à Damghan (1958-1976)..... 21

11 - Courbe des hauteurs des "P" cumulées Damghan (1953-1976)..... 23

12 - Courbe des hauteurs des "P" cumulées Shahroud (1951-1976)..... 23

13 - Moyennes mensuelles de "P" classées Damghan (1958-1976)..... 25

14 - Hauteurs de "P" classées Chahroud (1951-1976)..... 25

15 - Coefficient pluviométrique à Damghan 27

16 - Coefficient pluviométrique à Chahroud27

17 - Températures à Damghan (1958-1976).....36

18 - Abaque de calcul de l'évapotranspiration potentielle par la méthode Thornthwaite42

19 - Le bilan de l'eau selon Thornthwaite - Damghan (1957-1976).....46

20 - La variation des débits et conductivités électriques de l'oued Sarkhan en 197651

21 - Diagramme ombrothermique de la station de Damghan(1958-1976)...54

22 - Diagramme ombrothermique de la station de Chahroud (1951-1976).54

CHAPITRE III

23 - Coupes géologiques de la plaine de Mehmandoust62

CHAPITRE IV

24 - Coupes électriques de la plaine de Mehmandoust97

25 - Coupe électrique "Nosrat-Abad".....100

26 - Comparaison du carottage géophysique avec la coupe lithologique du puits n° 12110

27 - Comparaison du carottage géophysique avec la coupe lithologique du puits n° 16 112

28 - " " " " " " 114

du puits n° 19 114

29 - " " " " " " 116

du puits n° 20 116

30 - " " " " " " 118

du puits n° 23 118

31 - Formation de Hezardarez, Qt₁, près de la ville de Mehmandoust ... 124

32 - Morphologie de Hezar- par rapport de la formation Qt₂ 124

33 - Indice d'aplatissement de la formation Qt₁ 126

34 - Indice de dissymétrie 126

35 - Indice d'émoussé 126

36 - Courbes granulométriques des F. de Qt₁ et Qt₂ 128

37 - Courbes granulométriques de l'argile de F. Qc et des échantillons du sondage n°24 129

38 - Courbes granulométriques du sondage n°24 131

39 - Courbes granulométriques 133

40 - La variation des différents indices de sédimentation dans la plaine de Mehmandoust 135

CHAPITRE V

41 - Comparaison des conductivités, températures, précipitations et débits de la source Ghanat- Nosrat-Abad139

42 - " " " " " " 141

de la source de Talu141

43 - " " " " " " 143

de la source de Kalavan143

44 - Courbe de tarissement de la source Nosrat-Abad145

45 - " " " Talu147

46 - " " " Kalavan147

47 - Comparaison des conductivités, températures, précipitations et débit de ghanat Zarin-Abad159

48 - Comparaison des conductivités, températures, précipitations et débit de ghanat Hossein-Abad 161

49 - " " " " " " 163

" de ghanat Emam-Abad 163

50 - Essai de rabattement et de remontée dans puits n°11 168

51 - Essai de pompage, puits n°12 170

| | |
|--|-----|
| 52 - Essais de rabattement et remontée, puits n° 12..... | 172 |
| 53 - Essais de pompage, puits n°16 | 173 |
| 54 - Courbe caractéristique du puits n°16 | 175 |
| 55 - Essais de rabattement et remontée dans le puits n°16 | 176 |
| 56 - Essais de pompage, puits n°20 | 177 |
| 57 - Essais de pompage, rabattement et remontée dans le puits n°20.. | 179 |
| 58 - Essais de pompage, puits n°23 | 181 |
| 59 - Essais de remontée et rabattement, puits n°23 | 183 |
| 60 - Variation de la conductivité en fonction de la salinité | 198 |
| 61 - Diagrammes de Piper | 202 |
| 62 - Diagrammes logarithmiques de Schoeller des sources n°7, 12
(faciès 1)..... | 204 |
| 63 - Diagrammes logarithmiques du faciès 2 | 206 |
| 64 - " " " 3 | 208 |
| 65 - " " " 4 | 210 |
| 66 - " " " 5 | 212 |
| 67 - " " " 6 | 214 |
| 68 - " " " 7 | 216 |
| 69 - " " " 8 | 218 |
| 70 - " " " 9 | 220 |
| 71 - " " " 10 | 222 |
| 72 - " " " 11 | 224 |

CHAPITRE VI

| | |
|--|-----|
| 73 - Relation entre le facteur de formation et la porosité | 232 |
| 74 - Variations du niveau moyen de la nappe phréatique dans l'ensemble
de la plaine: méthode de Thissen | 237 |
| 75 - Variation mensuelle du niveau statique de la nappe phréatique
dans le piézomètre n° 1 | 239 |
| 76 - " " " " | |
| dans les sondages n° 16 et 12 | 241 |
| 77 - " " " " | |
| dans les sondages n° 19 et 20 | 242 |

LISTE DES PLANCHES

| Planches | Pages |
|--|-------|
| <u>CHAPITRE II-</u> | |
| 1 - Courbes isohyètes | 31 |
| 2 - Méthode de Thiessen | 33 |
| <u>CHAPITRE III</u> | |
| 3 - Carte géologique de l'Est de Damghan | 59 |
| <u>CHAPITRE IV</u> | |
| 4 - Carte de situation des sondages électriques et des points d'eau
de la plaine de Mehmandoust | 103 |
| 5 - Carte d'isoresistivité des terrains prospection électrique
profondeur 50m | 103 |
| 6 - Carte d'isorésistivité des terrains prospection électrique
profondeur 100 m | 107 |
| 7 - Carte d'isorésistivité des terrain prospection électrique
profondeur 200 m..... | 107 |
| 8 - Carte de la nature du substratum | 120 |
| <u>CHAPITRE V</u> | |
| 9 - Cartes d'égales profondeurs de la surface piézométrique..... | 155 |
| 10 - Carte piézométrique | 155 |
| 11 - Schéma hydrogéochimique de la plaine de Mehmandoust | 191 |
| 12 - Potabilité des eaux souterraines selon Schoeller..... | 191 |
| 13 - Carte de salinité de la nappe | 195 |
| 14 - Carte d'isoconductivité de la nappe | 195 |
| 15 - Carte de dureté totale | 199 |
| 16 - PH des eaux souterraines | 199 |
| 17 - Carte de teneur en sulfate | 225 |
| 18 - Carte de teneur en chlore | 225 |
| 19 - Carte des isolignes des rapports rMg/Ca | 227 |
| 20 - " " " " rSO ₄ /Cl | 227 |



Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le

Le Président de la thèse

R. BARBIER

VU, et permis d'imprimer,

Grenoble, le

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale

G. CAU