



**HAL**  
open science

# Contribution à l'étude des nappes en pays aride : essai de bilan hydrogéologique de la plaine de Kerman (Iran)

Houchang Foroughi

## ► To cite this version:

Houchang Foroughi. Contribution à l'étude des nappes en pays aride : essai de bilan hydrogéologique de la plaine de Kerman (Iran). Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1976. Français. NNT: . tel-00740880

**HAL Id: tel-00740880**

**<https://theses.hal.science/tel-00740880>**

Submitted on 11 Oct 2012

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

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

704.

# THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE  
DE GRENOBLE

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR INGENIEUR

par

HOUCANG FOROUGHI

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE  
et MEDICALE de GRENOBLE  
INSTITUT COLOMIEU  
Rue Maurice-Cignoux  
38 - GRENOBLE

Ingénieur Géologue de la Faculté Technique de TEHERAN

Ingénieur Géologue Géophysicien de l'I.F.P.

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES NAPPES EN PAYS ARIDE  
ESSAI DE BILAN HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE DE KERMAN  
(IRAN)

Soutenue le 25 Juin 1976 devant la Commission d'Examen

Messieurs

R. MICHEL	Professeur	Président
J. SARROT REYNAULD Directeur de thèse	Professeur	Rapporteur
A. VATAN	Professeur	} Examineurs
Ch. AZIMI	Ingénieur ph. D.	

GRENOBLE

# THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE  
DE GRENOBLE

pour obtenir

25/6/76

LE GRADE DE DOCTEUR INGENIEUR

par

HOUCHANG FOROUGHİ

Ingénieur Géologue de la Faculté Technique de TEHERAN

Ingénieur Géologue Géophysicien de l'I.F.P.



CONTRIBUTION A L'ETUDE DES NAPPES EN PAYS ARIDE  
ESSAI DE BILAN HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE DE KERMAN  
(IRAN)

Soutenue le 25 Juin 1976 devant la Commission d'Examen

Messieurs

R. MICHEL	Professeur	Président
J. SARROT REYNAULD Directeur de thèse	Professeur	Rapporteur
A. VATAN	Professeur	} Examineurs
Ch. AZIMI	Ingénieur ph. D.	

GRENOBLE

10145752

M. Michel SOUTIF  
M. Gabriel CAU  
Présidents M. Louis NEEL  
Vice-Présidents M. Lucien BONNETAIN  
Jean BENOIT

MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT DE L'U. S. M. G.

PROFESSEURS TITULAIRES

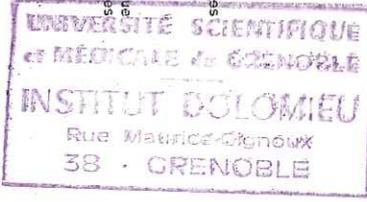
M. ANGLÈS D'AURILLAC Paul  
M. ARNAUD Georges  
M. AUBERT Guy  
M. AYEKT Yves  
M. BANSIER Martine-Jeanne  
M. BARBIER Jean-Claude  
M. BARBIER Raymond  
M. BARJON Robert  
M. BARRAUD Fernand  
M. BARON Jean-René  
M. BARRE Joseph  
M. BAUDOUIN André  
M. BERNARD Alain  
M. BERTHIAUX François  
M. BEZES Henri  
M. BLUMBERG Maurice  
M. BOLLLET Louis  
M. BONNET Georges  
M. BONNET Jean-Louis  
M. BONNET-ÉMYARD Joseph  
M. BOUCHERIE André  
M. BOUCHER Robert  
M. BOUSSARD Jean-Claude  
M. BRAYARD Yves  
M. CHEVALER Guy  
M. CHÉVALS François  
M. CHIRVAZ Gilbert  
M. CAU Gabriel  
M. CAUQUIS Georges  
M. CHABAUTY Claude  
M. CHABACHON Robert  
M. CHATEAU Robert  
M. CHIBON Pierre  
M. COEUR André  
M. CONTAMIN Robert  
M. COUDERC Pierre  
M. CRAVA Antoine  
M. DEBELLYS Anne-Marie  
M. DEBELLYS Jacques  
M. DEBRANGES Charles  
M. DEPORTES Charles  
M. DESRE Pierre  
M. DESSAUX Georges  
M. DODU Jacques  
M. DOLIQUE Jean-Michel  
M. DREVIUS Bernard  
M. DUCROS Pierre  
M. DUCROS Pierre  
M. DUCROS Pierre  
M. FAU René

Mécanique des fluides  
Clinique des maladies infectieuses  
Chimie  
Physique  
Physique approfondie  
Electrochimie  
Physique expérimentale  
Géologie appliquée  
Physique nucléaire  
Biosynthèse de la cellulose  
Statistiques  
Clinique chirurgicale  
Pédiatrie  
Mathématiques Pures  
Mathématiques Pures  
Chirurgie générale  
Mathématiques Pures  
Informatique (IUT B)  
Electrochimie  
Clinique ophtalmologique  
Pathologie médicale  
Chimie et Toxicologie  
Physique nucléaire  
Mathématiques Appliquées  
Géographie  
Clinique rhumatologique et hydrologie  
Anatomie  
Biologie animale et pharmacodynamie  
Médecine légale et Toxicologie  
Chimie organique  
Mathématiques Pures  
Otorhinolaryngologie  
Thérapeutique  
Biologie animale  
Pharmacologie chimique et chimie analytique  
Clinique gynécologique  
Anatomie Pathologique  
Mécanique  
Matière médicale  
Géologie générale  
Zoologie  
Chimie minérale  
Métallurgie  
Physiologie animale  
Mécanique appliquée  
Physique des plasmas  
Thermodynamique  
Cristallographie  
Clinique de Dermatologie et Syphiligraphie  
Clinique neuro-psychiatrique

M.

M. GAGNAIRE Didier  
M. GALLISSOT François  
M. GALVANI Octave  
M. GASTINEL Noël  
M. GAUVIN Michel  
M. GERBER Michel  
M. GERBER Robert  
M. GERMAIN Jean-Pierre  
M. GIRAUD Pierre  
M. KAHANE André  
M. KLEIN Joseph  
M. KOSZUL Jean-Louis  
M. KRATZCHERK Jullien  
M. KUNITZMAN Jean  
M. LACAZE Albert  
M. LACHAMÉ Jean  
M. LAZEMONICZ Joseph  
M. LATREILLE René  
M. LATUREZE Jean  
M. LAURENT Pierre  
M. LEDRU Jean  
M. LEBOUTRY Louis  
M. LONGUEUR Jean-Pierre  
M. LOUP Jean  
M. LUTZ Elisabeth  
M. MALGOUËRE Bernard  
M. MALLINAS Yves  
M. MARTIN-NOËL Pierre  
M. MAZARE Yves  
M. MICHEL Robert  
M. MOURIQUAND Claude  
M. MOUSSA André  
M. NEEL Louis  
M. OZENON Paul  
M. PAVAN Jean-Jacques  
M. PÉBAY-PEYROLA Jean-Claude  
M. RASSAT André  
M. RENARD Michel  
M. REULOS René  
M. RINALDI Renaud  
M. ROGET Jean  
M. DE ROUGERONT Jacques  
M. SEIGNEURIN Raymond  
M. SENGEL Philippe  
M. SOUTIF Michel  
M. TANCHE Maurice  
M. TRAYNARD Philippe  
M. VAILLANT François  
M. VALENTIN Jacques  
M. VAUQUOIS Bernard  
M. VERRAIN Alice  
M. VERRAIN André  
M. VEYRET Paul  
M. VIOLETS Pierre  
M. YOCOZZ Jean

Chimie physique  
Mathématiques Pures  
Mathématiques Pures  
Analyse numérique  
Pharmacologie  
Electrochimie  
Mathématiques Pures  
Mathématiques Pures  
Géologie  
Physique générale  
Mathématiques Pures  
Mathématiques Pures  
Mécanique  
Mathématiques Appliquées  
Thermodynamique  
Biologie végétale  
Physique  
Chirurgie générale  
Biochimie pharmacologique  
Mathématiques Appliquées  
Clinique médicale  
Géophysique  
Physique nucléaire  
Géographie  
Mathématiques Pures  
Mathématiques Pures  
Clinique obstétricale  
Sémiologie médicale  
Clinique médicale A  
Minéralogie et Pétrographie  
Histologie  
Chimie nucléaire  
Physique du Solide  
Boréanique  
Mathématiques Pures  
Physique  
Chimie systémique  
Thermodynamique  
Physique Industrielle  
Physique  
Clinique de pédiatrie et de puériculture  
Neurochirurgie  
Microbiologie et Hygiène  
Zoologie  
Physique générale  
Physiologie  
Chimie générale  
Zoologie  
Physique Nucléaire  
Calcul électronique  
Pharmacie galénique  
Physique  
Géographie  
Biochimie médicale  
Physique nucléaire théorique



PROFESSEURS SANS CHAIRE

M. AGNIUS-DELORD Claudine  
M. ALARY Josette  
M. BELORIZKY Elie  
M. BENZAKEN Claude  
M. BERTHIAUX Jean-Paul  
M. BIAREZ Jean-Pierre  
M. BONNIER Jean  
M. BRUGEL Lucien  
M. CARLIER Georges  
M. CONTE René  
M. DEPASSSEL Roger  
M. GAUTHIER Yves  
M. GAUTRON René  
M. GIDON Paul  
M. GUENAT René  
M. HOCQUES Gérard  
M. HOLLARD Daniel  
M. HUGONOT Robert  
M. IDELMAN Simon  
M. JANIN Bernard  
M. JOLY Jean-René  
M. JULLIEN Pierre  
M. KAHANE Josette  
M. KAHN Gérard  
M. KOU-DUC-Quong  
M. MANNARD Roger  
M. MULLER Jean-Michel  
M. PERRIAUX Jean-Jacques  
M. PFISTER Jean-Claude  
M. PIERY Yvette  
M. REBECQ Jacques  
M. RENOL Michel  
M. RENOUD Jean-Charles  
M. ROBERT André  
M. SARRAZIN Roger  
M. SARROT-REYNAUD Jean  
M. SIBILLE Robert  
M. SIBILLE Robert  
M. SROTIF Jeanne  
M. VIAUON Pierre  
M. VAN CUTSEM Bernard

MAITRES DE CONFÉRENCES ET MAITRES DE CONFÉRENCES AGREGÉS

M. AMBLARD Pierre  
M. AMPOISE-TRIXAIS Pierre  
M. ARCHAUD Yves  
M. BÉGUIN Claude  
M. BERTEL Hélène  
M. BILLET Jean  
M. BOUCHARLAT Jacques  
M. BOCHE Liane  
M. BOUCHET Yves  
M. BRONDEAU François  
M. BULLISSON Roger  
M. BUTEL Jean  
M. CHABAZ Edmond  
M. CHARPÉTIER Jean  
M. CHEVADOME Hervé  
M. CHIAVERIWA Jean

Parasitologie  
Parasitologie  
Chimie  
Chimie organique  
Pharmacodynamique  
Géographie  
Psychiatrie adultes  
Mathématiques (CUS)  
Anatomie  
Mathématiques (IUT B)  
Physique  
Orthopédie  
Biochimie médicale  
Anatomie et organogénèse  
Chimie papetière  
Biologie appliquée (TFP)

- MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT DE L'I.N.P.G.
- PROFESSEURS TITULAIRES**
- M. COHEN-ADDAO Jean-Pierre Spectrométrie physique  
COULOMB Max Biochimie médicale  
CROUZET Guy Radiologie  
CYROT Michel Physique du solide  
DELOBEL Claude M.I.A.G.  
DUSSAUD René Méthématiques (G.S.)  
ETERRADOSI Jacqueline Physiologie  
FAURE Jacques Médecine légale  
FONTAINE Jean-Marc Mathématiques Pures  
GENSAC Pierre Botanique  
GIDON Maurice Géologie  
GRIFFITHS Michaël Méthématiques Appliquées  
GROS Yves Physique (stog.)  
GROULON Joseph Biochimie médicale  
GUITTON Jacques Chimie  
IVANES Marcel Electricité  
JALBERT Pierre Histologie  
KRAMONIAK Secha Mathématiques appliquées  
LAJZEROWICZ Jeannine Physique  
LEROY Philippe Mathématiques  
LOISEAUX Jean-Marie Physiologie  
MAGNIN Robert Physiologie végétale  
MARECHAL Jean Hygiène et Médecine préventive  
MARTIN-BOLYER Michel Chimie (G.S.)  
MICHOULET Jean Physique (I.U.T. 777)  
MINIER Colette Physique  
MICUD Max Mécanique  
NÈGRE Robert Maladies Infectieuses  
PARAVELLE Bernard Pneumologie  
PECCOU François Analyse (IUT B)  
PEFFEN René Métallurgie  
PELMOY Jean Physiologie animale  
PERRET Jean Neurologie  
PHELIP Xavier Rhumatologie  
RACHAIL Michel Médecine interne  
RACINET Claude Gynécologie et obstétrique  
RAYNAUD Hervé M.I.A.G.  
RENAUD Maurice Chimie  
RENAUDET Jacqueline Bactériologie  
RICHARD Lucien Botanique  
RINAUDO Marguerite Chimie macromoléculaire  
POMIER Guy Mathématiques (IUT B)  
SHOH Jean Claude Chimie Générale  
STIEGLITZ Paul Anesthésiologie  
STOEBNER Pierre Anatomie pathologique  
VROUSOS Constantin Radiologie
- MAITRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS**
- M. CHARBEE Pierre C.E.R.M.O.  
CROBT Mathématiques appliquées  
CURRIE Jan Mathématiques appliquées
- CHARGES DE FONCTIONS DE MAITRES DE CONFÉRENCES**
- M. BARGE Michel Neuro-chirurgie  
CONTAMIN Charles Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire  
CORDONNIER Daniel Néphrologie  
DENIS Bernard Cardiologie  
KOLODIE Lucien Hématologie  
RANGAUD Pierre Pédiatrie  
ROCHAT Jacques Hygiène et hydrologie

- PROFESSEURS TITULAIRES**
- M. BENOIT Jean Radioélectricité  
BESSON Jean Electrochimie  
BONNETA Lucien Chimie Minérale  
BRISONNEAU Pierre Electrométrie, Electrometallurgie  
BUTLER-BODIN Maurice Electronique  
COUMES André Radioélectricité  
FELICI Noël Electrochimie  
PAUTHENET René Electrochimie  
SANTON Lucien Physique du solide  
SILBER Robert Servomécanismes  
Mécanique des Fluides
- PROFESSEUR ASSOCIÉ**
- M. BOUDOURIS Georges Radioélectricité
- PROFESSEURS SANS CHAIRE**
- M. BLIMAN Samuel Electronique  
BLOCH Daniel Physique du solide et Cristallographie  
COHEN Joseph Electrotechnique  
DURAND Francis Métallurgie  
MOREAU René Mécanique  
POLJADOFF Michel Electrotechnique  
VEILLON Gérard Informatique fondamentale et appliquée  
ZADORNY François Electronique
- MAITRES DE CONFÉRENCES**
- M. BOUARD Maurice Génie mécanique  
CHARTIER Germain Electronique  
FOULARD Claude Automatique  
GUYOT Pierre Chimie minérale  
JOURNET Jean Claude Physique du solide  
LACOMBE Jean Louis Géophysique  
LANCIA Roland Physique atomique  
LESPINARD Georges Mécanique  
MORET Roger Electrotechnique nucléaire  
ROBERT François Analyse numérique  
SABONNADIÈRE Jean Claude Informatique fondamentale et appliquée  
SAUCIER Gabrièle Informatique fondamentale et appliquée
- MAITRE DE CONFÉRENCES ASSOCIÉ**
- M. LANDAU Jean Doré Automatique
- CHARGES DE FONCTIONS DE MAITRES DE CONFÉRENCES**
- M. ANCEAU François Mathématiques appliquées

AVANT - PROPOS

Ce mémoire qui est le résultat de mes études, a été réalisé grâce à l'aide financière et matérielle du Service Géologique de l'Iran.

Il fait l'objet d'une thèse de Docteur Ingénieur à l'Université Scientifique et Médicale de Grenoble. Ces études ont été effectuées de 1971 à 1975 et ont complétées à Grenoble pendant l'été 1976.

J'exprime ma profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD qui 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 qu'il m'a prodigués sur le terrain, et aussi 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 NASROLAH KHADEM, ancien Directeur du Service Géologique d'Iran, et au Directeur actuel, Monsieur REZA ASSEFI, qui m'ont permis d'entreprendre et de mener à bien ce travail.

J'exprime mes remerciements au Gouvernement Français, dont l'aide financière m'a permis de séjourner trois mois à Grenoble et d'y réaliser le présent travail, et au Gouvernement Iranien qui m'a attribué la bourse mise à sa disposition par la France.

J'exprime ma gratitude à Monsieur le Professeur R. MICHEL, qui m'a fait profiter de son expérience et qui m'a fait l'honneur de présider mon jury.

Monsieur le Professeur A. VATAN a bien voulu accepter de siéger à titre d'invité dans le jury de ma thèse : je l'en remercie vivement.

Je remercie Monsieur CHAHROKH AZIMI du laboratoire Géotechnique de Grenoble, qui a bien voulu siéger dans le jury.

Je remercie Monsieur SAFARI, ESLAM PANAHI et les autres fonctionnaires de la Division des ressources en eau de Kerman, qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

J'ai également plaisir à remercier tous mes collègues du Service Géologique de l'Iran qui m'ont apporté une collaboration extrêmement fructueuse dans cette étude.

Je remercie Monsieur PARVIZIAN, du Service Géologique de l'Iran, qui a réalisé la mise au net de toutes les figures et dessins de ce mémoire.

TABLE DES MATIERES

1. -GENERALITES

INTRODUCTION.....

1.1. GEOGRAPHIE DE L'IRAN ..... 2

    1.1.1. Les chaînes bordières ..... 2

    1.1.2. Les régions intérieures..... 2

1.2. LE CLIMAT DE L'IRAN..... 3

1.3. LA REPARTITION DES REGIONS HABITEES ..... 6

1.4. GEOGRAPHIE DE LA REGION DE KERMAN ..... 6

    1.4.1. Localisation et latitude ..... 6

    1.4.2. Limite et surface du bassin versant..... 6

1.5. REPARTITION DES ALTITUDES ..... 8

1.6. COUVERTURE PHOTOGRAPHIQUE ET CARTES ..... 9

1.7. CLIMAT DE LA REGION DE KERMAN ..... 9

2. - ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

2.1. STRATIGRAPHIE ..... 14

    2.1.1. Précambrien ..... 14

    2.1.2. Le Paléozoïque indifférencié..... 19

    2.1.3. Cambrien inférieur..... 19

    2.1.4. Cambrien moyen et supérieur..... 19

    2.1.5. Le Silurien ..... 20

    2.1.6. Le Dévonien ..... 20

        2.1.6.1. Le Dévonien inférieur ..... 20

        2.1.6.2. Le Dévonien moyen et supérieur ..... 20

    2.1.7. Le Carbonifère ..... 21

    2.1.8. Le Permien ..... 21

    2.1.9. Le Secondaire ..... 22

        2.1.9.1. Le Trias ..... 22

        2.1.9.2. Le Rhétien ..... 22

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.  
 MAISON DES GEOSCIENCES  
 DOCUMENTATION  
 F. 38041 B.P. 53  
 38041 GRENOBLE CEDEX  
 Tel. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58  
 Mail: jalour@ujf-grenoble.fr

2.1.9.3. Le Lias .....	22
2.1.9.4. Le niveau de passage Lias-Dogger.....	23
2.1.9.5. Le Dogger .....	23
2.1.9.6. Le Malm.....	23
2.1.9.7. Le Crétacé .....	24
2.1.9.7.1. Crétacé inférieur et moyen..	24
2.1.9.7.2. Crétacé supérieur.....	25
2.1.10. Le Tertiaire.....	27
2.1.10.1. L'Eocène .....	27
2.1.10.2. L'Oligo-Miocène.....	28
2.1.10.3. Le Plio-Pleistocène.....	29
<u>2.2. LES FORMATIONS DE COUVERTURE.....</u>	29
2.2.1. Les alluvions .....	29
2.2.2. Les cônes de déjection.....	30
2.2.3. Les éboulis.....	30
2.2.4. Les limons .....	30
2.2.5. Les dunes .....	31
<u>2.3. TECTONIQUE.....</u>	31
2.3.1. Les unités structurales .....	31
2.3.2. Style tectonique .....	31
2.3.3. Histoire du plissement .....	33
2.3.4. Volcanisme .....	33
<u>2.4. CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES DIVERSES FORMATIONS .....</u>	34
2.4.1. Les formations perméables .....	34
2.4.1.1. Les calcaires paléozoïques.....	34
2.4.1.2. Les dolomies de Dévonien.....	34
2.4.1.3. Les calcaires du Crétacé.....	34
2.4.1.4. Les formations de conglomérats.....	35
2.4.1.5. Les alluvions et les cônes de déjection.....	35
2.4.2. Les formations imperméables.....	36

<u>2.5. ASPECTS HYDROGEOLOGIQUES ET POSSIBILITES D'ALIMENTATION DES MASSIFS.....</u>	36
2.5.1. Le massif Badamou.....	37
2.5.2. Le massif de Bidou .....	38
2.5.3. Le massif de Djoupar.....	39
2.5.4. Le massif Darmanou.....	40
2.5.6. Conclusion.....	41
<u>3. - ETUDE DE LA STRUCTURE PROFONDE DE LA PLAINE .....</u>	
<u>3. ETUDE DETAILLEE DU REMPLISSAGE DE LA PLAINE.....</u>	44
<u>3.1. METHODE D'ETUDE.....</u>	44
3.1.1. Etude géologique de surface .....	44
3.1.2. Etude géomorphologique.....	44
3.1.3. Etude géophysique .....	45
3.1.4. Etude des échantillons des sondages .....	45
3.1.5. Etude granulométrique des échantillons .....	47
3.1.6. Interprétation des résultats .....	47
<u>3.2. NATURE DU REMPLISSAGE .....</u>	47
3.2.1. Les dunes .....	47
3.2.2. Les alluvions .....	50
3.2.3. Les cônes de déjection .....	50
3.2.4. Le Plio-Pleistocène.....	50
3.2.5. Le Miocène .....	51
<u>3.3. LA NATURE DU SUBSTRATUM .....</u>	55
<u>3.4. EMPLACEMENT DES ANCIENS THALWEGS .....</u>	57
<u>3.5. AGE DU REMBLAIEMENT.....</u>	58

#### 4. - LES ELEMENTS DU BILAN HYDROGEOLOGIQUE

<u>4. CLIMATOLOGIE ET HYDROLOGIE DE SURFACE</u> .....	61
<u>4.1. INTRODUCTION</u> .....	61
4.1.1. Pluviométrie .....	61
4.1.2. Température .....	66
4.1.3. Humidité .....	66
4.1.4. Les gelées et les vents .....	67
4.1.5. Evapotranspiration réelle .....	67
4.1.5.1. Généralités .....	67
4.1.5.2. Les formules diverses .....	69
4.1.6. Infiltration .....	76
4.1.7. Hydrologie de surface et ruissellement .....	77
 <u>5. - ETUDE DES EAUX SOUTERRAINES</u>	
<u>5.1. ETUDE DES SOURCES DES VERSANTS</u> .....	86
<u>5.2. ETUDE DE LA NAPPE DE LA PLAINE</u> .....	92
5.2.1. Méthode d'étude .....	92
5.2.1.1. Inventaire systématique des points d'eau... ..	92
5.2.1.2. Prélèvement d'échantillons .....	94
5.2.1.3. Nivellement .....	94
5.2.1.4. Mesures périodiques du niveau piézométrique ..	94
5.2.2. Ecoulement de la nappe des alluvions .....	95
5.2.2.1. Généralités .....	95
5.2.2.2. Températures des eaux .....	96
5.2.2.3. Cartes piézométriques .....	96
5.2.2.4. Carte de profondeur de la nappe .....	99
5.2.2.5. Forme générale de l'écoulement .....	101
5.2.2.6. Alimentation de la nappe des alluvions.....	102
<u>5.3. CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES</u> .....	105
- Carte de salinité .....	105
- Carte des teneurs en ion chlore .....	108

- Carte de conductivité .....	108
- Comparaison des cartes R-S, Cl <sup>-</sup> , Ec.....	108
- Représentation graphique des analyses .....	111

#### 6. - EVALUATION DES RESSOURCES EXPLOITABLES

<u>6.1. EXPLOITATION ACTUELLE</u> .....	115
<u>6.2. RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES</u> .....	116
6.2.1. Etude granulométrique .....	117
6.2.2. Essais de pompage .....	118
6.2.3. Calcul T/S par la méthode RORABAUGH.....	121
6.2.4. Fluctuation du niveau de la nappe .....	123
6.2.5. Les ressources régulatrices .....	127
6.2.6. Les réserves permanentes .....	128
6.2.7. Apports à la nappe .....	128
6.2.7.1. Estimation des ressources totale en eaux... ..	128
6.2.7.2. Infiltration et apport à la nappe.....	131
6.2.8. Sortie de la nappe aux exutoires.....	132
<u>6.3. ESSAI DE BILAN ET BALANCE HYDROLOGIQUE</u> .....	134
6.3.1. Apports .....	134
6.3.2. Le débit aux exutoires.....	134
6.3.3. Prélèvement .....	134
6.3.4. Réalimentation à partir des prélèvements.....	134
6.3.5. Evaporation.....	135
6.3.6. Drainage de la nappe .....	135
6.3.7. Variation des réserves .....	135
 <u>7. - AGE DES EAUX ET CONCLUSIONS</u>	
<u>7.1. AGE DES EAUX - ANALYSES ISOTOPIQUES</u> .....	140
<u>7.2. POSSIBILITES DE RECHARGE DE LA NAPPE</u> .....	144
<u>7.3. CONCLUSION GENERALE</u> .....	146



## INTRODUCTION

La région qui fait l'objet de cette étude est située dans la zone du Sud-Ouest de l'Iran autour de la ville de Kerman. Il s'agit du bassin versant de la grande plaine de Kerman, la superficie couverte est de l'ordre de 6000 Km<sup>2</sup>. Sur la plus grande partie de ce bassin versant, le climat est aride et semi-aride et le problème posé par l'inventaire des ressources en eau est actuellement ressenti d'une façon particulièrement importante.

Quand nous avons commencé notre étude, la seule carte géologique disponible était la carte géologique du Nord-Ouest de Kerman publiée par les géologues allemands. L'échelle de cette carte convenait assez bien pour notre étude. Il a été d'ailleurs nécessaire de compléter l'étude géologique du bassin versant par des recherches et travaux complémentaires.

Les cartes topographiques au 1/250.000 de l'ensemble du bassin versant et les cartes topographiques au 1/50.000 qui n'existaient que pour la plaine ont été utilisées dans cette étude.

Une reconnaissance préliminaire de la plaine de Kerman a été effectuée par les groupes du Ministère de l'eau et d'électricité.

Nous avons donc eu pour objectif une étude détaillée des eaux souterraines de l'ensemble de la région, qui a porté sur les travaux suivants :

- Conditions géologiques dans le bassin versant
- Reconnaissance détaillée de la lithologie et de la structure profonde de la plaine alluviale de Kerman
- Délimitation des terrains aquifères et détermination des caractéristiques des nappes contenues dans les dépôts alluvionnaires.

Cette étude est le résultat de campagnes de terrain et de travaux d'interprétation échelonnés sur une période allant de 1971-1975.

## CHAPITRE I

### GENERALITES



qui partagent le plateau intérieur en trois vastes bassins :

- une chaîne orientée parallèlement au Zagros, dite chaîne intérieure occidentale s'étend de l'Azerbaïdjan au Nord à Mokran au Sud-Est. Ses principaux sommets sont le Kouh-é-Karkas 3.895 m, Shir Kouh 4.060 m (Nord de Yazd), Kouh-é-Hazaran 4.422 m au Sud-Est de Kerman, Kouh-é-Bazman 3.490 m et Kouh-é-Taftan 4.030 m au Nord de Makran.

- la deuxième chaîne s'allonge depuis le Nord du Makran jusque vers le Khorassan et suit une direction presque méridienne (chaîne intérieure orientale) avec les montagnes de Shotori dont le sommet le plus élevé est au delà de 2.800 m.

Trois grandes régions de hautes-plaines et de bassins s'insèrent entre les chaînes côtières et les chaînes intérieures. Ces plaines sont les suivantes :

- Au Nord entre le flanc sud de l'Alborz, la chaîne intérieure occidentale et la chaîne intérieure orientale, c'est une très vaste plaine dont la partie centrale correspond au Dacht-é-Kavir.

- Entre la chaîne du Zagros et la chaîne intérieure occidentale, ce sont : . au Nord la dépression de Gaukhuni qui s'étend de la région d'Isfahan à celle de Sirjan, au Sud la plaine de Jaz. Murian qui sépare le Makran du Kouh-é-Bazman.

- Au Sud-Est de la chaîne intérieure orientale se situe la principale dépression intérieure de l'Iran qui s'abaisse dans la cuvette de Kavir-é-Lut, à 300 m d'altitude.

## 1.2. LE CLIMAT DE L'IRAN

L'encadrement montagneux de l'Iran détermine d'une manière générale deux types climatiques :

- Le climat des franges externes.
- Les climats des bassins intérieurs.

Le régime des températures est sensiblement le même dans les deux cas : celui d'un climat continental à très grands écarts thermiques.

Le maximum de température en été dépasse 50°C au bord du golfe Persique. A Téhéran (1.100 m d'altitude), on a enregistré en été plus de 40°C pour -15°C en hiver. Au Nord de Khorassan et à Quchan, la température s'abaisse souvent à -30°C en hiver.

*Le facteur* Le facteur principal de différenciation climatique est la distribution des précipitations qui dépend elle-même de l'orientation des différentes régions par rapport aux étendues marines et aux vents dominants.

Les secteurs arrosés sont le Zagros, qui reçoit les vents d'Ouest en provenance du golfe Persique et l'Alborz qui, surtout sur son flanc Nord, est très abondamment arrosé (plus de 2.000 mm/an) grâce aux vents de la Caspienne.

Les secteurs arides ou même désertiques sont beaucoup plus étendus : tout le Khorassan, le Fars, le Balouchestan, le Makran, le Sistan et les autres endroits arides dans le pays, souffrent d'une sécheresse extrême. La plupart de ces régions reçoivent moins de 300 mm de précipitation et les Kavirs ou déserts moins de 100 mm. La conséquence de l'existence de deux types climatiques est la présence de deux formes d'évolution morphologique suivantes :

- Les versants humides sont couverts de végétation entraînant une désagrégation et une érosion chimique intense.
- Les versants arides évoluent par désagrégation mécanique. Les Produits de désagrégation sont déblayés par des vents très forts de directions variables, dûs aux grands écarts de températures journalières. Dans tous les cas, la roche affleure bien sur les versants, mais est recouverte dans les parties basses et plates par des sables éoliens qui se déplacent à la manière de dunes.

### 1.3. LA REPARTITION DES REGIONS HABITEES

La répartition des régions habitées en Iran est essentiellement conditionnée par le climat total et surtout par la répartition des précipitations. La lisière de la Caspienne, la plus humide et la plus boisée des régions de l'Iran, compte un tiers de toute la population iranienne. Le Khouzistan (continuation orientale de la Mésopotamie) ne bénéficie pas de pluies abondantes, mais grâce aux fleuves importants qui le traversent (le Karoun notamment), et à l'industrie pétrolière, il est assez peuplé. C'est également au pétrole et aux trafics commerciaux connexes que la côte du golfe Persique doit d'être habitée. La vie et le désert se partagent l'intérieur.

L'Azarbaïdjan, les flancs du Zagros et de l'Alborz, les versants des chaînes occidentales ont leurs lisières de végétation ou leurs chapelets d'oasis. Ces régions ont attiré l'homme depuis des millénaires (région agricole de Tabriz, environs de Téhéran, oasis de Hamadan, d'Isfahan et aussi la région étudiée de Kerman). A noter que même les montagnes de Khorassan ont leurs oasis.

### 1.4. GEOGRAPHIE DE LA REGION DE KERMAN

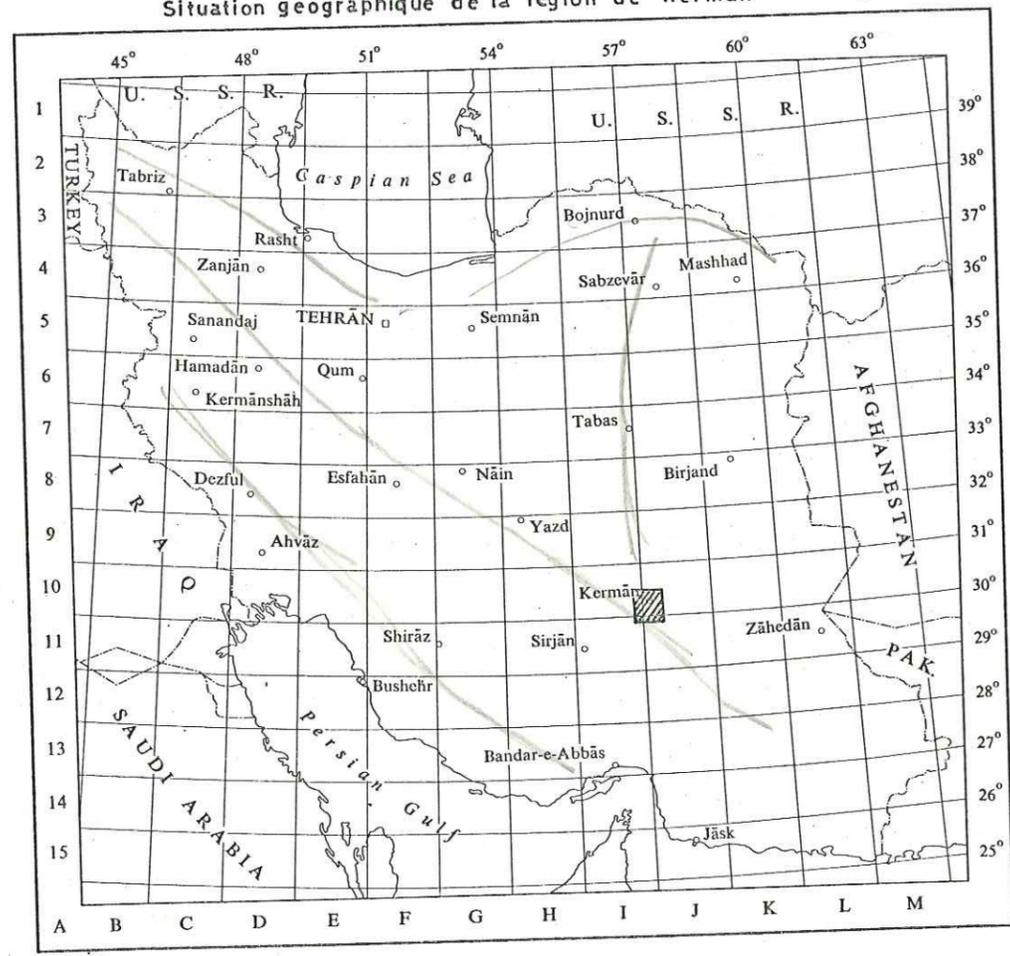
#### 1.4.1. Localisation et latitude

La région de Kerman est située dans le secteur Sud-Ouest de l'Iran, dans la chaîne intérieure occidentale, et à l'ouest du Kavir-é-Lut. Les coordonnées de cette région sont 57° Est (longitude) et 30°20' Nord (latitude). Elle se trouve entre les quatre villes ci-dessous : Zahedan au Sud-Ouest, Sirdjan au Sud-Est, Yazd au Nord-Est et Birdjand au Nord.

#### 1.4.2. Limites et surface du bassin versant

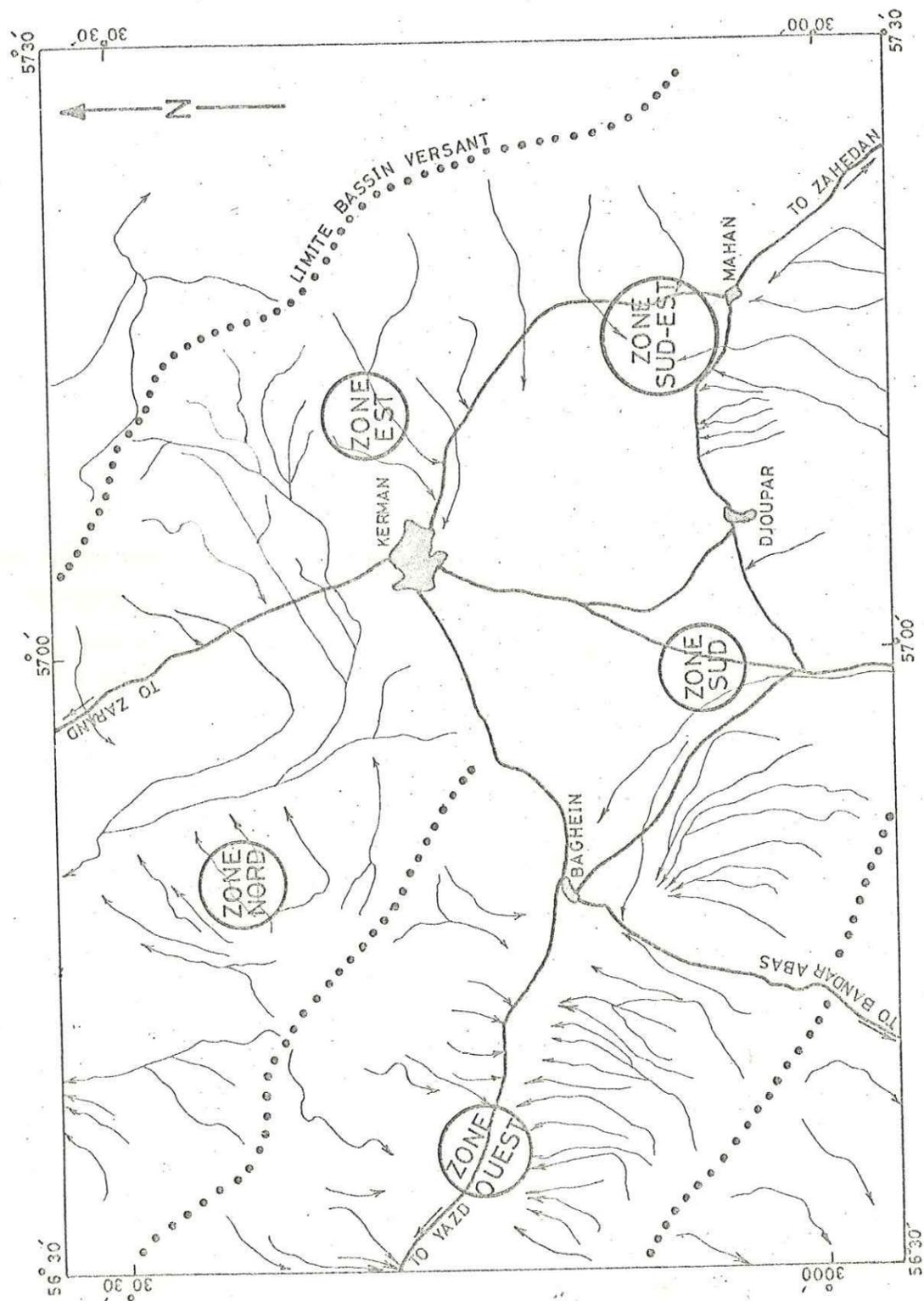
La plaine de Kerman est limitée, au Sud par les chaînes de Djupar, au Nord-Ouest jusqu'au Sud-Ouest par les chaînes de Sekonje, et au Nord et Nord-Est par les chaînes de Badamou. En conséquence, on y distingue quatre bassins versants qui alimentent la plaine de Kerman (figure 3).

Situation géographique de la région de Kerman



Echelle : 1/20'000'000

Fig: 2



CARTE DE SITUATION DES BASSINS VERSANTS  
DE LA REGION DE KERMAN  
ECHELLE 1:500,000

Fig-3

- 1) le bassin d'alimentation de la plaine Nord de Kerman (vallée de Kerman à Zarand).
- 2) le bassin d'alimentation de la plaine Ouest de Kerman (vallée de Baghein).
- 3) le bassin du Roud-é-Tchari limité aux gorges qui entrent dans la plaine.
- 4) le bassin d'alimentation de la vallée de Mahan comprenant le versant Sud-Ouest de la chaîne du Sekonje.

Il faut noter que la partie la plus importante de l'alimentation de la plaine de Kerman se fait par le versant de la vallée de Mahan et aussi par le bassin du Roud -é-Tchari.

#### 1.5. REPARTITION DES ALTITUDES

- La plaine de Kerman :  
L'altitude de la plaine de Kerman est de l'ordre de 1.750 m, cependant elle augmente à plus de 1.800 m en allant vers le Nord et aussi dans la direction Sud.
- La barrière montagneuse de l'Est de Kerman :  
Les altitudes varient de 2.000 m à plus de 3.500 m (aux sommets).
- Les unités montagneuses à l'Ouest de Kerman :  
Les altitudes varient entre 2.000 m et 2.900 m aux sommets.
- Les montagnes de Djupar :  
Les altitudes varient de 2.000 m à plus de 4.100 m aux sommets.
- Les versants au Sud de Baghein :  
Les altitudes varient de 2.000 m à plus de 2.500 m.

Il faut noter que l'altitude des collines de dunes situées au Sud de Kerman est au maximum de 30 m par rapport à la plaine elle-même.

## 1.6. COUVERTURE PHOTOGRAPHIQUE ET CARTES

- Les mosaïques des photos aériennes au 1/50.000 approximatif (1/55.000 à 1/65.000) 1955. Service cartographiques de l'Armée, couvrent toute la région.

- Les cartes topographiques au 1/50.000 dressées à partir des photos aériennes, 1969. Service cartographique de l'Armée couvrent aussi toute la région.

- Les cartes topographiques au 1/250.000, JOINT OPERATION GRAPHIC (GROUND), 1969, par l'Armée Impériale de l'Iran. Nous avons utilisé cette carte pour le fond topographique 1/250.000 de cette étude.

## 1.7. CLIMAT DE LA REGION DE KERMAN

La région de Kerman, dont l'altitude moyenne est de 1.850 m, présente un climat à la fois désertique et montagneux. En été, la température maximale est de 39°C et en hiver la température minimale est généralement de -10°C, mais peut atteindre -24°C. Les écarts journaliers de température sont de  $\pm 30^\circ\text{C}$  aussi bien en été qu'en hiver. L'humidité relative de la région varie entre 20 % en été et est de l'ordre de 50 % en hiver.

Les précipitations à Kerman sont enregistrées depuis 1950. Ces données montrent l'irrégularité du régime pluviométrique, en effet, la moyenne est de 180 mm/an. Les apports de 252 mm/an, ou de 150 mm/an sont exceptionnels.

Les vents avec une vitesse de plus de 20 km/h généralement arrivent par le côté Ouest de l'Iran. Cette direction modifiée par les conditions géographiques et le système de montagnes, est finalement NW-SE dans l'ensemble de l'Iran. Dans la région de Kerman, cette direction générale est valable, mais il y a aussi un système de vents à une vitesse inférieure

à 20 km/h ; la direction de ce système dépend de la saison et de la température durant les jours et les nuits et peut donc varier dans toutes les directions.

Les cultures dans la région sont généralement irriguées, et elles sont fonction du débit des sources et des ghanates. Les produits fournis sont principalement, les céréales (surtout le blé et l'orge), et des pistaches.

Rappelons que la fabrication des tapis avec des dessins spécifiques est une autre richesse de la région.

CHAPITRE II

ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

- Géologie des Bordures
- Géologie des formations alluviales
- Tectonique
- Caractéristiques hydrogéologiques des diverses formations
- Aspect hydrogéologique des massifs

## 2. GEOLOGIE DES BORDURES

### 2.1. STRATIGRAPHIE

#### Introduction

La géologie de la région de Kerman peut être considérée comme assez compliquée, pour la raison que toutes les séries stratigraphiques à partir du Précambrien, jusqu'aux formations récentes du Quaternaire sont présentes dans la région.

Notre étude géologique de la région de Kerman a été effectuée sur les différents versants dans le but d'étudier les eaux souterraines.

La carte géologique au 1/250.000 établie entre 1959-1961 par les géologues allemands : (MM. HUCKRIEDE et VENZIAFF) qui couvrait la zone Nord du Kerman, a servi de référence pour les déterminations stratigraphiques. Nous avons donc utilisé cette échelle pour cartographier la limite Sud du bassin versant de la région.

La carte géologique jointe (figure 4) à l'échelle du 1/250.000, couvre donc l'ensemble des massifs environnant la plaine de Kerman, sur une superficie d'environ 6.000 Km<sup>2</sup>.

#### 2.1.1. Le Pré-cambrien (la série de MORAD) . A.

Les formations les plus anciennes de la région de Kerman sont désignées sous le nom de séries de MORAD par Huckried et al. 1962.

Elles affleurent à la bordure NE de Kouh-é-Badamou. Elles constituent le coeur de l'anticlinal de MORAD.

Cette série est formée de grès arkosiques, micacés, en gros bancs de schistes pélitiques avec des lits de grès fins et des intercalations de quartzites. L'épaisseur de l'ensemble de la série est de l'ordre de 500 m.

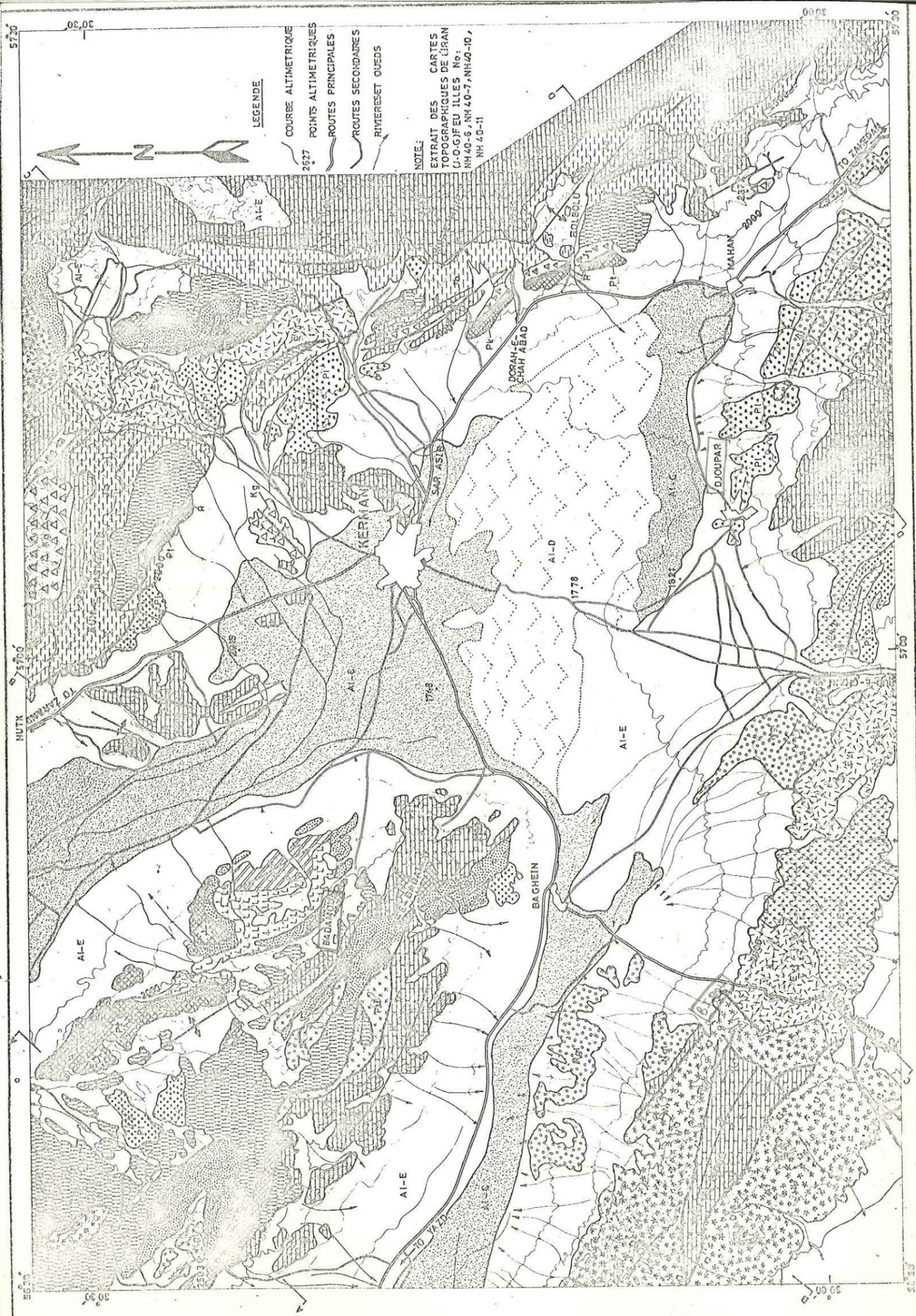


Fig. 4

### HYDROGEOLOGIE DE LA REGION DE KERMAN

CARTE GEOLOGIQUE  
Echelle 1:250,000



LEGENDE

- ALLUVIONS RECENTES DUNES
- ALLUVIONS RECENTES LIMONS
- ALLUVIONS RECENTES ET EBOULIS
- PLIO-PLÉISTOCÈNE : CONGLOMERATS ET ANCIENS EBOULIS
- OLIGO-MIOCÈNE : CONGLOMERATS, GRÈS ET MARNES GYPSEUSES
- EOCÈNE MOYEN A SUPÉRIEUR: COMPLEXE VOLCANIQUE, ANDESITES ET BASALTES ANDESITIQUES
- EOCÈNE INFÉRIEUR: COMPLEXE VOLCANIQUE, TUFFS, VOLCANIQUES, ANDESITES
- CRÉTACÉ SUPÉRIEUR: CONGLOMERATS ET GRÈS KERMANS CONGLOMERAT
- CRÉTACÉ SUPÉRIEUR: COMPLEXE DE SÉDIMENTÉS TYPE FLYSCH
- CRÉTACÉ MOYEN A SUPÉRIEUR CALCAIRES EN GROS BANCS ET CALCAIRES A RUDISTES MASSIFS
- MALM ET JURASSIQUE SUPÉRIEUR (SÉRIE DE BIDOU): GRÈS ET MARNES MULTICOLORES ET SCHISTES, LOCALEMENT CONGLOMERATS
- DOGGER: GRÈS ARKOSIQUES, SCHISTES ET QUARTZITES
- LIAS: QUARTZITES, GRÈS, SCHISTES ET CALCAIRES GRÈSEUX
- RHÉTIEN: SCHISTES, CALCAIRES ET MARNES
- CARBONIFÈRE, TRIAS: DOLOMIES, LOCALEMENT CALCAIRES
- CAMBRIEN SUPÉRIEUR ET DÉVONIEN: CALCAIRES DOLOMIES ET QUARTZITES
- DÉVONIEN INFÉRIEUR: GRÈS ROUGES MULTICOLORES
- CAMBRIEN INFÉRIEUR (SÉRIE DE RIZU): DOLOMIES QUARTZITES ET GRÈS
- PALÉOZOÏQUE NON DIFFÉRENCIÉ: SÉDIMENTÉS TRÈS DÉFORMÉS ET MÉTAMORPHISÉS ET LAVES
- ALGONKIEN (MORAD SERIES): SCHISTES PELITIQUES ET GRÈS
- LIMITE STRATIGRAPHIQUE
- FAILLE OU CONTACT ANORMAL
- DIRECTION DES COUCHES ET PENDAGE
- AXE ANTICLINAL
- AXE SYNCLINAL

References Utilisées  
 -Carte, Géologique DE Sagand Et  
 Kerman Province (IRAN)  
 -Carte Géologique DE La Région  
 DE Kerman (1:500,000)

PRE-CAM.		CAMBRIEN		SILURIEN		CARBONIFERE		PERMIEN		TRIASSIQUE		JURASSIQUE		CRETACE		EOCENE		NEOGENE		AGE
PRE-CAM.		CAMBRIEN		SILURIEN		CARBONIFERE		PERMIEN		TRIASSIQUE		JURASSIQUE		CRETACE		EOCENE		NEOGENE		
AGE	NOME DE FORMATION	EPAISSEUR en m.	LITHOLOGIE																	
500	Monad. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		
500	Monad. A.	500																		
300	Pu. A.	300																		
400	Rigu. Cn.	400																		

2.1.2. Le paléozoïque indifférencié (Pu)

Dans la partie Ouest de Kouh-é-BADAMOU, on distingue une série d'âge indéterminé. Elle se compose principalement de dolomies en gros bancs gris foncé ou noir, avec des lits de roches métamorphiques, quelquefois des intercalations de quartzites. Par place, on peut distinguer des gypses, des marnes gypseuses sur plusieurs mètres d'épaisseur et aussi des intercalations de roches volcaniques acides (diorite porphyrique). Cette série est très tectonisée. L'âge exact de cette série n'est pas déterminé mais d'après MM. HUCKRIEDE KURSTEN et VENZLAFF, elle pourrait dater du Cambrien inférieur.

2.1.3. Le Cambrien inférieur (la série de RIZU). (CR)

Cette série avec le nom de "RIZU SERIE" repose en discordance sur la série du Précambrien. Elle commence par un conglomérat de base d'une épaisseur de l'ordre de 20 m, avec de nombreux galets de lydienne sur lequel repose une cinquantaine de mètres de grès et de dolomies. Ensuite, nous avons une série grésovolcanique très épaisse (à peu près 300 m) de couleur rouge à violette, formée d'une alternance de grès pyroclastiques, de tufs bruns à rouges, et aussi de brèches avec des fragments de quartz et de silex. Dans la partie supérieure, dominant des laves quartzofeldspathiques acides. Les affleurements de cette série sont à l'Est de la montagne de BADAMOU située au Nord Ouest de Kerman.

2.1.4. Le Cambrien moyen et supérieur (Cm)

Le Cambrien moyen, dans la région commence par des calcaires noirs, parfois dolomitiques, à trilobites, sur lesquels viennent ensuite des dolomies.

Il se poursuit par des quartzites, schistes sableux et des tufs verdâtres. L'ensemble de cette série fait à peu près 300 m. L'affleurement de Cambrien moyen et supérieur est bien marqué au SE de Kerman, aux marges de Kuh-é-Narmou, par des calcaires et des dolomies au-dessus du village de Dareh-Shahdad.

2.1.5. Le Silurien

Le Silurien dans la région est représenté seulement avec la série du Dévonien à Kouh-é-Tizi au NE de KERMAN. C'est un faciès que l'on retrouve jusqu'au Dévonien moyen et pour cela nous le décrivons avec la série du Dévonien.

2.1.6. Le Dévonien

Le Dévonien est bien développé dans le massif de BADAMOU, et aussi à Kouh-é-Tizi. L'épaisseur de cette série dans la région est de l'ordre de 500 m. Il faut noter que le contact entre Silurien et Dévonien et aussi entre Dévonien et Carbonifère n'est pas toujours visible, en raison de l'absence de fossiles.

2.1.6.1. Le Dévonien inférieur (PS)

En certains points où le Silurien manque on désigne souvent sous le nom de Dévonien inférieur, un ensemble qui va en fait du Cambrien supérieur au Dévonien inférieur. En effet, celui-ci est représenté dans la région par un faciès essentiellement détritique. Il affleure dans le coeur de l'anticlinal de Tizi et au Nord de Baghein dans le massif de Badamou. L'épaisseur de la série est d'environ 100 m.

Elle est formée de grès rouges multicolores et de conglomérats à galets. Les grès sont caractérisés par une stratification entrecroisée avec des traces argileuses entre les couches et aussi des bancs de quartzites clairs qui apparaissent surtout au sommet.

2.1.6.2. Le Dévonien moyen et supérieur (PK)

Les affleurements de Dévonien moyen et supérieur sont développés surtout dans le massif de Badamou. Le dévonien moyen débute par un conglomérat brun-rouge d'environ 1 mètre, qui montre la transgression du Givétien sur les séries du Cambrien. La série se poursuit par une alternance de dolomies avec des intercalations de petits bancs de quartzites et de calcaires marneux lumachelliques ; on distingue par place de minces lits gréseux. L'ensemble de l'épaisseur du Givétien est de l'ordre de 100 m.

La série dolomitique du Carbonifère repose directement sur le Givétien. Le contact est bien visible grâce aux fossiles dans le Carbonifère. Dans la région de Hutk, les dolomies du Carbonifère reposent directement sur les grès rouges, parce que le Givétien manque dans cet endroit.

Il faut noter qu'au Sud-Est (l'Est de Dorah Shah Dad) de la région de Kerman, le Dévonien, dans l'ensemble est représenté par les dolomies et des schistes dolomitiques.

#### 2.1.7. Le Carbonifère (Pt)

Les affleurements de Carbonifère dans la région se présentent dans l'anticlinal de Tizi et à l'Est de Dorah Shah Dad et également dans le massif de Badamou à l'Ouest de Kerman. Le faciès dolomitique formant la partie supérieure du Dévonien se poursuit au Carbonifère inférieur. Après le Carbonifère inférieur, des calcaires à crinoïdes en bancs massifs noirs, et localement dolomitisés reposent sur les dolomies, et caractérisent le Carbonifère moyen, qui se termine par une dizaine de mètres de dolomies, sables dolomitiques rouges et de grès.

La partie supérieure du Carbonifère est essentiellement dolomitique et formée d'une alternance de dolomies rouges et de dolomies claires à crinoïdes.

La détermination des différentes unités du Carbonifère n'est pas toujours facile, et c'est pour cela que nous avons représenté sur la carte une unité dolomitique pour toute la série du Carbonifère.

#### 2.1.8. Le Permien

Dans la région de Kerman, le Permien n'est pas bien déterminé au point de vue des fossiles caractéristiques, mais comme les dolomies du Dévonien se continuent jusqu'au Trias, on peut penser qu'elles englobent le Permien.

Les affleurements de Permien sont représentés dans l'anticlinal de Tizi, au NE de Kerman et à l'Est et Sud-Est de Dorah Shah Dad.

### 2.1.9. Le Secondaire

Les terrains secondaires affleurent largement dans les différents massifs de bordure de la région de Kerman. On y distingue les calcaires et les conglomérats épais du Crétacé qui constituent les montagnes dominant tout au tour la ville de Kerman. Les schistes noirs de la partie inférieure du secondaire sont représentés aussi largement dans la région.

#### 2.1.9.1. Le Trias

Le Trias est formé de dolomies, claires, parfois brun-rouge, sans fossiles et sans limite déterminable avec le Permien. Dans certains secteurs, on distingue des couches calcaires foncées parfois assez épaisses entre les couches de dolomies.

Le Trias dans la région est très plissé et faillé, surtout au SE de Kerman. Dans le massif de Badamou, l'épaisseur globale de la série calcaires-dolomies qui va du Givétien jusqu'au Trias, est de l'ordre de 300 m.

Le Trias se termine par des dolomies, des schistes bauxitiques et des niveaux de bauxite pure (15m) qu'on observe très particulièrement à Boulboulou, au SE de Dorah Shah Dad.

#### 2.1.9.2. Le Rhétien (R)

Le Rhétien est formé de bancs calcaires oolitiques et gréseux d'un mètre d'épaisseur, de quartzites qui annoncent déjà les faciès du Lias, de schistes pélitiques et de marnes tendres multicolores. Ce faciès est représenté à Bazargun et aussi à Bolboulou.

#### 2.1.9.3. Le Lias (LI)

Après les roches carbonatées qui dominent au Paléozoïque supérieur et au Trias, le faciès du Lias est différent et les sédiments sont siliceux. Les sédiments du Jurassique inférieur sont des schistes pélitiques, des grès quartzitiques, des quartzites et des calcaires oolitiques et gréseux sur 50 à 70 m environ.

Dans la région étudiée les niveaux charbonneux ne sont pas visibles, et ils n'apparaissent que plus au Nord. Le Lias, plus au Nord (Zarand) s'épaissit et les horizons charbonneux sont bien développés.

Il est donc très probable que les environs de Kerman formaient la bordure du bassin principal de sédimentation.

2.1.9.4. Les niveaux de passage Lias-Dogger

Le Dogger commence par un très bon horizon repéré entre le Lias et le Jurassique supérieur dans la série Secondaire.

Près de Bazargun, cet horizon est très bien représenté. Il est constitué par des calcaires en bancs de 0.50 à 1 m, avec des niveaux bréchiques, à la base qui sont surmontés par des calcaires en plaquettes, de couleur brunâtre, qui sont plus altérés. L'épaisseur de ce niveau dans cet endroit est d'une cinquantaine de mètres, alors que, dans les autres zones, il est plus réduit.

2.1.9.5. Le Dogger (Jd)

Au Dogger proprement dit, le faciès détritique commence à nouveau, par une alternance de schistes pélitiques sombres, de grès bruns à gris-verts et de grès orkosiques. De petites intercalations de quartzites s'intercalent dans les séries. L'ensemble des sédiments est vert sombre et contraste nettement avec le reste du Jurassique.

Dans le massif de Badamou, la série comprend, en outre, des niveaux charbonneux (veines de charbon, schistes charbonneux avec empreintes de feuilles) et de minces intercalations calcaires. Mais comme dans le cas du Lias, les niveaux charbonneux prennent de plus en plus d'importance lorsqu'on approche vers le Nord (région de Zarand).

2.1.9.6. Le Malm : la série de Bidou (Jb)

La série a été dénommée Bidou parce que la série type a été décrite aux environs du village Bidou (Nord de Kerman). Dans la région étudiée, elle est concordante sur le Dogger, et formée essentiellement par des schistes pélitiques et des marnes gréseuses multicolores. Les intercalations de grès conglomératiques et de conglomérats grossiers sont nombreuses, mais peu épaisses, (5 à 10 m). Très rarement, on rencontre des grès calcaires oolitiques et lumachelliques avec une faune marine.

La série de Malm est très bien distinguable sous les falaises de calcaires crétacés, par ses couleurs très vives et ses pentes molles.

L'épaisseur de la série peut atteindre 1.500 m sur les flancs de Kouh-é-Darmanou, mais elle est réduite en allant vers le Sud-Est. Au Sud-Est de Kerman, dans le coeur de l'anticlinal de Kouh-é-Mihe et sous le Crétacé, le Malm se présente sous forme de schistes pélitiques, très fins avec de très minces intercalations gréseuses.

Cet aspect particulier pourrait être dû à des déformations tectoniques durant la sédimentation.

Dans le massif de Badamou, la série de Bidou n'est pas représentée, par suite d'une lacune stratigraphique, semble-t-il.

Dans le massif de Djoupar, les sédiments qui correspondent à 1.000 m environ de schistes pélitiques avec des intercalations de grès fins et de quartzites pourraient représenter les périodes comprises entre le Jurassique inférieur et le Crétacé.

2.1.9.7. Le Crétacé

2.1.9.7.1. Le Crétacé inférieur et moyen (K)

D'après les géologues allemands, le Crétacé inférieur marque le commencement du plissement Alpin, et dans certains endroits (en dehors de la région étudiée) une discordance visible existe entre le Crétacé inférieur et la série plus ancienne.

inférieur

Dans notre région, le Crétacé est très peu développé et n'est présent que dans la région de Hutk, sur le flanc sud de Kouh-é-Badamou, et aussi près de Tchari et Djoupar.

Dans la région de Tchari et Djoupar, la série débute par un conglomérat discordant sur le Jurassique auquel font suite des marnes vertes où s'intercalent des bancs de grès, de calcaires et de dolomies. L'épaisseur est d'environ 100 m.

Près de Hutk, le Crétacé inférieur et moyen est représenté par les dolomies grises à orbitolines.

Dans Kouh-é-Djoupar, au-dessus de la série détritique qui représente le Jurassique, on trouve par place un conglomérat sur lequel repose une épaisse barre calcaire. Cette série est constituée, de bas en haut, de calcaires blancs à débris d'échinodermes, de calcaires à passées conglomératiques, de calcaire à silex avec des intercalations de calcaire marneux ou de marnes et enfin de calcaires rouges en gros bancs. Cet ensemble dont l'épaisseur est d'environ 200 m représenterait le Crétacé moyen.

2.1.9.7.2. Le Crétacé supérieur

Le Crétacé supérieur dans la région étudiée se développe dans les massifs environnants Kerman, il consiste en trois unités différentes :

A. - Les séries de calcaires et de schistes gréseux (K)

Les calcaires du Crétacé supérieur forment l'élément le plus marquant du paysage dans la région de Kerman, et ils donnent les puissantes falaises qui dominent la plaine.

Généralement, cette série est superposée en discordance sur la série ancienne, sauf dans les secteurs où le Crétacé inférieur existe.

Cette série débute par des calcaires très clairs auxquels font suite des calcaires massifs qui comprennent vers le sommet des intercalations de calcaires marneux et de très petits bancs de marnes.

Ces calcaires sont en général massifs et de couleur claire, sauf au pied de Kouh-é-Sekondje où ils sont beaucoup plus sombres et comprennent des intercalations de calcaires gréseux. L'épaisseur de l'ensemble des calcaires varie entre 300 et 600 m. Dans le massif de Djoupar, au-dessus d'une première vire calcaire débute une barre de calcaires marneux verdâtres, d'environ 200 m d'épaisseur qui se poursuivent par des calcaires blancs, très massifs et légèrement métamorphiques.

Dans la chaîne du Narmou et aussi au Sekondje, au-dessus des calcaires massifs, apparaît une alternance de petits bancs de calcaires gréseux d'aspect très schistosé. Dans la région de Mahan et aussi vers

le Sud-Est, la schistosité disparaît mais on a toujours des calcaires gréseux de plus en plus nombreux, au fur et à mesure qu'on approche vers le Sud. Au Sud de Mahan, l'équivalent de cette série schisto-gréseuse est représenté par des schistes calcaires ou pélitiques et des marnes vertes avec des intercalations de grès indurés et de calcaires marneux.

Comme le Crétacé inférieur n'est pas représenté partout, et puisque la partie schisteuse et gréseuse du Crétacé supérieur n'est pas toujours distinguable, nous avons pris l'ensemble crétacé comme une seule unité comprenant le Crétacé inférieur et supérieur, et nous l'avons cartographié avec le symbole "K" sur la carte géologique.

B. - Le conglomérat de Kerman (Kg)

On donne en général le nom de conglomérat de Kerman aux formations qui terminent le Crétacé supérieur. Le passage des séries précédentes au conglomérat se fait par l'intermédiaire d'un niveau de marnes gréseuses vertes et de conglomérats d'une trentaine de mètres d'épaisseur. Au-dessus, les séries massives sont bien repérables par leur couleur brun rouge. Elles sont formées de conglomérats grossiers, de grès et de calcaires conglomératiques.

En certains endroits (Sud-Est de Kerman) le conglomérat est discordant sur le Crétacé inférieur qui a été en partie érodé.

La série est bien développée au Nord de Kerman, et au sommet du Kouh-é-Darmanou ; elle a environ 400 m d'épaisseur.

Les galets de cette formation sont de diverses origines, quartzites et dolomies du paléozoïque, grès de la série de Bidou et surtout éléments calcaires de Crétacé supérieur.

Au Nord de Kerman, et dans Kouh-é-Darmanou, la série conglomératique comprend des intrusions basiques (roches vertes, basaltes).

Il est très probable que les galets du conglomérat, issus d'une désagrégation, ont subi un transport peu important, et la consolidation a eu lieu en milieu marin.

Dans le Kouh-é-Djoupar, le Crétacé se termine également par un conglomérat massif rougeâtre, qui repose sur des grès, des marnes de couleur verte où s'intercalent des petits bancs conglomératiques. Il semble bien que ce niveau est équivalent de la série du conglomérat de Kerman.

C. - Flysch du Crétacé supérieur (Cenomanian - Turonien)(Kf)

Cette série constitue la partie la plus importante de Kouh-é-Bidou située au Sud Ouest de Baghein. Elle repose en concordance sur les sédiments anciens; l'épaisseur de cette série est estimée proche de 1.000m.

La partie inférieure de la série est formée par des grès avec des bancs très fins et des calcaires fossilifères; l'ensemble de cette partie est intercalé avec des bancs conglomératiques.

La partie supérieure de la série Flysch est plus variable; les grès sont plus grossiers et la proportion de roches carbonatées est réduite. La présence de débris organiques dans les bancs de calcaire est plus fréquente dans la partie inférieure du "Flysch" que dans la partie supérieure. Le calcaire par place est oolitique, et des intercalations de bancs conglomératiques fins sont plus fréquentes dans l'ensemble de la série.

2.1.10 Le Tertiaire

Les affleurements tertiaires, dans la région de Kerman sont surtout les sédiments volcaniques de l'Eocène. Les séries plus récentes comme, l'Oligo-Miocène et le Plio-pleistocène sont représentées en bordure de la plaine et surtout dans la partie sud-ouest de Kerman.

2.1.10.1. L'Eocène

L'Eocène est constitué par un ensemble très épais de roches d'origines volcanique et sédimentaire. Les affleurements de cette série volcanique se situent au Sud de Baghein et aussi à l'Est de Roud-é-Chari. Il a été possible de distinguer deux unités différentes dans les complexes volcaniques de l'Eocène :

- Série de l'Eocène inférieur et moyen.
- Série de l'Eocène moyen et supérieur.

A. - Série de l'Eocène inférieur et moyen (EV<sub>1</sub>)

Une importante activité volcanique a commencé à l'Eocène inférieur avec le dépôt de ce complexe. L'épaisseur de la série dans la région étudiée est estimée à moins de 200 m. Elle est en discordance sur les séries flysch du Crétacé supérieur. Le complexe commence par une phase explosive acide où des tufs, des brèches volcaniques et des coulées dacitiques se sont mis en place.

Il est suivi par plusieurs phases volcaniques constituées par des andésites et basaltes andésitiques, associés avec les "coulées de laves". Dans l'ensemble du complexe, on peut remarquer des bancs de calcaires nummulitiques, qui ont au maximum 50 m d'épaisseur.

Ce complexe volcanique affleure au Sud de Baghein et dans la partie Est de Kouh-é-Bidou.

B. - Série de l'Eocène moyen et supérieur (EV<sub>2</sub>)

Les roches volcaniques de l'Eocène supérieur, dans la région de Kerman, affleurent au Sud de Baghein et surtout dans la zone comprise entre la route de Bandar Abbas et la vallée de Roud-é-Chari.

Elles sont en discordance sur les séries de l'Eocène inférieur. L'ensemble de la série est constitué par des roches : trachyandésites, andésites et basaltes andésitiques en coulées alternant avec des grès tufs, agglomérats, mais ce n'est que rarement que l'on peut observer des bancs continus de grès et de calcaires dans la série.

L'épaisseur totale de la série est de l'ordre de 1.000 m. La phase finale de l'activité volcanique s'est terminée à l'Eocène supérieur.

En résumé, la séquence volcanique de l'Eocène est constituée par 80 % de matériaux pyroclastiques et les 20 % restant par des coulées de laves et des matériaux sédimentaires.

2.1.10.2. L'Oligo-Miocène (Ng1)

L'Oligo-Miocène est représenté par une série détritique à dominante marneuse, avec des intercalations de grès rouges ou verdâtres et des bancs de conglomérats grossiers. Cependant, la sédimentation est assez variable d'une région à l'autre.

En bordure de Kouh-é-Bidou, les marnes gréseuses et gypseuses dominent, on a une épaisse série d'environ 500 m de marnes gypseuses, rougeâtres avec des passées sableuses, qui s'étendent sous la plaine de Baghein et constituent partiellement le substratum des formations alluviales.

Dans la vallée de Roud-é-Chari, la partie supérieure de la formation est gréseuse et conglomératique.

Dans la région de Mahan, un long anticlinal miocène jalonne le flanc du Djoupar ; la série est constituée, à la base, d'un ensemble fin gris verdâtre, avec des niveaux sableux, et vers le sommet des couches conglomératiques. Les galets peuvent atteindre 10 cm de diamètre et proviennent des différents calcaires crétacés, de grès et quartzites du Jurassique. Les marnes gypseuses sont un indice de sédimentation à caractère lagunaire dans la série oligo-Miocène.

#### 2.1.10.3. Le plio-pleistocène (Pl)

Les sédiments du plio-pleistocène recouvrent généralement en discordance la série oligo-Miocène ou les séries plus anciennes. On les rencontre généralement partout et en bordure du relief actuel, et ils s'étendent, aussi sous les alluvions de la plaine. Les sédiments sont assez épais et consistent surtout, en formations conglomératiques avec des passées de grès grossiers.

### 2.2. LES FORMATIONS DE COUVERTURE (QUATERNAIRE)

Les dépôts du Quaternaire sont très étendus dans la région étudiée. Ils couvrent, les plaines, les piedmonts et la partie inférieure des versants montagneux.

#### 2.2.1. Les alluvions (Al-E)

Les alluvions occupent une partie de la plaine de Kerman. On les rencontre très souvent en bordure de la plaine, à la limite des parties rocheuses des montagnes et des limons de la plaine.

Ces alluvions sont formées par des graviers, <sup>et</sup> sables avec une forte proportion de matériaux fins. La nature lithologique de ces alluvions dans la région de Kerman, varie suivant les natures des

roches du versant montagneux.

En profondeur, les alluvions sont formées par une alternance de limons argileux ou finement sableux, de sables et graviers, colmatés parfois par des éléments grossiers (puits et sondages). Les épaisseurs des alluvions dans la région sont très variables et pourraient atteindre 200 m.

#### 2.2.2. Les cônes de déjection (Al-E)

Les cônes de déjection dans la région sont très vastes et épais, et on les rencontre très souvent en bordure des montagnes. Ils empiètent sur la plaine. La nature lithologique et le faciès de ces cônes varient en fonction de la nature de la roche du versant montagneux.

La proportion d'éléments grossiers est d'autant plus grande qu'on est plus près du versant montagneux.

A la partie basse des cônes de déjection, les éléments sont, en moyenne, beaucoup plus fins ; cailloutis, graviers, sables, s'étalent loin dans la plaine.

En profondeur, on a une imbrication de ces cônes avec des alluvions de la plaine.

#### 2.2.3. Les éboulis (Al-E)

Généralement les versants portent des éboulis. En effet, les éboulis assez volumineux ne sont fournis que par les roches, très dures qui forment des reliefs en falaises ou en côtes. Les formations marneuses et les schistes avec une morphologie plus molle, ne donnent que des débris fins. Dans l'état actuel, il semble que le ruissellement est suffisant pour transporter les produits de l'érosion.

#### 2.2.4. Les limons (Al-E)

Les matériaux fins et les limons sont déposés sur une surface très étendue, dans la partie centrale de la plaine de Kerman, et aussi dans la vallée de Zarand au Nord, et la vallée de Baghein. Ces limons en surface, sont très fins, et parfois sableux, ils proviennent d'épandage des crues. Les limons sont limités au tour des

plaines par des alluvions et des cônes de déjection.

2.2.5. Les dunes (Al-D)

Les sables occupent de grandes étendues dans la plaine de Kerman. Les dunes présentent la forme de collines qui dépassent rarement 20 mètres de hauteur, et reposent généralement sur des limons et des alluvions fines. Les sables dunaires contiennent une forte proportion de limon. On rencontre, aussi, quelques zones sableuses au pied de la chaîne Est et au Sud du Kouh-é-Badamou.

2.3. TECTONIQUE

2.3.1. Les unités structurales

La plaine de Kerman proprement dite représente un très vaste bassin d'orientation Nord-Ouest-Sud-Est limité :

- à l'Est et au Sud-Est par le système d'anticlinaux et de synclinaux de Kouh-é-Darmou, Kouh-é-Narmou et Kouh-é-Sekondje.
- à l'Ouest par le système structural du massif de Badamou.
- au Sud et au Sud-Ouest par les séries d'anticlinaux et de synclinaux des massifs de Djoupar et de Bidou.

Tous les anticlinaux et synclinaux dans la région ont généralement une direction NW-SE. Cependant, on remarque un changement de direction des axes de structure dans les massifs calcaires crétacés, au Nord et au Nord-Ouest de Kerman.

2.3.2. Style Tectonique

Toutes les failles, les chevauchements et les différents accidents qui affectent les différents massifs de la région :

- ont une direction plus ou moins NW-SE, dans le massif Badamou.

- ont une direction approximativement N-S dans le massif de Narmou, et plus au Sud.

- ont une direction E-W plus au Nord, (hors de la région) zone de Hutk et Deh-Ziar.

- Ont une direction plus ou moins E. W dans la région de Kouh-è-Bidou.

On ne rencontre pas, cependant, de nappes de charriage.

La direction des plis est généralement parallèle à la direction générale des chaînes (NW-SE). En bordure de la plaine les plis chevauchent quelquefois les sédiments récents du Tertiaire. On observe ce phénomène, en particulier, sur la ligne de discontinuité qui longe le pied de Kouh-é-Darmanou, et au Nord-Ouest de Bazargun.

Du fait de ces accidents chevauchants, le Primaire a été soulevé et forme une série de buttes bien visibles en bordure de la plaine spécialement entre Darsinou et Bolboulou.

- Dans le massif Badamou, une grande faille de direction NE-SW a "soulevé" les séries du paléozoïque et les a mis en contact avec le Jurassique à l'Est du massif et avec le Crétacé à l'Ouest. Il s'agit d'une grande faille approximativement verticale qui continue vers le Nord Ouest en dehors de la région étudiée.

- Dans le massif de Bidou, les failles à peu près verticales ont une direction Est-Ouest et ont soulevé le cœur de l'anticlinal du Crétacé et l'ont mis en contact avec le flysch du Crétacé supérieur.

- Dans le Kuh-é-Tizi, à l'Ouest de Keriman, le Dévoien et le Carbonifère sont soulevés au contact des séries jurassiques et des roches volcaniques de l'Eocène.

- Au pied Ouest du Kuh-é-Darmanou, une grande faille qui continue jusqu'à près de 100 km au Nord (plaine de Zarand), a mis en contact les séries jurassiques avec le Crétacé et le Pliocène.

En considérant les aspects des plissements et les formes des failles et des chevauchements, on peut conclure que la région de Kerman a une tectonique de style alpin.

### 2.3.3. Histoire du plissement

L'histoire du plissement de la région étudiée peut être résumée de la manière suivante :

- Le plus ancien plissement connu dans la région est antécambrien ; la transgression du conglomérat de base du Cambrien marque une nouvelle phase de sédimentation qui se serait arrêtée avant le Givétien en raison d'une nouvelle phase tectonique. Celle-ci est responsable de l'absence des séries du Cambrien supérieur.

- Le Givétien marque le début d'une ère de sédimentation tranquille qui se poursuivra jusqu'au Trias. A la fin du Trias, il y a émergence, puis, pendant le Jurassique, une période de subsidence plus ou moins rapide pendant laquelle se déposent par place des niveaux charbonneux. Les conglomérats du sommet de la série de Bidou marquent les mouvements précurseurs de la grande phase tectonique qui débute au Crétacé inférieur.

Ces mouvements s'arrêtent avec la grande transgression du Cénomaniens mais les conglomérats de Kerman témoignent de l'existence d'une nouvelle phase tectonique au Crétacé supérieur. Les mouvements qui se poursuivent jusqu'à maintenant sont séparés par d'importantes phases d'érosion. Ils s'accompagnent pendant l'Eocène d'un volcanisme intense. Avant les dépôts de l'oligo-Miocène les sédiments de l'Eocène sont en partie érodés.

- Les mouvements continuent à se faire sentir pendant le pliocène et le Quaternaire, qui sont en effet, plissés par endroits. Les réajustements récents occasionnent des tremblements de terre.

### 2.3.4. Volcanisme

Comme nous l'avons écrit dans le paragraphe stratigraphique, il y a eu deux phases de volcanisme dans la région de Kerman :

- La phase de volcanisme de l'Eocène inférieur à moyen (EV<sub>1</sub>).
- La phase de volcanisme de l'Eocène moyen à supérieur. (EV<sub>2</sub>)

## 2.4. CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES DIVERSES FORMATIONS.

### 2.4.1. Les formations perméables

Les calcaires, les dolomies, les conglomérats et les dépôts alluvionnaires sont les principaux terrains qui peuvent être considérés comme perméables. Les calcaires et dolomies sont généralement perméables dans la mesure où ils sont suffisamment fissurés, et où ces fissures n'ont pas été ultérieurement colmatées.

#### 2.4.1.1. - Les calcaires paléozoïques

On rencontre principalement ces calcaires dans le massif de Badamou. Ils ont été intensément fissurés au cours des divers mouvements tectoniques qui les ont affectés, mais très généralement ces fissures ont été colmatées par les dépôts de calcite. Quelques sources à débit faible sont issues de ce calcaire. On peut donc considérer que ces formations ne sont pas très perméables.

#### 2.4.1.2. - Les dolomies et calcaires dolomitiques du Dévonien et du Trias sont également diaclasés.

Les argiles de décomposition qui remplissent le plus grand nombre de diaclases sont le signe de circulations anciennes d'eau ; ces circulations ont également profité des interlits qui sont également colmatés par ces argiles. En raison de la puissance de ce colmatage argileux, on pourra exclure la possibilité d'une perméabilité dans l'ensemble de ces formations.

#### 2.4.1.3. - Les calcaires du Crétacé, massifs, avec des bancs bien individualisés.

sont très fissurés et les diaclases recoupent le plan de stratification, créant ainsi des possibilités de circulation d'eau en

tous sens. Les fissures et plans de stratification ont pu être élargis par ces circulations d'eau, mais on n'a pas remarqué, cependant, d'indices de karstification proprement dite (galeries, cavernes). Bien que la porosité d'ensemble de ce calcaire soit probablement faible/en considérant la perméabilité et l'épaisseur des formations on pourra envisager l'emmagasinement de quantités d'eau importantes pendant la saison humide, partout où ce calcaire affleure sur de grandes étendues. Ces eaux sont ensuite drainées, soit vers des sources ou cours d'eau, soit vers les alluvions de la plaine, là où existe un contact direct.

2.4.1.4. Les formations de conglomérats

sont perméables dans la mesure où elles ne sont pas très cimentées. Cependant, un conglomérat bien cimenté peut-être perméable de la même façon que les calcaires, si il a été diaclasé, comme c'est le cas pour le conglomérat de Kerman.

La perméabilité des conglomérats plio-pléistocène, qui se sont pas complètement cimentés n'est pas négligeable, mais la valeur de cette perméabilité reste très inférieure à celle des alluvions quaternaires non cimentées qui les surmontent.

2.4.1.5. Les alluvions et les cônes de déjection

ont essentiellement une perméabilité en fonction de la granulométrie. Les perméabilités sont d'autant meilleures que l'on a une granulométrie plus grossière et des éléments bien classés. La perméabilité est très réduite par la présence d'un colmatage des éléments grossiers par des limons ou des argiles. Dans le Quaternaire, les perméabilités les plus fortes se rencontrent dans les alluvions des torrents de montagne, où, l'écoulement rapide dans les vallées étroites n'a déposé que des éléments grossiers : galets, sables et graviers.

Les perméabilités sont encore fortes dans les cônes de déjection, d'autant plus qu'on est plus près de la montagne, en raison du classement qui affecte en moyenne les matériaux déposés par les torrents.

2.4.2. Les formations imperméables

En considérant qu'il n'existe pratiquement pas de terrains imperméables, on peut imaginer cependant que tous les terrains dont, la perméabilité est très faible (comparée à celle des terrains catalogués comme perméables) sont imperméables.

Ce sont :

- Les roches cohérentes non fissurées et à faible porosité, roches volcaniques, calcaires compacts, grès bien cimentés.

- Les roches schisteuses, marneuses ou argileuses qui, d'une part sont peu perméables du fait de leur nature physico-chimique, et qui, d'autre part, sont relativement plastiques et par conséquent ne permettent pas l'existence d'une fissuration où les eaux pourraient circuler.

Conclusion

Dans l'ensemble des formations stratigraphiques décrites dans le paragraphe géologie pour la région de Kerman, les formations perméables sont :

- Les calcaires du Crétacé, dans le cas où il y a fissuration par les mouvements tectoniques.

- Les alluvions et les cônes de déjection, et à un moindre degré les conglomérats du plio-pléistocène.

Toutes les autres formations peuvent être considérées comme des terrains qui sont pratiquement imperméables.

2.5. ASPECTS HYDROGEOLOGIQUES ET POSSIBILITES

D'ALIMENTATION DES MASSIFS

Comme nous l'avons écrit précédemment plusieurs massifs entourent la plaine de Kerman. Dans ce paragraphe, nous essayons

d'analyser d'une façon sommaire les possibilités d'alimentation des nappes de la plaine de Kerman par ces massifs.

#### 2.5.1. Le massif Badamou

Ce massif est situé à l'Ouest de Kerman, et sépare les deux vallées qui se dirigent l'une à l'Ouest vers Kaboutar-Khan, et l'autre au Nord vers Zarand. L'altitude moyenne de ce massif est assez modeste, et elle ne dépasse pas 2.800 mètres, et décroît en direction du Nord-Ouest.

##### 2.5.1.1. Aspect géologique et Hydrogéologique

La surface du massif de Badamou, est en majeure partie constituée par des formations imperméables s'étageant du Cambrien au Jurassique. Tout le versant Nord-Est est constitué de roches primaires, qui sont peu perméables. Ce versant contribue à l'alimentation des nappes de la région Nord et de Zarand. La partie centrale du massif est affectée par des failles, des chevauchements et des écaillages. Par conséquent, la répartition des roches perméables et imperméables est très complexe, et en raison de leur extension restreinte et discontinue, les roches fissurées ne peuvent pas alimenter directement la nappe de la plaine de Kerman.

Sur la bordure du massif, les torrents étalent dans la plaine des cônes de déjection où leurs eaux s'infiltrant en partie et alimentent les nappes. Sur la bordure sud du massif, le long de la vallée de Baghein, les calcaires crétacés prennent une grande extension et plongent vers le Sud-Ouest. Il y a sûrement une possibilité de passage direct des eaux des calcaires dans les alluvions renfermant les nappes de la plaine.

Les torrents descendant du versant sud du massif vers la plaine de Baghein ont des bassins versants assez élevés qui s'étendent largement sur les roches paléozoïques et les roches primaires. Ces torrents ont des débits importants au printemps et au début de l'été, mais les eaux lessivent des terrains salés et deviennent chargées en sels minéraux.

#### 2.5.2. Le massif de Bidou

Ce massif avec une direction NW-SE forme la bordure Sud de la plaine de Baghein. L'altitude de cette chaîne est d'environ 2.400 m.

##### 2.5.2.1. - Aspect géologique et hydrogéologique

Le massif est formé d'une part, par les séries volcaniques de l'Eocène, et d'autre part par les séries Flysch et calcaires du Crétacé.

Les dépôts oligo-Miocènes affleurent à la bordure du massif entre les séries anciennes et les alluvions de la plaine.

La structure du massif de Bidou est formée d'un anticlinal aplati dont l'axe suit approximativement la ligne médiane du massif. Les terrains qui le constituent sont des roches volcaniques et des flyschs qui sont très peu perméables et l'infiltration est à peu près nulle. Ceci explique le fait qu'il n'y a aucun point d'eau dans le massif et surtout à sa bordure Nord.

Les failles entre les calcaires et les flyschs sont à peu près verticales, ce qui explique le fait que l'infiltration dans les calcaires, se fasse très profondément et ne contribue probablement pas à l'alimentation de la nappe. Le ruissellement est important et les torrents qui descendent vers le Nord s'étalent dans la plaine entre Baghein et Kaboutar-Khan (plus à l'Ouest, hors de la carte). L'infiltration sur les cônes d'éboulis et aussi sur les alluvions des pentes n'est pas négligeable, mais les eaux lessivent les terrains oligo-Miocènes salés en bordure du massif, de sorte qu'elles contribuent à l'augmentation de la salinité de la nappe de Baghein, en allant vers l'aval. Le massif de Bidou se prolonge vers l'Est par des séries oligo-Miocènes et les conglomérats du Plio-Pléistocène. Le Roud-é-Tchari entaille perpendiculairement ces formations peu perméables. Les alluvions récentes sont très peu épaisses dans le lit de la rivière, de sorte que le passage souterrain des eaux est très négligeable. Il n'y a donc pas d'alimentation souterraine possible de la nappe de Kerman par le bassin du Roud-é-Tchari.

Les eaux issues du bassin du Roud-é-Tchari coulent donc en surface, et alimentent la nappe de Kerman en s'infiltrant en partie dans les cônes alluviaux vers l'aval.

### 2.5.3. Le massif de Djoupar

Ce massif domine, au Sud de la plaine de Kerman, et c'est la montagne la plus importante de la région. L'altitude de ce massif est de plus de 4.200 mètres.

#### 2.5.3.1. - Aspect géologique et hydrogéologique

La partie principale de la montagne de Djoupar est constituée par une épaisse dalle de calcaires fissurés qui plonge vers le Nord-Est. La structure monoclinale du massif explique la dissymétrie des versants, le versant NE étant beaucoup moins abrupt que l'autre.

L'infiltration dans le massif est très importante, mais l'eau avant d'atteindre la plaine doit traverser, en contrebas des calcaires crétacés, une zone jurassique peu perméable et à la périphérie du massif une ceinture anticlinale presque continue de terrains oligo-Miocènes peu perméables. Ce passage des eaux se fait dans les torrents ou dans les alluvions qui tapissent leurs lits à la traversée des zones peu perméables. Presque tous les torrents qui descendent du Djoupar ont des débits pérennes assez importants.

Ces eaux sont utilisées pour l'irrigation des zones de cultures à la périphérie du massif depuis Mahan jusqu'au village Djoupar, et une partie des eaux se réinfiltré dans les cônes d'éboulis en aval de la ceinture oligo-Miocène.

Ce massif contribue pour une part importante à l'alimentation de la nappe de Kerman.

### 2.5.4. Le massif bordier oriental

Ce massif s'étend depuis la zone située à l'Est de Kerman jusqu'à Mahan. Il se compose de plusieurs unités, qui sont, Kouh-é-Tizi, Kouh-é-Narmou, Kouh-é-Nasr et Kouh-é-Sekondj. Cette chaîne

culmine à peu près à 4.000 m d'altitude, et reçoit une bonne quantité d'eau.

#### 2.5.4.1. - Aspect géologique et hydrogéologique

La partie haute de la chaîne est constituée par la puissante barre des calcaires crétacés.

Les eaux infiltrées s'écoulent en grande partie souterrainement et alimentent directement la nappe de Kerman. Le torrent de Sekondje qui draine les calcaires a un débit pérenne. La partie Ouest de la chaîne comprend des roches allant du Paléozoïque au Jurassique, qui forment une barrière peu perméable et que les torrents franchissent profondément.

Dans la partie Est de la chaîne, qui est formée par les calcaires, les eaux qui s'infiltrèrent s'écoulent à l'extérieur de la zone de Kerman. Par contre, entre Bolbolou et plus au nord, les eaux de surface s'écoulent vers la plaine de Kerman. Une part très importante des eaux des torrents s'infiltré dans les cônes d'éboulis qui bordent la plaine et dans les terrains sablo-graveleux de piedmont.

En résumé, cette chaîne constitue une seconde zone d'alimentation principale de la nappe de Kerman.

### 2.5.5. Le massif Darmanou

Les montagnes de Kouh-é-Darmanou bordent la plaine de Kerman au Nord, avec une altitude qui voisine 3.500 mètres.

#### 2.5.5.1. - Aspect géologique et hydrogéologique

Les roches constituant Kouh-é-Darmanou appartiennent au Jurassique et sont relativement peu perméables. Elles favorisent le ruissellement vers la plaine de Kerman des eaux météoriques. Les calcaires et les conglomérats crétacés qui affleurent au sommet sont inclinés vers le Nord et le Nord-Est, et l'infiltration qui peut s'y produire descend vers l'Est. Les eaux de ruissellement de cette montagne s'infiltrèrent dans le grand cône d'éboulis au Nord de Kerman.

Les eaux qui lessivent le Jurassique sont assez chargées en sels minéraux.

2.5.6. Conclusion

- Le bassin de Kerman est fermé à l'Est et au Sud.
- Le massif de Djoupar et le massif bordier Est constituent les plus importantes zones d'alimentation de la nappe de Kerman.
- La partie Est du massif de Badamou et les montagnes de Darmanou contribuent à l'alimentation de la nappe de la plaine Nord de Kerman.
- La partie Ouest du massif de Badamou et le massif de Bidou également contribuent à l'alimentation de la nappe de la plaine de Baghein à l'Ouest de Kerman.
- La nappe de la plaine de Kerman se partage en deux parties :
  - a) Une partie s'écoule vers la vallée de Zarand au Nord.
  - b) Une partie s'écoule vers la vallée de Baghein à l'Ouest.

CHAPITRE III

ETUDE DE LA STRUCTURE PROFONDE DE LA PLAINE  
DE KERMAN

- Bed Rock
- Remplissage

### 3. ETUDE DETAILLEE DU REMPLISSAGE DE LA PLAINE DE KERMAN

Dans ce chapitre, nous essayerons de préciser la nature et la structure du remplissage quaternaire de la plaine. Très souvent, le Pléistocène est inséparable du Quaternaire et des éboulis anciens, et il est assez difficile d'établir la limite entre les deux formations continentales. La nature du remplissage, aussi bien que la nature du Bed Rock sont très variables dans la plaine de Kerman.

Les méthodes qu'il est possible d'utiliser pour l'étude proprement dite de la plaine de Kerman sont :

- Etude géologique de surface
- Etude géomorphologique et étude des photos aériennes.
- Etude géophysique par la méthode de prospection électrique.
- Etude des échantillons des sondages mécaniques.
- Etude granulométrique des échantillons.
- Interprétation de tous ces résultats.

#### 3.1. - METHODE D'ETUDE

##### 3.1.1. - Etude géologique 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 d'exécution. D'autre part, nous avons pu visiter des travaux occasionnels de curage de puits. En plus, les déblais des puits nouvellement créés ont été examinés avec précision.

L'exploration des lits des oueds et des ruisseaux nous a fourni de précieux renseignements sur les matériaux charriés lors de 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.

##### 3.1.2. - Etude géomorphologique et étude des photos aériennes

Les terrains sableux et les dunes qui affleurent largement au milieu

de la plaine de Kerman sont caractérisés par leur aspect de basses collines orientées par la direction du vent.

Les terrains limoneux se caractérisent par une surface assez plate ; et une couleur blanche sur les photos et aussi sur le terrain.

Les terrains alluvionnaires sont caractérisés par leur couleur grise pas très foncée et leur aspect raviné par les eaux de ruissellement.

L'étude géomorphologique et les études des photos aériennes nous ont permis la reconnaissance des formations récentes et de préciser leurs limites dans le cadre géologique d'ensemble de la région.

### 3.1.3. - Etude géophysique

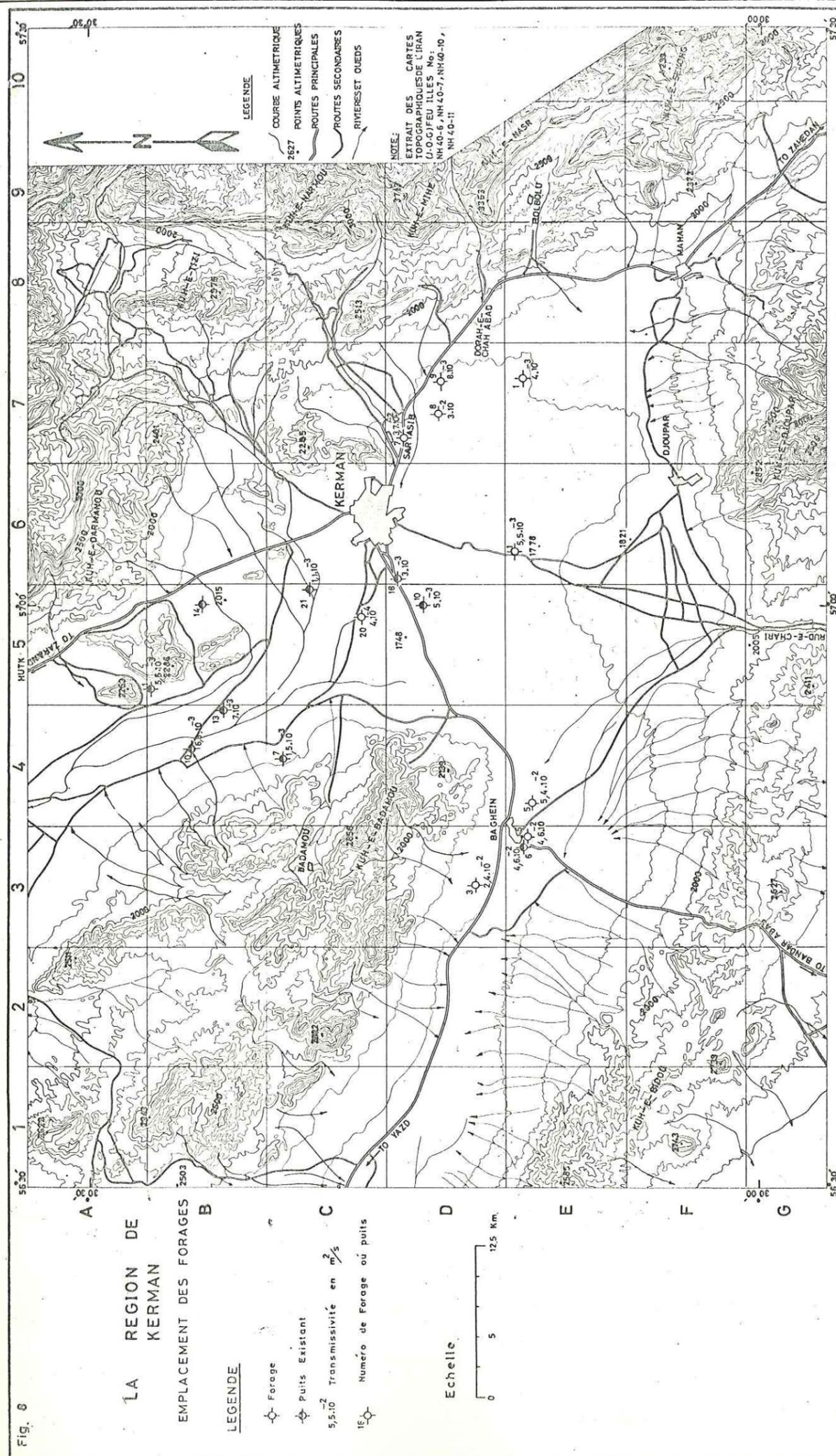
Une étude géophysique par prospection électrique dans la plaine de Kerman a été effectuée par le ministère de l'eau et de l'électricité de l'Iran (1964). Nous avons pu exploiter les résultats de cette étude et les utiliser pour compléter notre connaissance de la structure profonde de la plaine de Kerman.

Le rôle de l'étude géophysique par prospection électrique était en résumé :

- Evaluer l'extension des dépôts alluvionnaires récents, leur épaisseur et leur nature compte tenu de leur résistivité.
- Rechercher l'allure du substratum imperméable sur lequel reposent les alluvions récentes.
- Mettre en évidence les zones les plus intéressantes pour des forages d'exploitation.

### 3.1.4. - Etude des échantillons des sondages mécaniques

Huit sondages mécaniques ont été effectués dans la plaine de Kerman par le ministère des eaux et de l'électricité. La situation de ces sondages est montrée sur la planche n°8. La profondeur moyenne de ces sondages est de l'ordre de 200 m. Elle varie de 100 à 250 m suivant l'épaisseur des dépôts récents et la profondeur du substratum. La plupart de ces sondages ont été effectués pour la reconnaissance du niveau des aquifères et de l'épaisseur des alluvions. Ces sondages ont été exploités pour l'irrigation et



l'alimentation en eau potable de la région. L'utilisation des résultats de ces sondages, nous a permis d'établir des profils tenant compte des profondeurs du Bed Rock et de l'épaisseur des alluvions.

3.1.5. - Etude granulométrique des échantillons

Plusieurs échantillons ont été prélevés lors de l'exécution des sondages de reconnaissance. D'autres échantillons sont prélevés, dans les différentes parties de la plaine.

L'étude de ces échantillons nous a permis la détermination de leur nature pétrographique et l'établissement de courbes granulométriques. (figures 9 et 10).

3.1.6. - Interprétation de tous ces résultats

L'interprétation de tous ces résultats mentionnés nous a permis de déterminer la structure profonde de la plaine, la forme des différents substratums, l'épaisseur des dépôts récents et leur nature dans la plaine étudiée, et également de déterminer l'emplacement d'anciens thalwegs.

3.2. NATURE DU REMPLISSAGE

Le remplissage de la plaine de Kerman a commencé dès le plio-pleistocène. Les formations qui le constituent proviennent du démantèlement des massifs calcaires crétacés, des roches volcaniques de l'Eocène et des autres roches qui bordent le pourtour de la plaine (carte géologique fig. 4).

Les formations qui remplissent la plaine de Kerman peuvent être distinguées de la manière suivante :

3.2.1. - Les dunes

Les affleurements des dunes occupent une grande partie de la plaine au Sud de Kerman. Elles sont formées par remaniement des sables par l'effet

Fig. 9

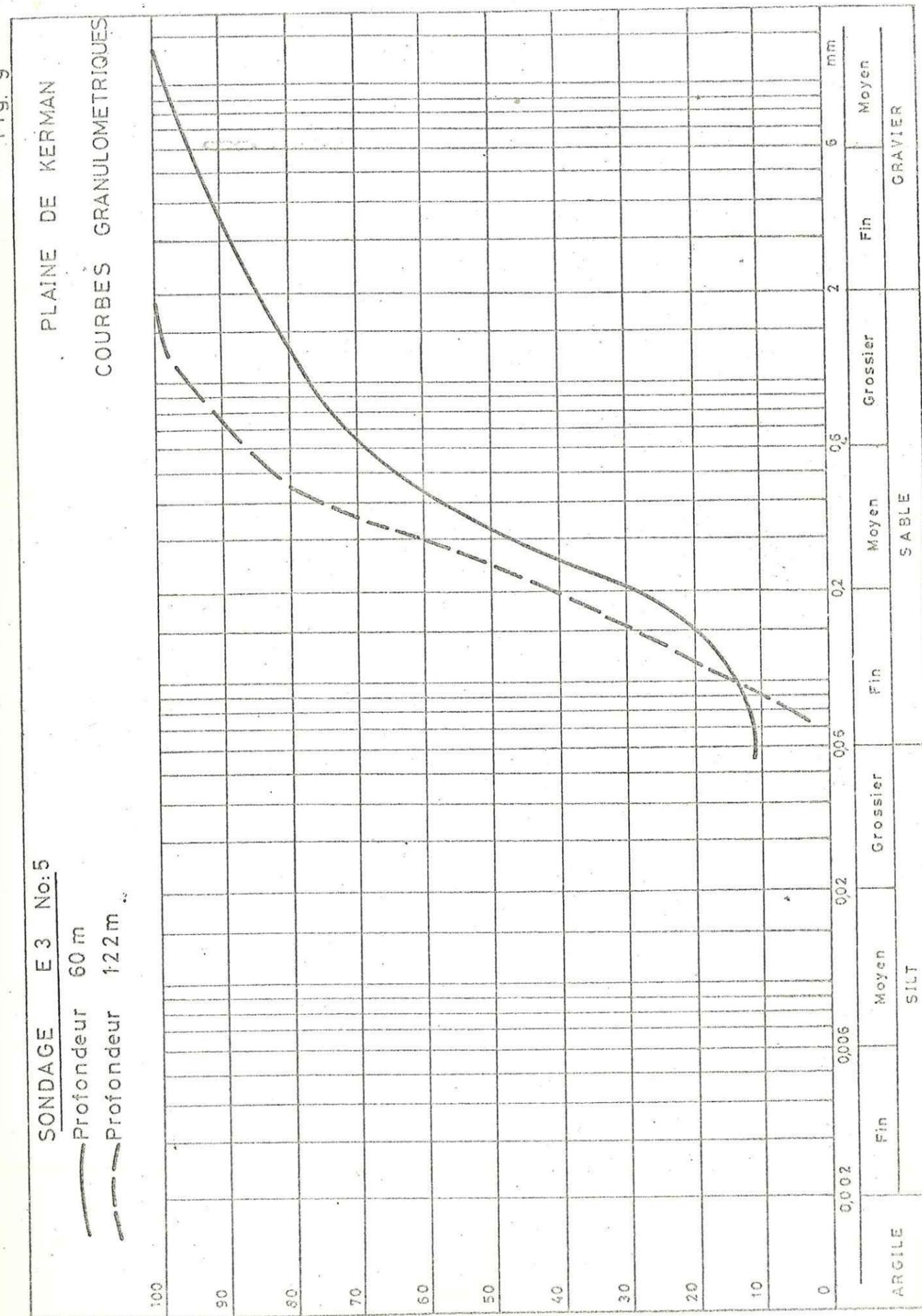
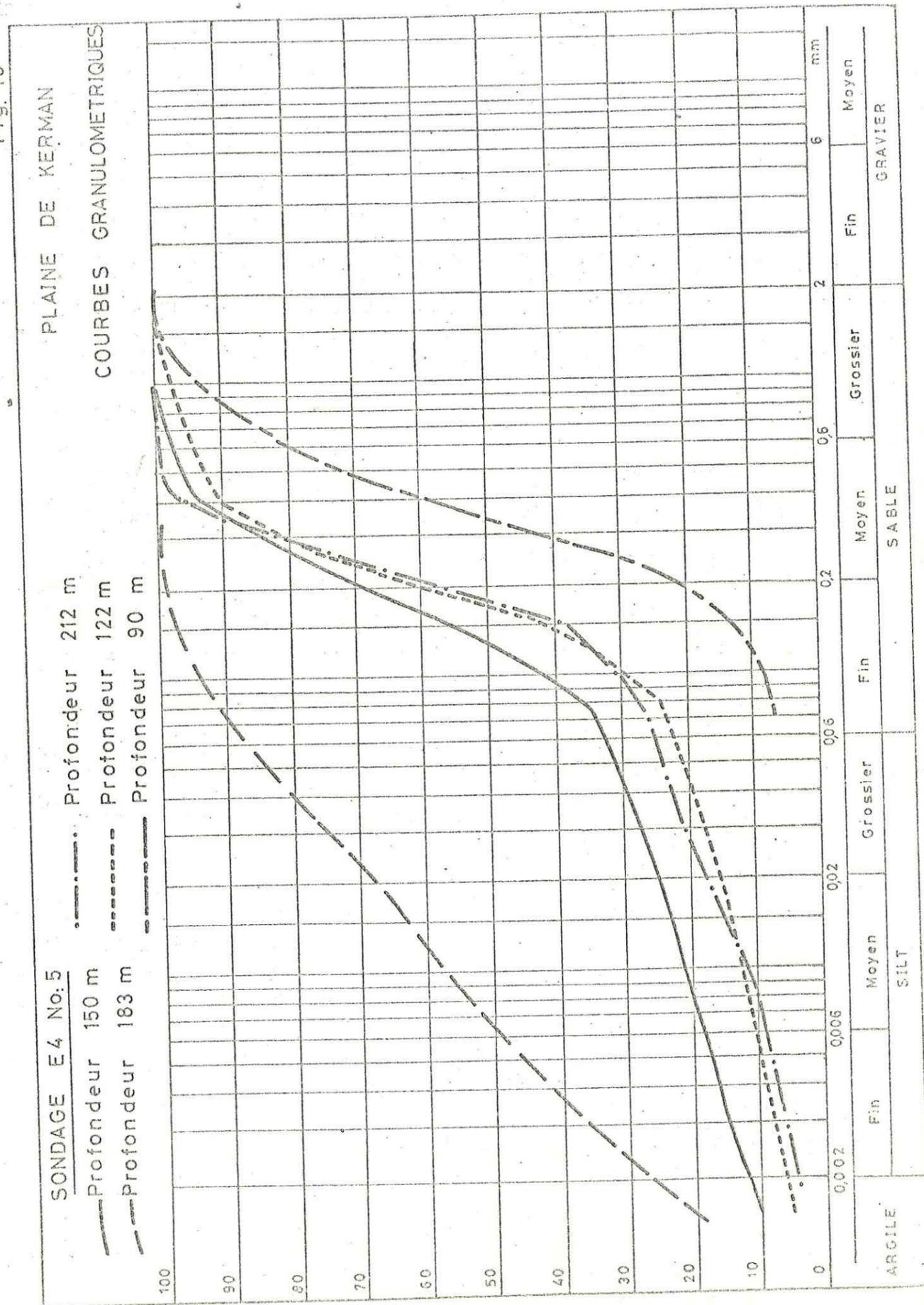


Fig. 10



du vent. Elles sont transportées par les vents soufflants dans la direction Nord-Est - Sud-Ouest. Ces sables sont propres et riches en grains, calcaires et siliceux. On pense que les sables de ces dunes proviennent de la grande dépression du désert de LUT, située à l'Est de Kerman (Est de la région du Shah-Dad).

### 3.2.2. - Les alluvions

Les limons occupent la partie centrale des plaines des vallées de Zarand (au Nord) et de Baghein (à l'Ouest) et reposent aussi sur les collines des dunes au sud de Kerman.

Les limons fins parfois sableux passent exceptionnellement à des graviers et des sables en bordure des zones centrales des plaines

Les matériaux grossiers couvrent généralement la surface entre la bordure des massifs et la limite des zones limoneuses. Ils sont formés par des graviers, des sables et des matériaux fins.

En profondeur, les alluvions sont formées par des alternances de limons argileux ou finement sableux, de sables fins, parfois d'éléments plus grossiers, et de graviers sableux.

### 3.2.3. - Les cônes de déjection

Ils sont assez vastes et très épais, à cause du régime climatique particulier de la région. Ils sont formés en général d'éléments assez grossiers qui deviennent plus fins en allant vers la plaine où ils s'imbriquent avec les limons plus fins de celle-ci.

### 3.2.4. - Le plio-pleistocène

Ce sont des graviers, des galets et du sable dans une pâte marneuse. Ils sont très souvent cimentés et consolidés et forment des bancs de grès et des conglomérats.

Les affleurements de ces conglomérats sont représentés sous forme d'un cordon presque continu au pied du Kuh-é-Djoupar, au Nord du Kerman,

au Nord du Baghein, et très souvent sur les bords du bassin de Kerman. Les conglomérats du plio-pléistocène constituent la base des alluvions récentes sur une grande partie de la plaine.

3.2.5. - Le Miocène

Le Miocène correspond à une série détritique à dominance marneuse avec des intercalations de grès rouges ou verts et des bancs de conglomérats grossiers.

Il affleure sur une surface assez importante au sud-est et à l'ouest de Baghein, et aussi au sud du village de Djoupar.

Les couches du Miocène forment le substratum des alluvions sous une partie de la plaine de Baghein.

Pour illustrer la nature du remplissage de la plaine, nous essayons de présenter quelques coupes lithologiques des sondages exécutés dans la région par le ministère des eaux et de l'électricité. Les situations de ces sondages sont montrées sur la fig. n°8.

Sondage de reconnaissance Baghein : E4 N° 5

Ce sondage a été implanté dans les terrains alluvionnaires de la plaine de Baghein, en vue de la prospection des alluvions et de la reconnaissance de la forme de la vallée de Baghein.

A la suite d'un essai de pompage, on a déterminé les caractéristiques hydrodynamiques des couches aquifères.

La coupe lithologique de ce sondage est :

de	0 à 35 m	. Sable fin à grossier avec des passages silteux.
	35 à 62 m	. Marnes et argiles avec niveaux de silt et sable.
	62 à 101 m	. Sables grossiers à moyens avec des passages argileux ou marneux.
	101 à 131 m	. Marnes et argiles avec passage de sable ou silt.
	131 à 150 m	. Gravier avec des sables grossiers.
	150 à 178 m	. Alternance de marne et de silt.
	178 à 235 m	. Gravier avec sable fin à grossier, passage de lits silteux.

235 à 260 m . Marne, argile et silt plastique.

Nous pensons que l'épaisseur des alluvions dans ce sondage est de l'ordre de 230 m et, que les formations traversées au-dessous correspondent aux sédiments oligo-Miocènes.

Sondage de reconnaissance Baghein : E3 N° 5

Ce sondage a été implanté au Sud de Baghein dans les terrains alluvionnaires. La coupe lithologique de ce sondage est :

de	0 à 2 m	. Sable limoneux.
	2 à 25 m	. Sable grossier avec passage d'argile.
	25 à 37 m	. Sable très fin, silteux.
	37 à 48 m	. Sable grossier propre.
	48 à 60 m	. Sable fin avec passage d'argile.
	60 à 90 m	. Sable moyen à grossier, graviers, quelques passages argileux.
	90 à 98 m	. Conglomérat, graviers.
	98 à 110m	. Sable fin et graviers.
	110 à 121m	. Gravier avec passages argileux.
	121 à 135m	. Sable fin avec des passages argileux.
	135 à 150m	. Marnes et argiles plastiques.
	150 à 152m	. Marnes rougeâtres et argiles.

Dans ce sondage aussi, les niveaux oligo-Miocène ont été rencontrés vers 150 m.

Sondage de reconnaissance D3 N° 3

Ce sondage a été implanté au Nord Ouest de Baghein dans les terrains alluvionnaires :

de	0 à 50 m	. Galets, graviers et sables moyens à grossiers.
	50 à 90 m	. Galets, graviers avec importante fraction de sable.
	90 à 145m	. Galets, sables grossiers avec des passages de silt et d'argile.

- 145 à 180 m . Sables grossiers avec des galets isolés, intercalations de silts.
- 180 à 220 m . Galets, sable grossier et fin colmaté, pâte marneuse.

L'épaisseur des dépôts quaternaires (cône de déjection) dans ce sondage est donc voisine ou supérieure à 220 mètres.

Sondage de reconnaissance C5 N°20

Ce sondage a été implanté à l'Ouest de la ville de Kerman. La coupe lithologique rencontrée est la suivante :

- de 0 à 5 . Limon fin.
- 5 à 27 . Silt et silt sableux, marnes brun rougeâtre.
- 27 à 39 . Silt et argile brun-rougeâtre.
- 39 à 58 . Marne et silt.
- 58 à 70 . Silt et argile.
- 70 à 140 . Marne et silt brun.
- 140 à 181 . Marne et silt avec argile brun-rouge.
- 181 à 231 . Conglomérats avec intercalations marneuses ou gréseuses.

Les conglomérats rencontrés peuvent représenter le plio-pleistocène et on aurait là 180 mètres de formation siltoargileuses d'âge quaternaire.

Sondage de reconnaissance E6 N°1

Ce sondage a été implanté au milieu de la plaine au Sud de Kerman. Coupe lithologique :

- de 0 à 1 . Limon et sable.
- 1 à 21 . Limon brun avec passages argileux.
- 21 à 50 . Limons sableux fin, avec sable grossier.
- 50 à 100 . Alternance de silts, argile et de sable.
- 100 à 150 . Argile sableuse, silt et argile plastique.
- 150 à 161 . Argile brune.

Les matériaux fins quaternaires dans ce sondage ont une épaisseur d'environ 100 mètres et semblent reposer à nouveau directement sur l'oligo-Miocène.

Sondage de reconnaissance D7 N°9

C'est le sondage qui a été implanté à l'Est de Kerman, près de SAR-ASIAB. Coupe lithologique :

- De 0 à 4 . Alluvions de pente.
- 4 à 63 . Gros et petits galets, graviers et sable.
- 63 à 95 . Conglomérats et grès cimentés.

L'épaisseur des formations <sup>quaternaires</sup> paraît n'être ici que d'environ 60 mètres et les conglomérats appartiendraient au plio-pleistocène.

Sondage de reconnaissance D7 N°7

- De 0 à 68 . Galets, graviers et sable.
- 68 à 75 . Galets, graviers, léger colmatage.
- 75 à 80 . Marnes avec lits de silt et de sable.
- 80 à 120 . Galets, graviers et sable, plus cimenté vers le bas du sondage.

Il semble que l'on ne soit pas sorti des formations quaternaires lors de ce sondage.

Sondage de reconnaissance D6 N°6

- De 0 à 22 . Limon et sable.
- 22 à 70 . Graviers, galets et sable, quelques passages d'argile.
- 70 à 90 . Graviers et galets cimentés.
- 90 à 210 . Conglomérats, graviers et galets avec passages de grès et sable.

Ici, on aurait traversé sur une grande épaisseur, à partir de 90 mètres le plio-pleistocène.

Les coupes lithologiques de ces sept sondages nous confirment la nature du remplissage de la plaine, et aussi une hétérogénéité de la sédimentation quaternaire. Les sédiments sont constitués par des matériaux assez fins dans la grande plaine au Sud de Kerman, tandis que les sédiments qui bordent les zones limoneuses sont formés par des alternances de matériaux plus grossiers. Certains sondages, surtout dans la région de Kerman, ont recoupé le plio-pléistocène (comme substratum) mais plusieurs sondages vers Baghein ont recoupé directement les sédiments marneux de l'oligo-Miocène sous les formations quaternaires qui peuvent parfois atteindre des épaisseurs considérables.

### 3.3. LA NATURE DU SUBSTRATUM

L'étude géophysique a permis de distinguer trois zones de substratum avec des résistivités nettement différentes : carte N°11

- Substratum avec une résistivité comprise entre 6 et 8 ohm/m.
- Substratum avec une résistivité comprise entre 10 et 30 ohm/m.
- Substratum avec une résistivité supérieure à 30 ohm/m.

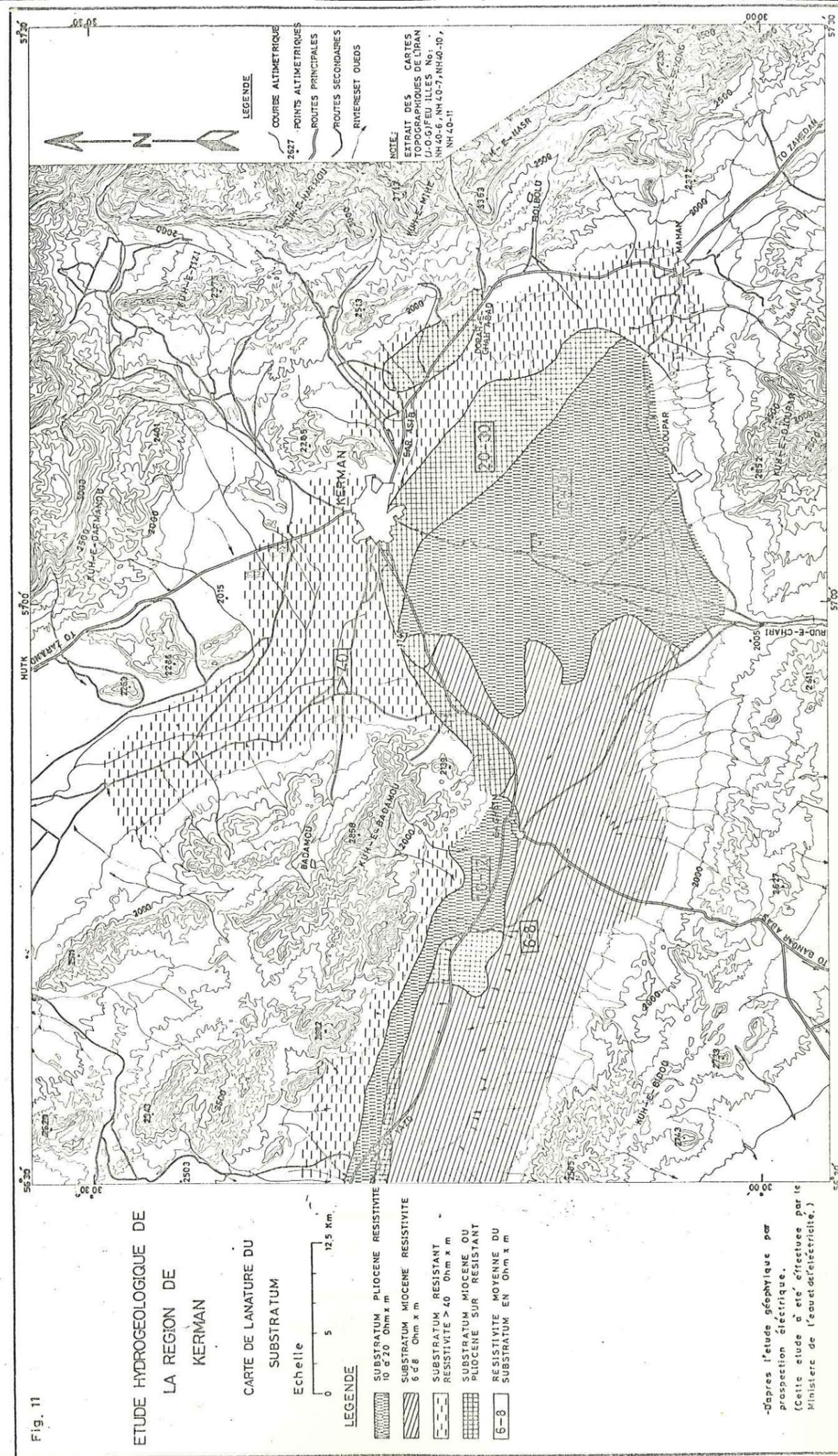
#### 3.3.1. - Substratum conducteur de 6 à 8 ohm/m (Oligo-Miocène)

Ce substratum apparait dans la vallée de Baghein sur différents profils effectués dans cette vallée. Les forages de reconnaissance E4 N°5, E7 N°5 ont pénétré dans ce substratum conducteur et confirment les résultats de l'étude géophysique.

#### 3.3.2. - Substratum conducteur de 10 à 30 ohm/m (Pliocène)

Ce terrain conducteur apparait en deux zones :

- sur le bord nord de la vallée de Baghein où cet horizon masque le Miocène dans une partie de la plaine.
- dans la grande plaine de Kerman (au Sud) avec une résistivité assez homogène. Au Sud, cette zone conductrice englobe plusieurs buttes d'âge pliocène qui affleurent au pied du massif de Djoupar. Vers le



Nord-Est, cette formation conductrice repose sur une formation résistante.

3.3.3. - Substratum de résistivité supérieure à 30 ohm/m (Secondaire)

Dans cette zone, la gamme des résistivités qui a été obtenue est assez large, et d'après les informations géologiques locales on peut supposer que c'est un substratum calcaire. La limite de ce substratum résistant n'est que la limite à partir de laquelle il apparaît sur les diagrammes des sondages électriques. Il s'enfonce progressivement sous la plaine de Kerman, mais la longueur de la ligne AB (2.000m) employée ne permet pas de le suivre lorsqu'il est trop profond. Dans la vallée qui part vers Zarand au Nord de Kerman, il est vraisemblable que le calcaire crétacé forme le substratum.

En plusieurs endroits, ces horizons résistants sont recouverts par les formations pliocènes.

Le forage de reconnaissance 5C-20 a rencontré, sous des limons, les conglomérats du Pliocène. C'est également cette formation qui a été rencontrée près de Hossein-Abad dans le forage 7D-9. Il faut noter qu'en plusieurs endroits ces horizons résistants sont recouverts par les formations conductrices et il n'est pas possible de les différencier partout à l'aide de leur résistivité. Seuls les forages permettant de les mettre en évidence.

3.4. EMLACEMENT DES ANCIENS THALWEGS

L'interprétation des études géophysiques effectuées dans la plaine de Kerman montre que :

- Dans la vallée de Baghein, on trouve au-dessus du substratum conducteur une zone de niveaux résistants qui correspond à une forte perméabilité et indique vraisemblablement l'existence d'un ancien lit du Rud-é-Tchari. En dehors de cette zone, les terrains paraissent peu perméables.

- Dans la grande plaine de Kerman, d'après les résultats de certains diagrammes de sondage électrique, on peut penser qu'il existe aussi

dans les alluvions quaternaires localement des possibilités d'aquifères importants.

- Dans la zone bordant le Massif de l'Est, près de Hossein-Abad, les éboulis sont relativement peu épais et reposent sur un conglomérat apparemment compact par l'intermédiaire de dépôts graveleux aux possibilités aquifères.

- Plus au Sud, au débouché du col de Mahan; le remplissage est très épais, ce qui coïncide avec la forte profondeur de la nappe.

- Dans la vallée de Zarand, un chenal étroit de direction Sud-Nord passe près de Nosrat-Abad, et les résistivités obtenues dans cette vallée sont l'indice d'une forte proportion de limons argileux dans les alluvions.

3.5. AGE DU REMBLAIEMENT DE LA PLAINE ET EVOLUTION DE LA SEDIMENTATION.

Les formations récentes qui remblaient les vallées de la région de Kerman appartiennent au Quaternaire et peut être en partie au plio-pléistocène. Seuls les conglomérats de cette époque peuvent être différenciés des formations plus récentes. Leur absence en de nombreux points et spécialement près de Baghein montre qu'une érosion torrentielle intense postérieure à leur sédimentation a creusé les profondes entailles reconnues par forages et prospection géophysique. Il est donc logique de penser que la plus grande part des dépôts rencontrés est d'âge quaternaire et correspond à des phases de sédimentation relativement anciennes faisant suite aux grandes périodes pluviales du Quaternaire.

Ce sont celles-ci qui ont permis l'existence de cours d'eau très importants capables de transporter de grandes masses de sédiments grossiers sur de grandes distances.

Peu à peu, les matériaux déposés deviennent de plus en plus fins au cours du temps sur une même verticale et ce phénomène se superpose à l'évolution normale de la granulométrie de l'amont vers l'aval.

## CHAPITRE IV

### LES ELEMENTS DU BILAN HYDROGEOLOGIQUE

- Pluviométrie
- Température
- Humidité
- Gelées et vents
- Evapotranspiration
- Infiltration
- Ruissellement

4. CLIMATOLOGIE ET HYDROLOGIE DE SURFACE

4.1. Introduction

Nous essayerons dans ce chapitre de dégager les différents traits caractéristiques du climat et du ruissellement de la plaine de Kerman. Les données climatologiques ont été recueillies par les services de la Météorologie de l'Iran, et les données d'hydrologie de surface sont fournies par le Ministère de l'eau et de l'électricité.

Comme nous l'avons mentionné dans le premier chapitre de cette étude, la nappe de la plaine de Kerman est alimentée par les quatre bassins suivants :

- Le bassin de Rud-é-Tchari.
- Le bassin d'alimentation sud-est (vallée de Mahan).
- Le bassin d'alimentation Nord.
- Le bassin d'alimentation de l'Ouest.

Les zones montagneuses et les cônes d'éboulis de piedmont sont responsables de l'alimentation des nappes de la plaine de Kerman. L'alimentation des nappes par la pluie tombant directement sur la plaine paraît négligeable. Nous essayerons donc de limiter nos estimations aux régions dont l'altitude est supérieure à 2.000 m dans les différents bassins versants environnant la plaine de Kerman.

4.1.1. - Pluviométrie

Nous disposons des relevés pluviométriques de la station de Kerman qui sont enregistrés depuis 1950. Nous avons même d'autres stations aux environs de Kerman qui nous permettent de préciser nos connaissances sur la pluviométrie de la région. Les relevés pluviométriques de la station de Kerman sont continus depuis 1950, sans interruption pour les derniers 20 ans, mais les autres stations (Mahan, Zarand, Baft, Rayin) ont fonctionné plus tard que la station de Kerman. Nous présentons ci-dessous les données pluviométriques relevées dans ces stations.

ZARAND	(1555m altitude) moyenne 1961-62 à 1968-69 - 130 mm
MAHAN	(1940m altitude) moyenne 1961-62 à 1968-69 - 170 mm
BAFT	(2200m altitude) moyenne 1961-62 à 1968-69 - 204 mm
RAYIN	(2158m altitude) moyenne 1961-62 à 1968-69 - 135 mm
BAM	(1067m altitude) moyenne 1958-59 à 1968-69 - 62 mm
RAFSINJAN	(1600m altitude) moyenne 1963-64 à 1968-69 - 87 mm

La hauteur moyenne des précipitations à Kerman est de 170 mm, durant les vingt dernières années (de 1950-51 à 1972-73). La figure 12 montre les variations de la pluviométrie annuelle au cours de cette période.

Les pluviométries annuelles extrêmes présentent partout dans la région des écarts, par exemple pour Kerman :

276 mm en 1956 et 47 mm en 1969

Ceci est dû à la présence d'années sèches et d'années pluvieuses (c'est assez général pour le centre de l'Iran). Le régime mensuel moyen des précipitations à Kerman, calculé sur vingt ans est montré sur la figure N° 13. Il apparaît qu'à peu près 80 % des précipitations tombent pendant la période de cinq mois qui s'étend du premier décembre au premier mai.

La saison pluvieuse commence en décembre par des pluies (dans la plaine) et de la neige (en altitude) d'hiver. En général, les pluies d'hiver sont assez persistantes et sont favorables à la recharge des nappes.

Les pluies qui arrivent sous forme d'averses et durent seulement quelques heures ne sont pas très favorables pour l'infiltration et donnent seulement naissance à des crues brusques.

Les mois les plus secs sont les mois de juin, juillet, août et septembre, c'est-à-dire durant l'été. La pluviométrie dans la plaine de Kerman augmente régulièrement en fonction de l'altitude. En reportant les précipitations en fonction de l'altitude sur le graphique 14, on voit que les points se placent à peu près au voisinage d'une droite, caractérisant un gradient d'environ 16 mm/100m, ce qui est assez normal pour les zones semi-arides et arides.

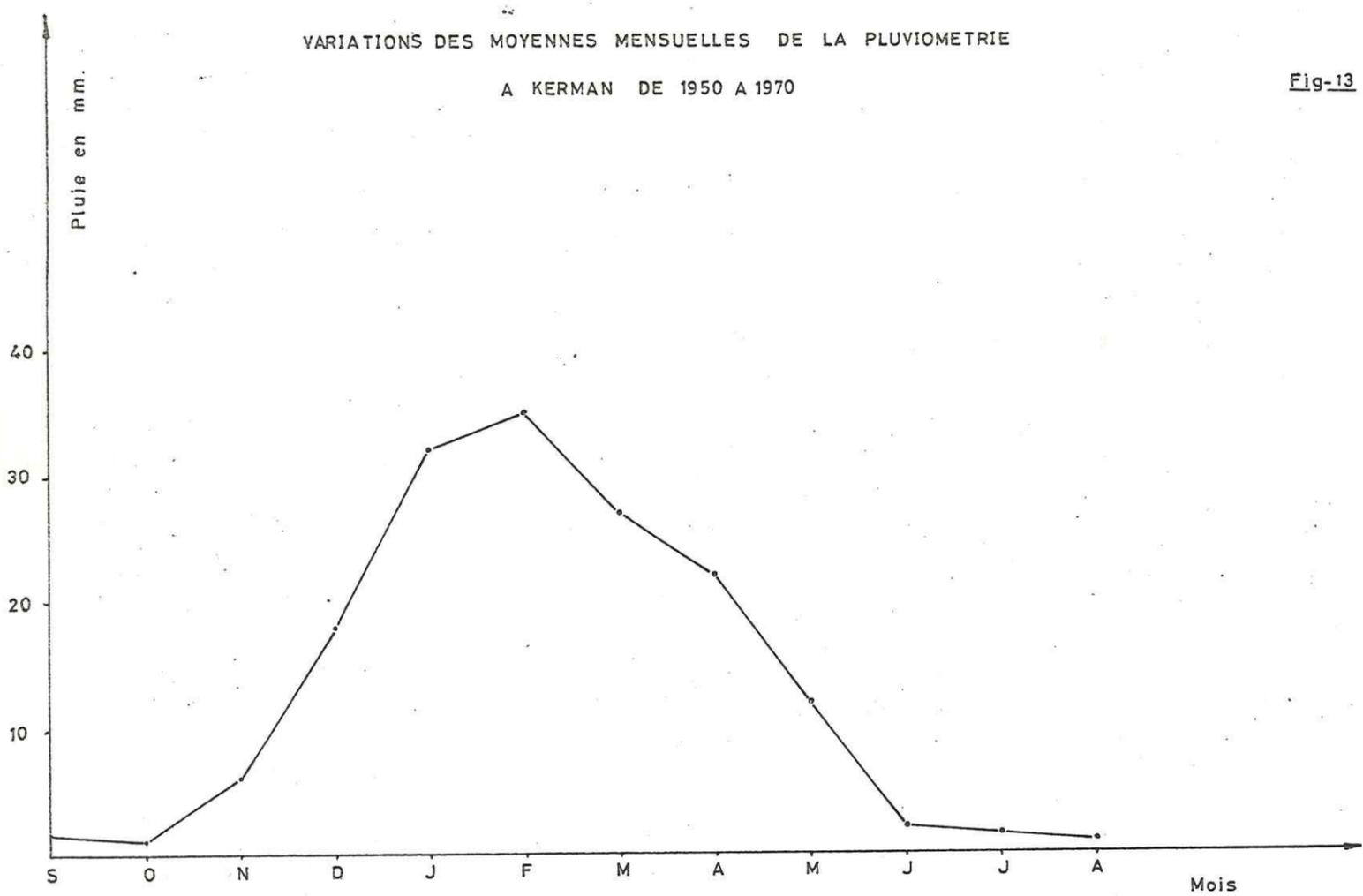
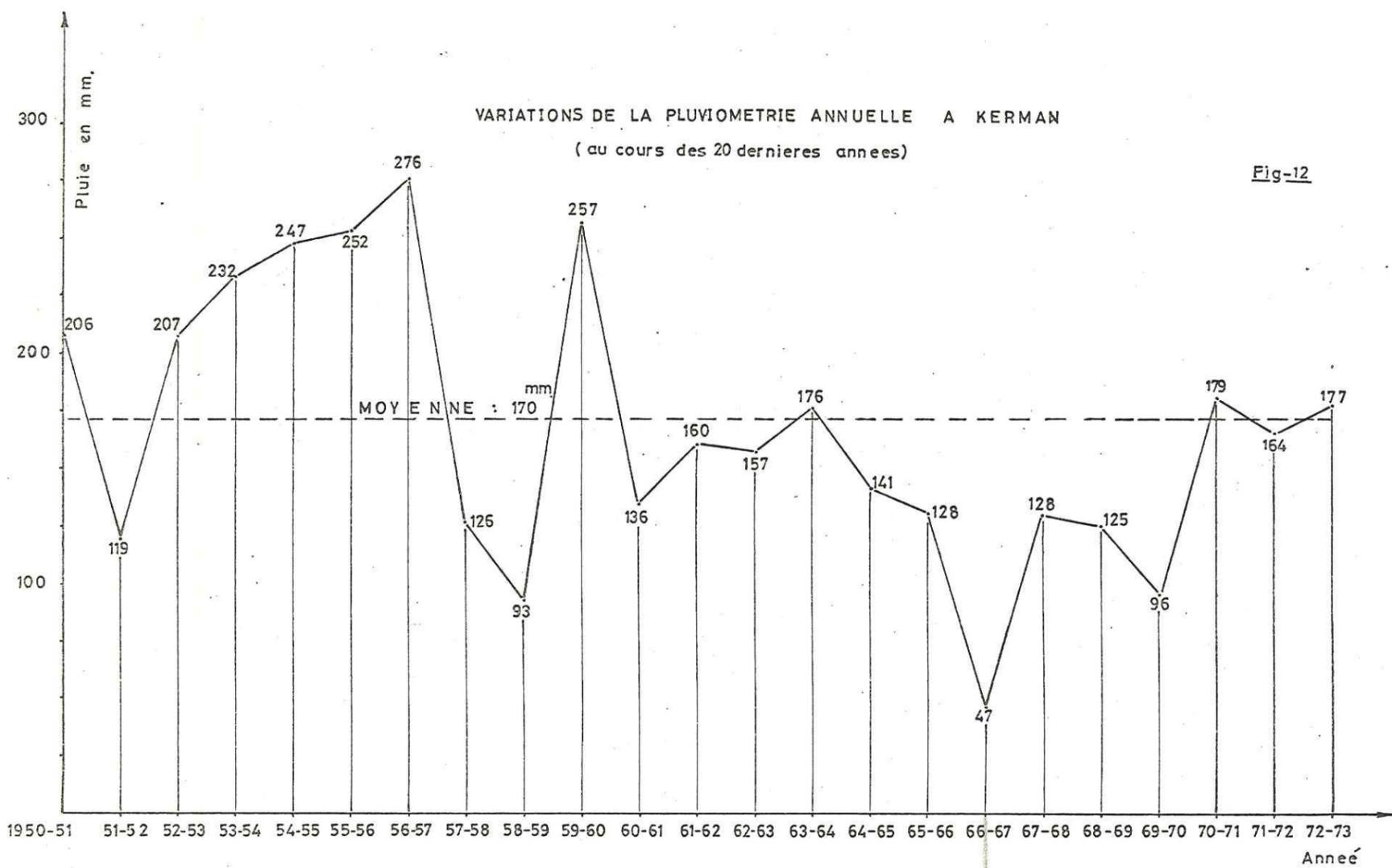
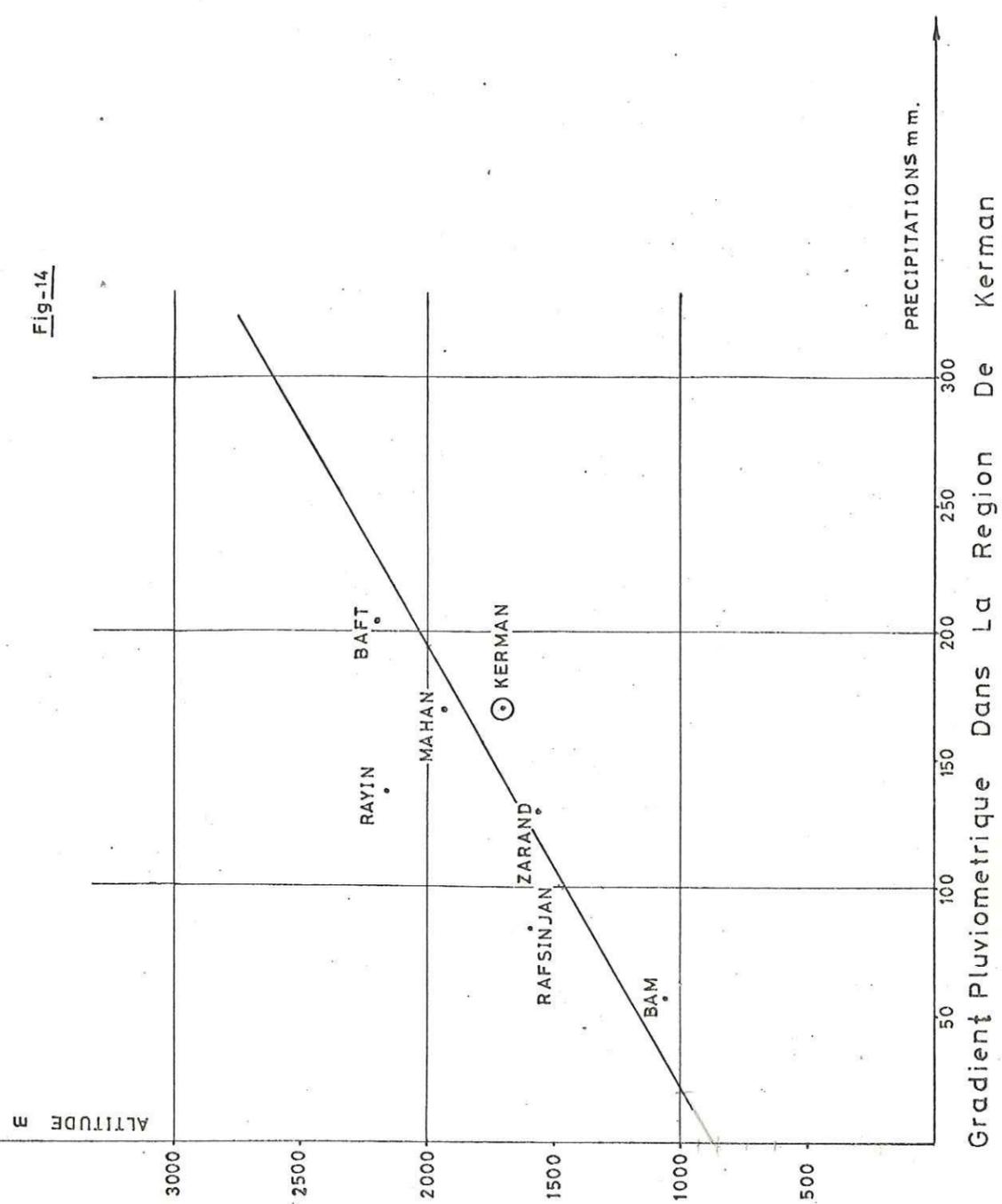


Fig-14



Gradient Pluviométrique Dans La Région De Kerman

A partir de gradient pluviométrique, nous avons calculé la pluie qui tombe sur les différents bassins versants environnant la plaine de Kerman.

- Zone d'alimentation de Rud-é-Tchari avec une altitude moyenne de 2750 m, précipitation moyenne : 350 mm/an.
- Zone d'alimentation du Sud-Est de Kerman avec une altitude moyenne de 2550 m, précipitation moyenne : 318 mm/an.
- Zone d'alimentation Nord de Kerman avec une altitude moyenne de 2250 m, précipitation moyenne : 260 mm/an.
- Zone d'alimentation Ouest de Kerman avec une altitude moyenne de 2000 m, précipitation moyenne : 240 mm/an.
- La plaine de Kerman proprement dite avec une altitude moyenne de 1700 m, précipitation moyenne : 170 mm/an.

4.1.2. - Température

La température moyenne annuelle à Kerman, à l'altitude de 1700 m est de 16° centigrade. Cette moyenne est établie à partir des mesures effectuées par le service météorologique de l'Iran.

	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
:	21	16	9	6	4	8	12	16	22	25	27	25

Le mois le plus chaud est le mois de juillet avec 27°C, et le mois le plus froid est le mois de janvier avec 4°C.

Comme la plaine de Kerman est limitée par les montagnes, pour connaître les caractéristiques thermiques des régions montagneuses nous admettons le gradient de 0,6°, pour 100m, qui correspond à la décroissance moyenne de la température dans l'atmosphère à la verticale d'un point et jusqu'à la tropopause, à 11.000 m, au-dessus de laquelle la température ne varie plus avec l'altitude.

4.1.3. - Humidité

L'humidité relative moyenne mensuelle peut être calculée comme la moyenne des relevés du psychromètre de la station climatique de

Kerman effectués à 6H 30 et à 12H 30. Les données sont alors les suivantes :

Humidité % :

: SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU:
: 20	30	41	48	55	60	38	38	25	17	18	20 :

4.1.4. - Les gelées et les vents

Les gelées dans la plaine de Kerman paraissent possibles durant les trois mois de Décembre, Janvier et Février. Dans la partie montagneuse avec l'altitude plus élevée, la durée du gel est plus longue pendant l'année.

Les vents dominants sont généralement ceux de direction NW-SE qui sont souvent très secs et violents. Avec l'existence de vastes dunes au Sud de Kerman, ils donnent naissance à des vents de sable dans la plaine de Kerman.

Nous avons donné plus de détails sur la température et le régime des vents de Kerman dans le premier chapitre.

4.1.5. - Evapotranspiration réelle

4.1.5.1. Généralités

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

- de la température
- de la tension de la vapeur d'eau contenue dans la masse d'air en contact avec la surface considérée.
- de la turbulence dans cette masse d'air.
- 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. Si nous ne changeons pas d'autre chose et qu'on augmente artificiellement la quantité d'eau disponible dans le sol, l'évapotranspiration augmente et atteint une valeur maximale qu'on appelle : Evapotranspiration potentielle : Ep, évapotranspiration qui se produirait si le sol contenait en permanence une quantité d'eau suffisante.

L'Ep, en un lieu déterminé ne dépend donc que du climat et ses variations sont fonction des variations de la température et de l'humidité de l'air en cet endroit ainsi que de la turbulence de l'air en contact avec le sol.

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 : Evapotranspiration maximum hydrologique.

Pour estimer l'évapotranspiration dans la plaine de Kerman et dans les bassins montagneux il nous manque certaines données de base et se posent aussi les problèmes de l'altitude et de l'absence de sol sur les régions montagneuses. Malgré tout, nous pouvons cependant estimer l'ordre de grandeur de l'évapotranspiration à l'aide des différentes méthodes tenant compte de la température et de hygrométrie.

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.  
 MAISON DES GEOSCIENCES  
 DOCUMENTATION  
 B.P. 53  
 F. 38041 GRENOBLE CEDEX  
 Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58  
 Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

4.1.5.2. - Les formules diverses

A) Méthode de L. TURC :

L. TURC se basant sur de nombreuses données hydrologiques a établi une formule qui permet de calculer l'évapotranspiration réelle en fonction de la température et des précipitations :

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2/L^2}}$$

avec

P : Pluviométrie moyenne annuelle en millimètres

Er : Evapotranspiration réelle annuelle en millimètres

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

t : température moyenne annuelle

L'application numérique de la formule nous conduit aux valeurs suivantes :

$$P = 170 \text{ mm}$$

$$t = 16^\circ \text{C}$$

$$\text{et } Er = 178 \text{ mm}$$

B) Méthode de COUTAGNE

D'après COUTAGNE, l'évapotranspiration réelle est calculée à partir de la formule suivante :

$$Er = P - \lambda P^2 \quad \text{où}$$

P : hauteur moyenne des précipitations exprimée en mètres.

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 t}$$

t : température moyenne annuelle en °C.

L'application numérique de la formule nous donne les valeurs suivantes :

$$P = 170 \text{ mm}$$

$$t = 16^\circ$$

$$\text{et } Er = 160 \text{ mm}$$

Cette formule ne devrait être appliquée que dans le cas où P est compris entre 1/8 λ et 1/2 λ c'est à dire entre 400 mm et 1700 mm. Il est donc difficile de se fier entièrement à cette formule dans la région de Kerman puisque la hauteur des précipitations annuelles ne dépasse pas 200 mm mais il faut remarquer qu'elle conduit à une bonne concordance avec la formule de TURC.

C) Méthode de Thornthwaite

On peut calculer l'évapotranspiration réelle sur le bassin par la méthode de bilan hydrologique de Thornthwaite.

Dans un premier stade, on calcule l'évapotranspiration potentielle mensuelle puis on compare mois par mois les précipitations, l'évapotranspiration potentielle et les réserves du sol que l'on fixe plus ou moins arbitrairement.

L'évapotranspiration réelle annuelle est obtenue par addition des valeurs de l'évapotranspiration possible chaque mois à partir des précipitations ou des réserves du sol.

D'une manière générale, cette méthode est très complexe mais dans notre région où les sols sont très souvent inexistant, son emploi qui nécessiterait la détermination de la valeur d'un stock d'eau évaporable de façon absolument théorique ne nous paraît pas adaptée. Il paraît plus convenable d'essayer d'affiner les résultats que l'on peut obtenir par d'autres méthodes.

4.1.5.3. - Généralisation du problème

La température est le facteur essentiel de l'évapotranspiration. Sur le bassin versant, plus l'altitude croît 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 bassin versant 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 Kerman sont assez satisfaisants. G. CASTANY a d'ailleurs constaté que pour 254 bassins, dispersés sur toute la surface du globe, la comparaison de mesures réelles et des calculs effectués avec la formule de L. TURC a donné des résultats satisfaisants et l'équation est applicable à tous

les climats, arides et humides, froids et chauds,

Nous avons cependant essayé d'améliorer les résultats obtenus en utilisant pour le calcul de l'évapotranspiration réelle les méthodes de TURC et COUTAGNE en divisant notre bassin versant en tranches d'altitudes différentes pour lesquelles nous tenons compte pour la détermination de la pluviométrie et de la température moyenne :

- du gradient pluviométrique de 16 mm/100 m
- et du gradient de température de 0,6/100 m

Les résultats de ces calculs sont donnés dans le tableau :

Altitude	Température moyenne t° C	Ruissellement + Infiltration en mm	Pluviométrie moyenne P m	Er	
				Turc	Coutagne
1700 Kerman	16	-	170	178	160
1700-2000	15.1	-	194	197.96	174
2000 - 2200	13.6	-	234	234	204
2200-2400	12.4	8	266	258	236
2400-2600	11.2	17	298	281	258
2600-2800	10	30	336	300	280
2800-3000	8.8	50	362	312	292
3000-3500	6.7	94	418	324	308
3500-4000	3.7	266	598	332.23	338

D'après les résultats obtenus par la méthode de TURC à une altitude inférieure à 2200m, il n'y a pas d'infiltration alors que d'après COUTAGNE, même à 1700m 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 400 et 1700 mm ; et que les résultats des formules de TURC et de COUTAGNE pour les différentes tranches d'altitude sont assez peu différents, dans nos calculs du bilan hydrologique nous adapterons les valeurs de l'évapotranspiration calculée par la méthode de Turc.

#### 4.1.6. Evapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle peut-être calculée par la formule de PENMAN qui fait intervenir la durée d'insolation et la pression de saturation en vapeur d'eau en fonction de la température du lieu.

Etant donné que la station pluviométrique de Kerman a fourni les données nécessaires, l'évapotranspiration potentielle pour Kerman a été calculée par cette méthode par le Ministère de l'agriculture.

Les résultats sont les suivants :

MOIS	E. P.
Janvier	43.4
Février	61.6
Mars	99.2
Avril	129
Mai	167.4
Juin	195
Juillet	204.6
Aout	184
Septembre	141
Octobre	105
Novembre	60
Décembre	40.3

Total par an ..... 1.430.9 mm

L'évapotranspiration potentielle peut aussi être calculée par d'autres méthodes.

- De la carte des évaporations annuelles en bac class A publiée par l'U. S. "Weather bureau", nous tirons une information intéressante : dans le Nord de l'Etat du Nouveau Mexique, entre 34° et 36° de latitude où les températures sont comparables à celle de la région de Kerman et où la pluviométrie annuelle varie de 250 mm à 500 mm lorsqu'on passe de 1500 à 3000 m d'altitude, l'évaporation moyenne annuelle d'un bac class "A" est de 2500 mm à 1500 mm à 3 000 M.

En tenant compte du coefficient d'abattement de 0,70 valable pour les lacs et en admettant que l'évaporation d'un sol saturé est de l'ordre de grandeur de celle d'une surface d'eau (elle serait inférieure de 75 à 95 % pour les limons et les sols argileux), nous estimons l'évaporation potentielle :

- à 1750 mm à 1500 m d'altitude
- à 1050 mm à 3000 m d'altitude.

Par ailleurs, la répartition du taux d'évaporation potentielle dans l'année, est donnée par l'Association Internationale d'hydrologie scientifique" (Toronto - 1957) :

Facteur de répartition de l'évaporation mensuelle en % de l'évaporation annuelle

Altitude (m)	1700	2350	3000
Janvier	1.1	0.7	0.3
Février	1.9	1.5	1.0
Mars	3.8	3	2.3
Avril	8.4	7.4	6.2
Mai	13.7	13.9	14.1
Juin	19.5	20.7	22.0
Juillet	19.8	23.0	26.9
Aout	14.1	14.3	14.5
Septembre	8.8	8.4	8.0
Octobre	5.1	4.2	3.4
Novembre	2.7	2.3	1.1
Décembre	1.1	0.7	0.2

En appliquant ces facteurs aux valeurs d'évaporation mentionnée pour les différentes altitudes on obtient donc :

Altitude (m)	1700	2350	3000
Ep par an en mm	1750	1400	1050
Janvier	19	10	4
Février	33	21	10
Mars	66	42	24
Avril	148	102	65
Mai	240	194	148
Juin	342	290	231
Juillet	346	324	280
Aout	247	200	152
Septembre	154	116	84
Octobre	89	59	36
Novembre	47	32	12
Décembre	19	10	4

On remarque que l'évapotranspiration potentielle calculée par la méthode de PEN-MAN est à peu près comparable à celle du tableau ci-dessus pour l'altitude 1700m.

On observe sur la courbe de la pluviométrie que 90 % des précipitations annuelles tombent entre les mois de Décembre et Mai (6mois par an).

Le diagramme N° 15 construit à partir des tableaux précédents pour les 6mois de la saison pluvieuse, montre les variations de la pluviométrie et de l'évaporation en fonction de l'altitude. Sur ce diagramme, on observe que jusqu'à l'altitude 2600 l'évaporation est presque 100 % des précipitations, alors que d'après les calculs de Er par la méthode de TURC, cette altitude est d'environ 2200 m, ce qui paraît plus vraisemblable.

CONCLUSION

- L'évapotranspiration potentielle dans la région montre l'absence d'infiltration en dessous de l'altitude 2600, qui est une altitude assez élevée mais en raison de l'absence de sol susceptible d'une régulation des échanges avec l'air nous n'utiliserons pas l'Ep dans nos calculs du Bilan.

- L'évapotranspiration donnée par la méthode de TURC paraît assez proche de la réalité, et c'est à partir de ces valeurs que nous

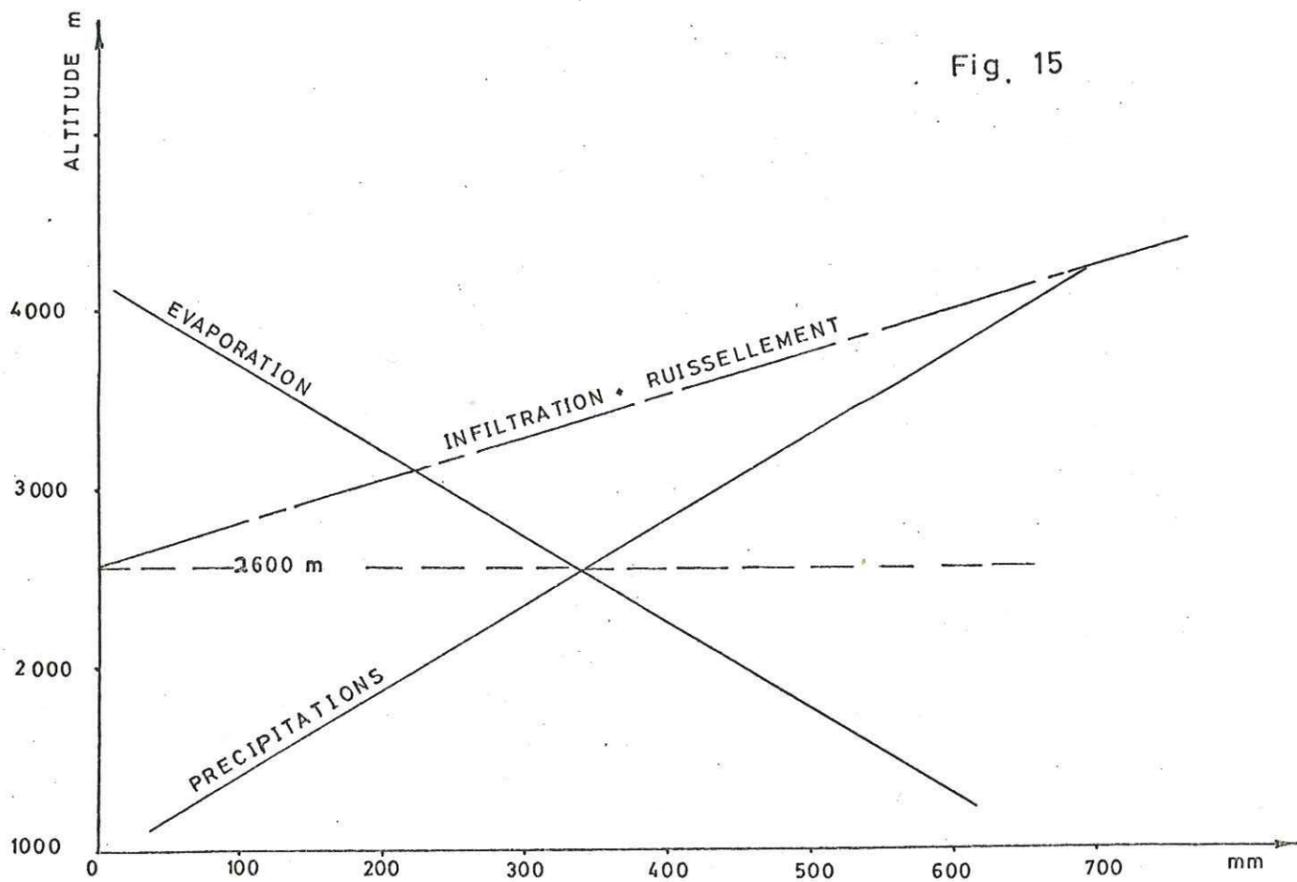


Fig. 15

RELATION ENTRE LA PLUVIOMETRIE ET L'EVAPORATION POUR LA PERIODE DE DECEMBRE A MAI 1973

calculerons la lame d'eau qui peut s'infiltrer sur les surfaces de roches et les lits des oueds.

- Toute la pluie qui tombe sur la plaine et jusqu'à l'altitude de 2200 retourne à l'atmosphère sous l'effet de l'évaporation, et par conséquent pour calculer l'apport d'eau vers les nappes nous considérons cette altitude comme limite pour l'infiltration.

INFILTRATION

L'infiltration peut être soit directe soit différée.

L'infiltration directe peut être considérée comme nulle dans les parties centrales des plaines et faible dans tous les secteurs situés à une altitude inférieure à 2200 m où l'évapotranspiration est trop importante.

Par contre, au-dessus de 2200 m la part des précipitations disponibles pour l'infiltration directe ou le ruissellement varie de 3 à 44 %.

En raison de l'état de fissuration et de fracturation des massifs calcaires en particulier, on peut admettre que l'infiltration directe réelle est voisine dans de nombreux secteurs de 30 à 35 %, 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 des 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, le ruissellement étant très important, on peut estimer que la part des précipitations qui est utilisée sous forme d'infiltration différée peut se situer entre 2 et 25 % des précipitations sur les massifs montagneux.

#### HYDROLOGIE DE SURFACE ET RUISSELLEMENT

Le régime pluviométrique de la région montre que les pluies violentes <sup>sont</sup> 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-Tchari, dans laquelle l'eau s'écoule pendant toute l'année, mais n'atteint qu'exceptionnellement la plaine sud de Kerman.

Le bassin versant total de cette rivière à l'entrée de la plaine est de l'ordre de 2000 Km<sup>2</sup>. C'est à partir de ce point qu'elle se partage en plusieurs cours d'eau dans la plaine, mais le cours principal se dirige vers l'Ouest, et le reste de l'écoulement de surface coule vers l'Ouest de Baghein.

- L'oued de Mahan draine un bassin versant de 870 Km<sup>2</sup>, et reçoit un système d'oueds qui descendent du Kuh-é-Sekondje. Cet oued coule selon une direction à peu près Nord-Ouest, vers Mahan.

Les ruissellements de ces oueds ont un rôle très important pour l'alimentation de la nappe de Kerman.

- L'oued Sefide, draine un ensemble de bassins versants de 70 Km<sup>2</sup> sur le massif bordant Kerman à l'Est.

- L'oued de Hossein-Abad, draine le versant ouest de Kuh-é-Mihe, sur une superficie de 65 Km<sup>2</sup>. Il rentre dans la plaine à Dorah-é-Chahabad.

- L'oued de Saidi, draine les massifs situés dans le Nord-Est de Kerman,

sur une superficie de 240 km<sup>2</sup>.

Il rentre dans la plaine au Nord de Kerman, et ensuite coule vers Zangi-Abad.

- Les oueds de Sar-Asiab, drainent le massif de Kuh-é-Narmou et rentrent dans la plaine de Kerman à Sar-Asiab. Le bassin versant total de ces oueds est à peu près de 230 Km<sup>2</sup>.

#### STATIONS HYDROMETRIQUES

Pour calculer la lame d'eau écoulee en surface dans le bassin versant de la région de Kerman, nous allons analyser et expliquer le régime de la rivière valable dans la région, à l'aide des données fournies par trois stations hydrométriques, dont deux ont été installées sur la Rud-é-Tchari, et la troisième sur Ab-Saidi au Nord Est de Kerman.

Les caractéristiques de ces stations sont les suivantes ( figure N°16) :

- 1) La station de Saidi est sur la Band-é-Holakou qui draine un bassin de 37 Km<sup>2</sup> sur le flanc sud de Darmanou.
- 2) La station de Jiroftou est sur le Hafkoush, affluent du Roud-é-Tchari, qui draine un bassin de 241 Km<sup>2</sup> sur le flanc Nord-Ouest de Kuh-é-Hazar.
- 3) La station de Gariat-el-Arab est sur la Rud-é-Tchari qui draine un bassin de 360 Km<sup>2</sup> à l'ouest de la station précédente.

#### Régime du Band-é-Holulu à Saidi (S=35Km<sup>2</sup>)

Le débit permanent qui coule en cette station est de l'ordre de 30 lit./s, mais il provient pour la plus grande part d'une source qui est captée sur le versant Est de Kuh-é-Darmanou.

Les crues du Band-é-Holulu sont assez courtes et ne durent que le temps de la pluie, avec un décalage d'une journée sur les précipitations. En utilisant la corrélation entre les pluies à Kerman et les crues de la rivière nous avons construit la série chronologique du ruissellement des quatorze dernières années que nous pouvons mettre en parallèle avec une estimation des précipitations sur le bassin versant qui d'après les raisons mentionnées précédemment peuvent être en moyenne 1.45 fois plus grandes que les précipitations enregistrées à Kerman.

D'après ces calculs, nous avons pu obtenir en moyenne la quantité d'eau écoulée lors des crues du Band-é-Holulu qui équivaut à une lame d'eau ruisselée de 50 mm pour cette station.

Il est à noter que la plus forte crue observée aurait en un débit de pointe de 57 m<sup>3</sup>/s, mais nous estimons le débit journalier de la crue médiane, dépassée une année sur deux à 4 m<sup>3</sup>/s.

Régime du Haft Koush à Jiroftou (241 Km<sup>2</sup>)

Le débit pérenne relativement stable sur cette rivière varie de 150 à 200 lit/s, (tableau I) et on observe que les périodes de crue ont eu les durées suivantes :

- 1960 - 1961 à peu près 1.5 mois
- 1961 - 1962 à peu près 1 mois
- 1962 - 1963 à peine 1 mois
- 1963 - 1964 à peu près 2.5 mois.

Les débits moyens mesurés dans la station de Jiroftou pendant 12 ans sont présentés dans le tableau I.

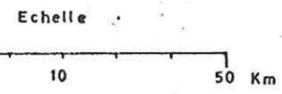
Le débit n'est pas considérable, mais les données montrent que la rivière est permanente et que le débit maximum est au mois d'Avril et Mai. La variation entre maximum (1079 lit./s) et le minimum (87 lit./s) observée est assez considérable. Le maximum d'écoulement de surface se situe pendant les mois d'Avril et Mai.

Régime du Rud-é-Tchari à Gariat-El-Arab (360 km<sup>2</sup>)

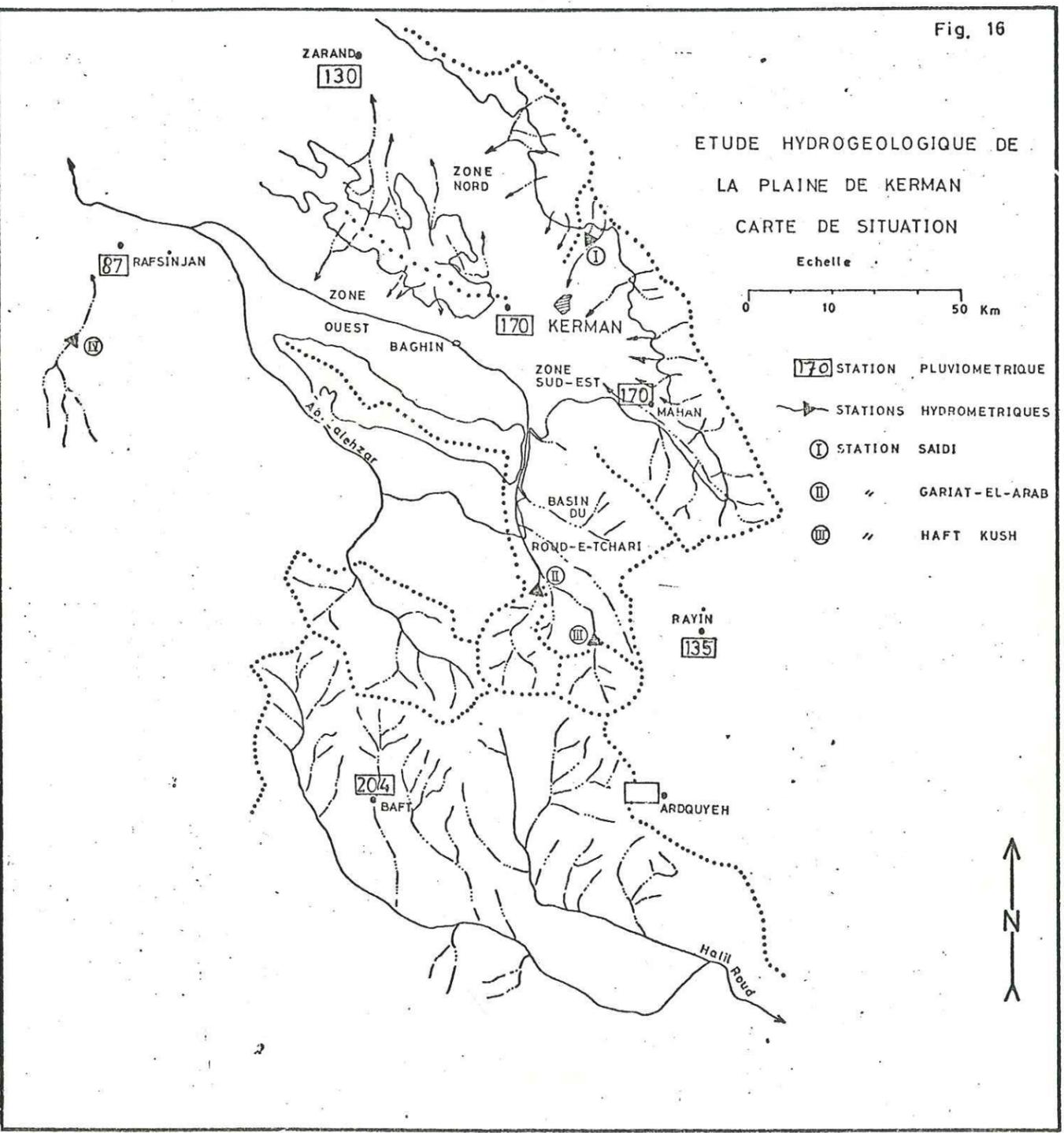
Le débit pérenne du Rud-é-Tchari à Gariat-El-Arab varie beaucoup en fonction du volume des précipitations de l'hiver même. Le débit a été de l'ordre de 250 lit./s en été 1964, après une saison pluvieuse assez intense ; mais seulement de l'ordre de 301/s en été 1961, où la pauvreté des écoulements de fonte des neiges au printemps montre que les précipitations de la saison pluvieuse étaient faibles.

Fig. 16

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE  
LA PLAINE DE KERMAN  
CARTE DE SITUATION



- 170 STATION PLUVIOMETRIQUE
- STATIONS HYDROMETRIQUES
- I STATION SAIDI
- II " GARIAT-EL-ARAB
- III " HAFT KUSH





La période de fonte des neiges est déjà moins longue sur cette rivière que sur la précédente car le bassin du Haftkoush culmine à 4400m alors que celui du Rud-é-Tchari n'atteint que 4000m.

Le tableau II, montre les débits moyens mensuels mesurés sur cette station pendant 12 ans d'observations.

L'étude du régime de la rivière de Tchari montre que cette rivière a un écoulement permanent avec des variations de débits maximum et minimum considérables.

L'écoulement annuel principal de la rivière se situe pendant les mois d'Avril et Mai au printemps.

#### Les torrents drainant le massif Est et Sud-Est

Les torrents principaux qui descendent de la chaîne de Kuh-é-Sekondje, et les massifs Est de Kerman ont un rôle très important sur l'alimentation de la nappe de Kerman. Comme nous l'avons mentionné ce sont les oueds de Mahan, oueds de Sefide, oueds de Hossein Abad, oueds de Sar Asiab, oueds de Saidi.

D'après ce que nous avons pu observer sur les rivières jaugées, les caractéristiques topographiques des versants, pentes et granulométries des fonds de ces oueds et aussi de leurs cônes de déjection, nous pouvons admettre que pour ces bassins montagneux, dénudés, une forte proportion de la lame d'eau ruisselée peut s'infiltrer et arriver à la nappe des eaux souterraines de la plaine de Kerman.

## CHAPITRE V

### ETUDE DES EAUX SOUTERRAINES

A. - Etude des sources des versants

B. - Etude des nappes de la plaine

5.1. - ETUDE DES SOURCES DES VERSANTS

Pendant notre étude des versants de la plaine de Kerman, nous avons pu étudier les sources qui existent dans la région.

Les sources sont plus fréquentes sur le flanc ouest des massifs Narmou et Kuh-é-Sekondje. Dans le massif de Badamou au contact des calcaires crétacés et des schistes jurassiques, il y a des sources en particulier aux environs du village de Badamou. Les sources les plus importantes dans la région sont les suivantes (fig. 17) :

A6 - 1	Source au contact Crétacé-jurassique au N-E de Kerman.
C8 - 1	" " " " à l' E " "
D8 - 1	" " " " à l' E " "
E9 - 1	" " " " au S-E " "
	dans la région de Bolbolu.
10G-1	Source de Sekondje Mahan au contact entre Crétacé et jurassique au Sud-Est de Mahan.
K8 - 1	Source dans le massif de Djoupar au Sud de Mahan. (en dehors de la carte)

Toutes ces sources de contact sont alimentées par les calcaires fissurés du Crétacé et se situent aux points bas du contact Crétacé-jurassique déterminés par des failles, des ondulations ou simplement par l'érosion du Crétacé inférieur.

Les débits des sources qui sont alimentées par les calcaires crétacés des massifs Est et Sud-Est sont variables, mais nous n'avons pas de mesures systématiques du débit pour toutes les sources. Nous avons, cependant, deux années de mesures sur deux sources (fig. 17) :

C8 - 1	qui s'appelle source EMAM REZA
G10-1	" " " SEKONJ MAHAN.

Les courbes de variation du débit en fonction du temps pour ces deux sources sont présentées sur le diagramme N° 14a. (l'année 1973-1975) sur lequel nous avons porté également les variations de la pluviométrie moyenne mensuelle et de la température moyenne mensuelle à Kerman.

Fig. 17

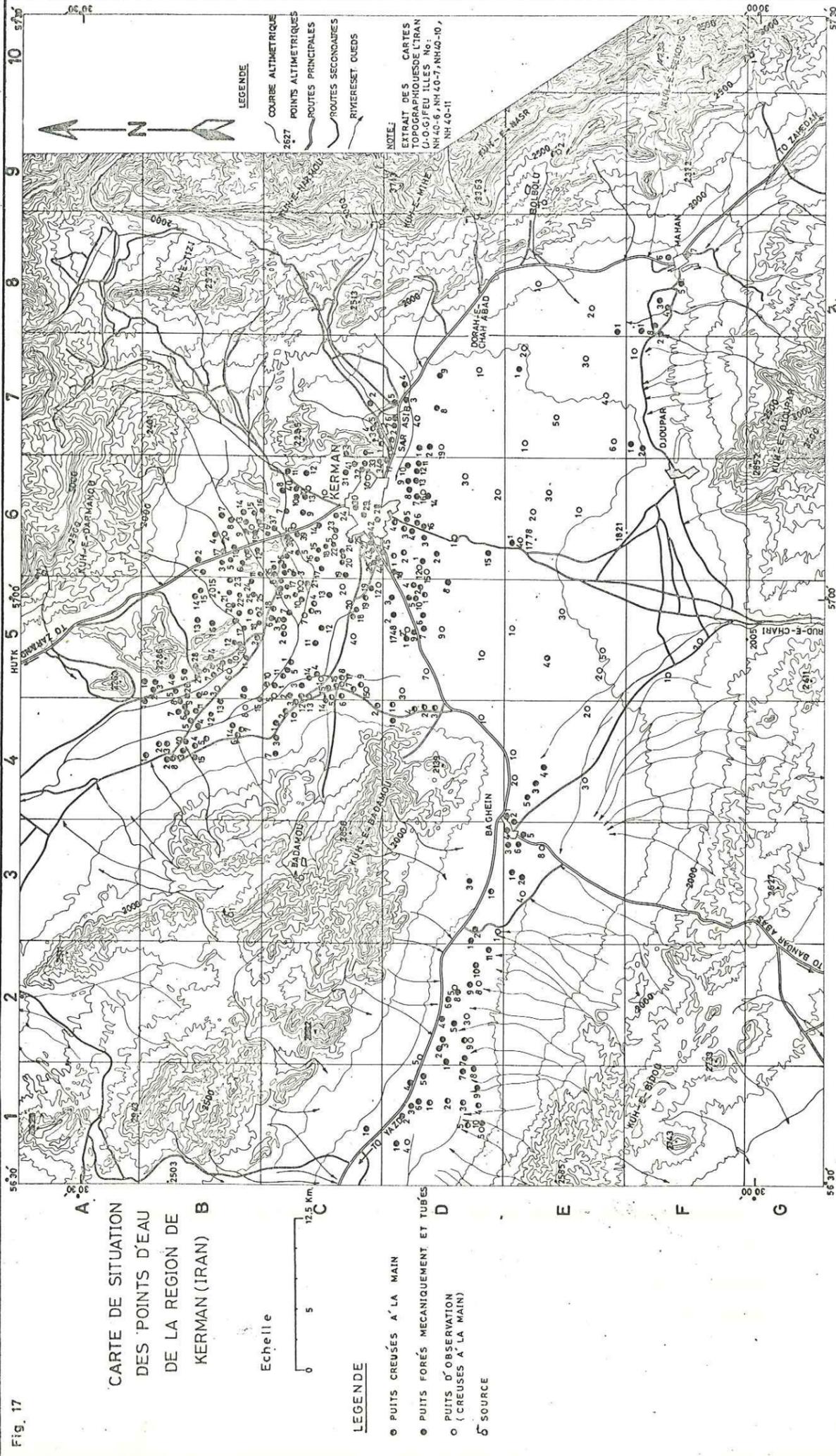
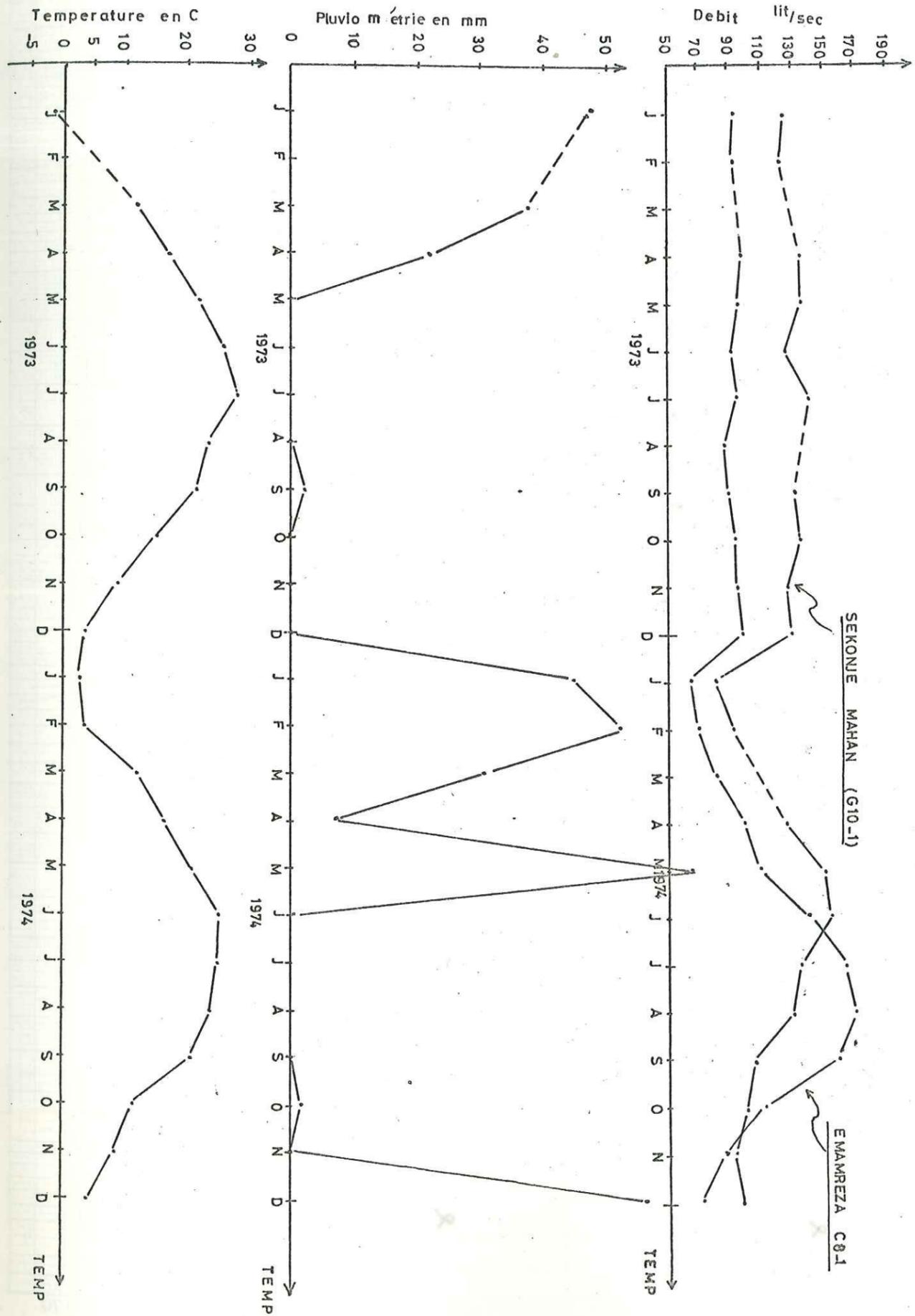
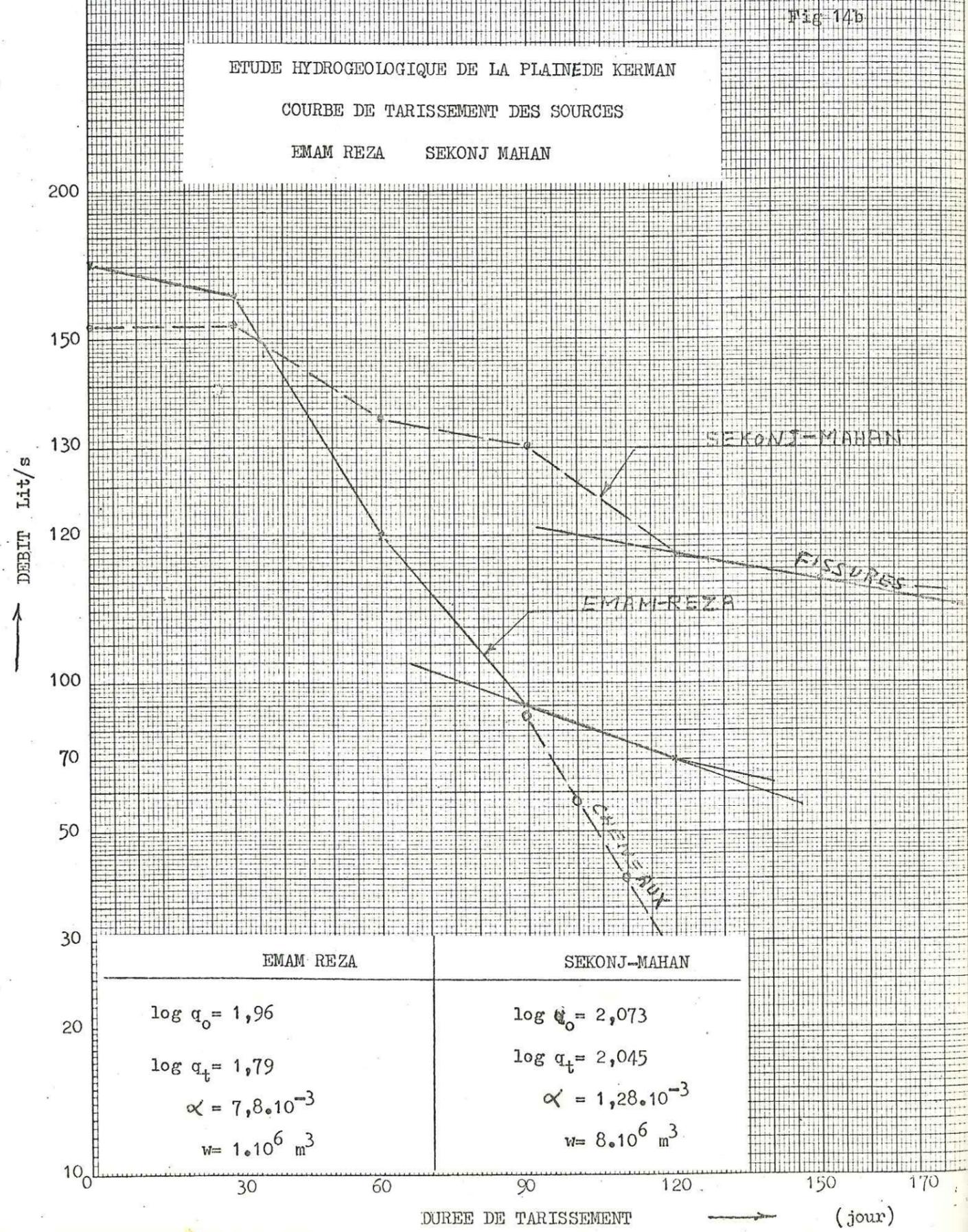


FIG 14 D





Les températures des eaux des sources oscillent entre 18 et 19° pour les sources d'Eman Reza et de Sekondje qui sont à une altitude de 2500 m alors que la température moyenne annuelle de l'air à cette altitude est de 12°. La source de Mahan est à la température de 16° pour une altitude de 2600 m. On retrouve encore ici un écart important entre la température des eaux souterraines et la température moyenne annuelle de l'air au niveau des émergences qui ne peut s'expliquer que par la présence d'un important manteau neigeux en hiver dans ces montagnes et l'influence d'un gradient géothermique du fait de l'infiltration des eaux de précipitation à une profondeur relativement importante.

L'examen des diagrammes des débits des sources montre que celles-ci ont un comportement très différent pendant l'année 1973 et pendant l'année 1974. On constate une certaine constance des débits des sources en 1973 alors qu'en 1974 ceux-ci varient fortement et présentent un maximum en mai-juin pour la source de Sekondje Mahan et en juillet-août pour la source Eman Reza.

Ce décalage en 1974 peut s'expliquer par le fait que le bassin versant de la source d'Eman Reza étant plus haut que celui de la source de Sekondje Mahan, la fonte des neiges qui constituent une bonne partie des précipitations tombées pendant l'hiver se produit plus tard dans l'année et se traduit par un maximum de débit plus tardif.

La liaison entre la température de l'air et le débit des sources est aussi nette au mois de janvier 1974 où le froid coïncide avec une baisse des débits durant l'été 1974. La constance relative des débits observés en 1973, paraît s'expliquer par l'absence de pluie à partir du mois de mai alors qu'en 1974 des précipitations importantes ont eu lieu en mai et peuvent expliquer partiellement les pointes de débit observées. Toutefois, si l'on admet que les précipitations de mai 1974 se sont faites sous forme de neige dans la partie haute des deux 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 débit des deux sources. Ce décalage d'environ 75 jours entre les deux maximums correspond cependant aussi certainement à une différence de nature lithologique entre bassins versants qui se manifeste par un coefficient de variation des débits de 2,6 pour la source Eman Reza et de 2 pour la source de Sekondje Mahan.

Il faut remarquer que ces valeurs sont relativement faibles pour des sources issues de massifs calcaires, ce qui confirmerait l'existence d'une fissuration fine plutôt que celle de fractures et de chenaux importants dans ces massifs. Nous avons essayé de tracer, à partir de la formule de SERRA :

$$Q_t = Q_0 \times e^{-\alpha t}$$

les courbes de tarissement pour les deux sources de Sekondje Mahan et d'Eman Reza. Ces courbes ne sont pas très précises en raison du petit nombre de mesures de débit dont nous disposons. Elles permettent, cependant, de calculer des coefficients de tarissement pour chaque source et le volume des réserves W mobilisables situées au-dessus des exutoires.

Les conditions climatiques permettent de penser que l'épisode étudié n'est pas influencé par des précipitations ou des infiltrations pendant la décrue et le tarissement.

Les segments de droite qui présentent la plus faible pente sur les diagrammes semi-logarithmiques log Q en fonction de t fournissent les valeurs suivantes :

Source de Sekondje Mahan :  $\alpha = 1.28 \times 10^{-3}$      $W = 8 \times 10^6 \text{ m}^3$

Source de Eman Reza :  $\alpha = 7.8 \times 10^{-3}$      $W = 1 \times 10^6 \text{ m}^3$

La valeur de  $\alpha$  trouvée pour la source de Sekondje Mahan correspond très vraisemblablement à un tarissement de fissures mais la valeur de  $\alpha$  beaucoup plus forte, trouvée pour la source d'Eman Reza pourrait correspondre elle au tarissement de fissures beaucoup plus ouvertes ou même de chenaux. Cette interprétation coïncide avec celle que nous avons pu faire sur les variabilités des débits. En raison de l'imprécision des courbes, il ne nous paraît pas raisonnable de décomposer la courbe de tarissement de la source de Sekondje Mahan selon la méthode de C.1. Drogue mais il semble tout de même que l'on puisse déceler l'existence de chenaux ou de grosses fissures sur la courbe de tarissement correspondante. Quoiqu'il en soit et malgré le manque de données complètes concernant les températures, résistivités et débits sur toutes les sources de la région dû aux difficultés d'accès aux émergences pour des mesures systématiques, la régularité des débits constatée sur la plupart des émergences traduit l'existence de réserves importantes et bien alimentées dont les sources constituent les émergences visibles mais dont une partie peut rejoindre les nappes de la plaine de façon inapparente.

## 5.2. ETUDE DE LA NAPPE DE LA PLAINE DE KERMAN

La nappe de la plaine de Kerman 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. Le système aquifère contenu dans les formations alluviales de remblaiement paraît former un tout très puissant.

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

### 5.2.1. Méthode d'étude

Utiliser les eaux de la nappe phréatique par le système des ghanates était très pratique et courant dans toutes les plaines de l'Iran. Aussi bien ce système a été utilisé dans la plaine de Kerman. Il existe encore des ghanates exploitées actuellement et qui datent de l'époque ancienne.

Aujourd'hui, la nappe de la région de Kerman continue à fournir l'eau nécessaire à l'irrigation des cultures de la plaine de Kerman et à l'alimentation en eau potable et en eau industrielle de la région.

Pour l'étude de cette nappe, nous avons mis en oeuvre toutes les méthodes dans la mesure du possible.

#### 5.2.1.1. - Inventaire systématique des points d'eau

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

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

Les enquêtes sur les points d'eau ont été faites en collaboration avec les équipes de la section "Eaux souterraines" du Ministère des eaux

et de l'électricité de Kerman. Elle a concerné, les puits ou forages existants, les ghanates en exploitation dans la plaine, les sources ou captages en rivière ou dans des les alluvions des rivières.

Nous avons montré tous ces points d'eau sur la planche N°17.

La profondeur du plan d'eau est assez variable dans la région :

- dans la zone de la plaine de Kerman proprement dite, elle varie de 10 à 20 mètres.

- dans la zone Nord (vallée de Zarand), ce niveau est entre 20 et 30 mètres

- dans la vallée Ouest (plaine de Baghein) le niveau de l'eau est aussi entre 20 et 30 mètres.

- dans la zone Sud-Est et la plaine de Mahan la profondeur du plan d'eau dépasse 40 mètres et arrive jusqu'à 60 à 70 mètres aux environs de Mahan.

La densité des puits et des forages est très élevée autour de la ville de Kerman et dans la plaine Nord. L'exploitation des eaux souterraines et l'implantation des puits et des forages dans la plaine sud n'est pas praticable, parce que la plaine est couverte par les sables sur une vaste surface.

La salinité des eaux de la nappe augmente au fur et à mesure que l'on avance vers la plaine Nord, et aussi à l'Ouest de Kerman, mais malgré cela la nappe est exploitée et utilisée pour l'irrigation dans des zones où la teneur en ion chlore dépasse 2gr/litre.

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
- caractéristiques 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 de pompage : nombre d'heures/jour ; nombre jour/mois.  
nombre de mois/an.
- débit d'exploitation annuel.

5.2.1.2. - Prélèvement d'échantillons

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 section d'étude des eaux souterraines à Kerman.

5.2.1.3. - Nivellement

Le service hydrogéologique de Kerman (Section des eaux souterraines) a effectué une campagne de nivellement des puits de surface, qui a porté sur plus de 70 puits constituant le réseau de points de mesures du niveau piézométrique de la nappe alluviale.

5.2.1.4. - Mesures périodiques du niveau Piézométrique

Pour les mesures périodiques du niveau piézométrique, nous avons choisi un réseau de puits (plus de 70) répartis dans toute la plaine. Ces puits sont choisis parmi les puits non utilisés ou utilisés uniquement pour l'alimentation humaine en eau potable, ou creusés spécialement

pour compléter notre réseau de mesures piézométriques.

De Septembre 1973 à Septembre 1974, nous avons effectué 12 mesures du niveau piézométrique parmi ces puits ; il y a eu des mois où le niveau d'eau a baissé plus bas que la profondeur totale du puits, par conséquent nous n'avons pas de mesures précises pour ces périodes.

Les résultats des mesures sont portés sur le tableau N° III de l'annexe.

### 5.2.2. Ecoulement de la nappe des alluvions

#### 5.2.2.1. - Généralités

Les mesures périodiques du niveau piézométrique de la nappe de la plaine de Kerman nous ont permis l'établissement de deux cartes piézométriques qui sont montrées sur les planches 18 et 19.

#### - L'une correspondant aux basses eaux (figure 18)

Elle a été établie à partir du niveau piézométrique de tous les points surveillés (70 puits) en septembre - octobre 1973, dans un intervalle de temps très court qui élimine l'effet de fluctuations possibles d'un point à un autre.

Cette carte permet d'avoir des valeurs du gradient hydraulique pour les calculs du bilan car c'est dans cette période que nous avons un régime d'écoulement permanent.

#### - L'autre correspondant aux hautes eaux (figure 19)

Elle a été dressée à partir des mesures du niveau piézométrique effectuées en mars-avril 1973. Cette carte correspond au niveau maximum de la nappe puisque l'on n'a enregistré que peu ou pas de précipitations après ce relevé.

Ces cartes piézométriques fournies sont des renseignements sur l'écoulement et l'alimentation de la nappe en vue de son exploitation rationnelle.

### 5.2.2.2. - Températures des eaux

A plusieurs reprises, la température des eaux souterraines a été mesurée dans tous les points d'eau. Les valeurs trouvées varient entre 20 et 22 °C et sont donc supérieures à la température moyenne annuelle de l'air au niveau de la plaine ce qui pourrait traduire une certaine influence du gradient géothermique du fait de la profondeur de la nappe.

### 5.2.2.3. - Cartes piézométriques

Le tracé des courbes isopiezies sur les deux cartes dressées permet de distinguer plusieurs zones aussi bien en basses qu'en hautes eaux :

#### a) Alimentation générale

Il apparaît sur ces cartes piézométriques que les zones d'alimentation de la nappe de la plaine de Kerman sont constituées par les massifs bordant cette plaine à l'Est et au Sud.

#### b) Zone de la plaine centrale

C'est la plaine elle-même située au sud de Kerman. La nappe dans cette zone est caractérisée par un faible gradient hydraulique moyen (de l'ordre de 1,4/1000) selon une direction générale d'écoulement approximativement Sud Est - Nord Ouest.

L'alimentation de la nappe se fait à partir des eaux de crues de oueds provenant des massifs situés à l'Est et au Sud de la plaine.

La nappe se divise en deux parties dont l'une s'écoule vers le Nord-Ouest et l'autre partie s'engage vers la vallée de Baghein à l'Ouest de la plaine. La zone de partage est approximativement située au Sud-Ouest de la ville de Kerman.

#### c) Zone Nord de la plaine (vallée de Zarand)

C'est la zone qui fait suite vers le Nord de la ville de Kerman. La nappe dans cette zone se caractérise par une pente encore faible (de l'ordre de 8/1000). L'incurvation des lignes piézométriques dans cette zone indique l'existence d'apports latéraux d'eaux souterraines

Fig. 18

### HYDROGEOLOGIE DE LA PLAINE DE KERMAN

CARTE PIEZOMETRIQUE  
"BASSES EAUX"

( Sep. 1973 )

Echelle



**LEGENDE**

1660 Courbe isopieze

Sens d'écoulement des eaux.

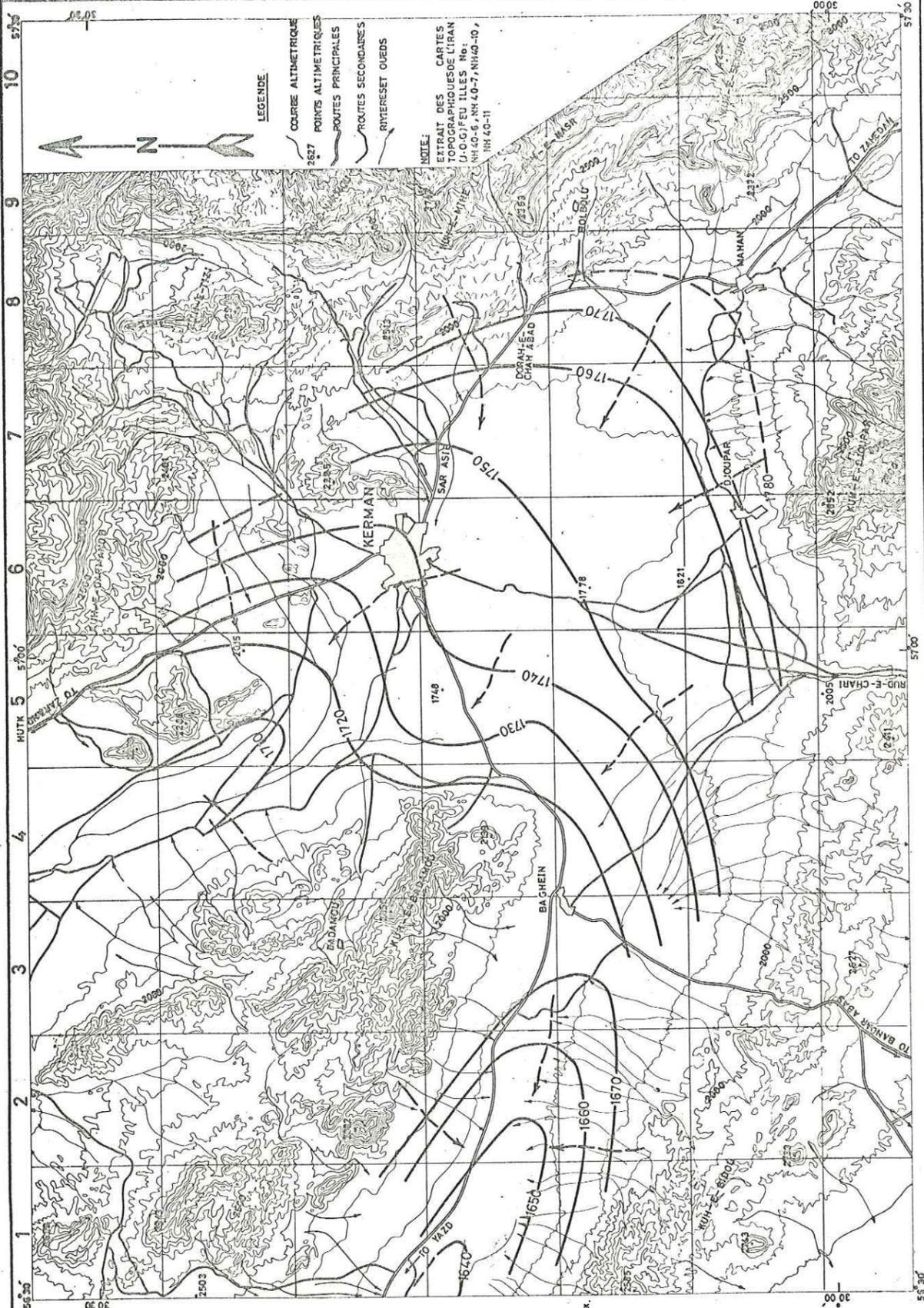


Fig. 19

### HYDROGEOLOGIE DE LA PLAINE DE KERMAN

CARTE PIEZOMETRIQUE  
"HAUTES EAUX"

( Mars 1973 )

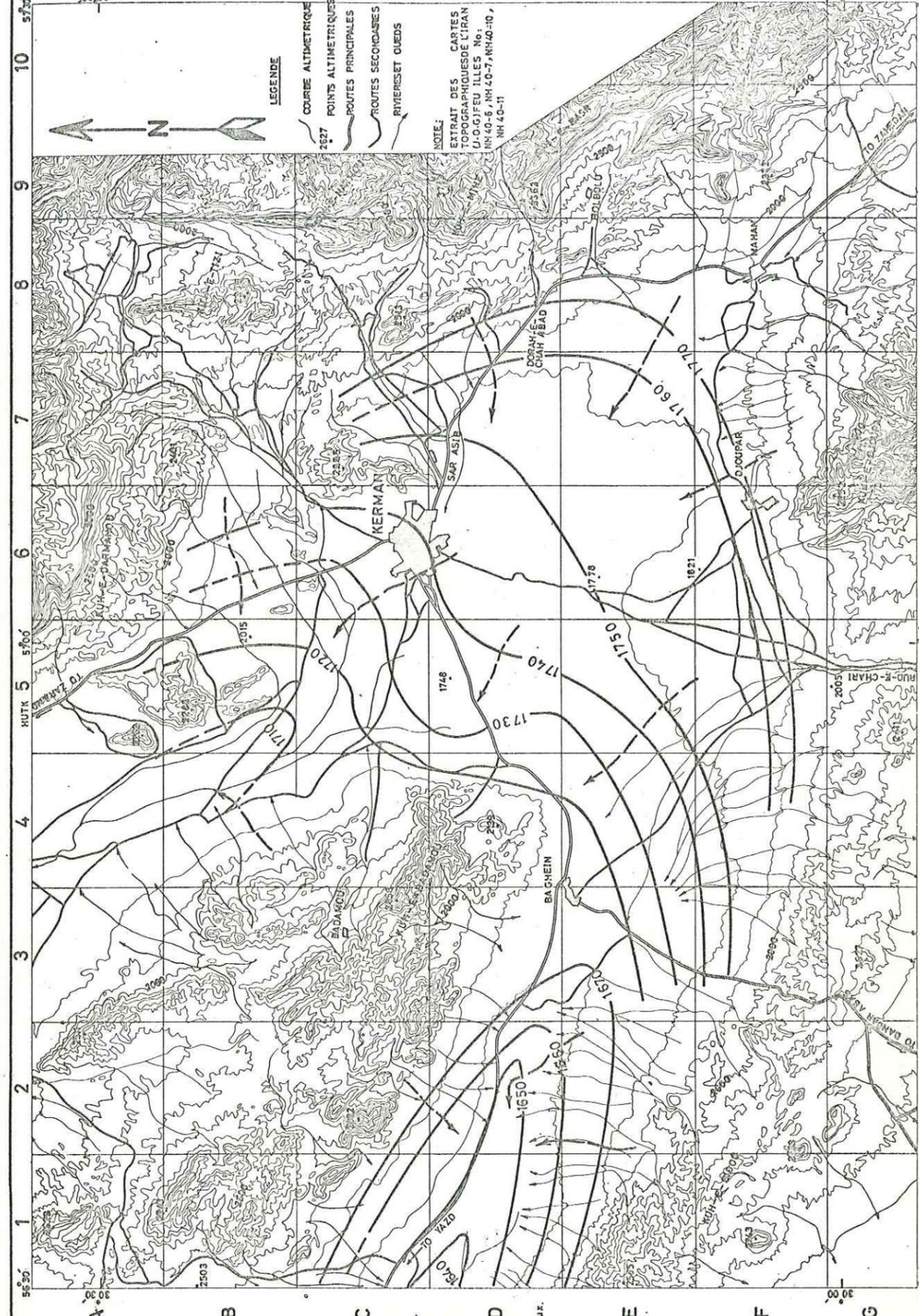
Echelle



**LEGENDE**

1660 Courbe isopieze

Sens d'écoulement des eaux.



vers la nappe à partir du versant du massif de Badamou, et aussi du versant Ouest de Kuh-é-Darmanou.

Dans cette zone, la nappe est très sollicitée pour les besoins en eau d'irrigation, bien que la salinité de l'eau soit assez forte.

d) Zone Ouest de la plaine (vallée de Baghein)

C'est la zone comprise entre le village de Baghein et plus vers l'Ouest Kaboutar-Khan, qui forme une vallée assez étroite et longue. La nappe dans cette vallée est caractérisée par un gradient hydraulique moyen relativement fort (de l'ordre de 6/1000), qui a tendance à diminuer en aval de Baghein et plus vers l'Ouest. L'incurvation des lignes piezométriques dans cette <sup>direction</sup> indique l'existence d'apports latéraux d'eaux souterraines à la nappe depuis les massifs de Badamou et de Kuh-é-Bidou. L'apport d'eau souterraine par le versant de Kuh-é-Bidou n'est cependant pas très important.

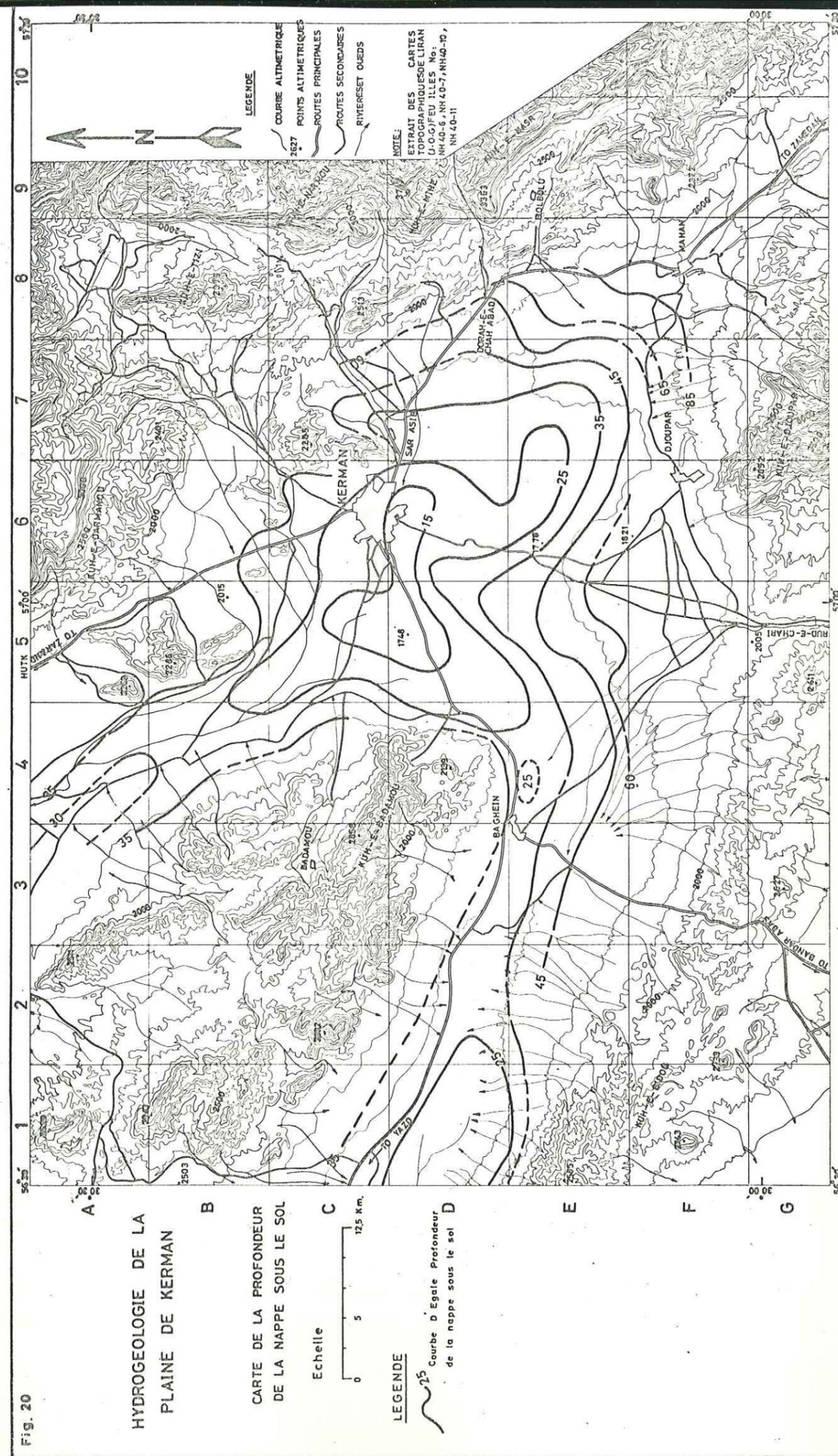
e) Zone Sud-Ouest de la plaine (vallée de Mahan)

C'est la région située au Sud-Est de la plaine de Kerman. Elle forme la vaste vallée de Mahan et est caractérisée par une nappe assez profonde avec un gradient hydraulique de l'ordre de 1/1000. Le captage des eaux souterraines dans cette zone du fait que la nappe est assez profonde n'est pas très développé. Par contre, c'est une zone très importante pour l'alimentation de la nappe de la plaine de Kerman.

5.2.2.4. - Carte de profondeur de la nappe

La planche 20 est une carte indiquant la profondeur sous le sol de la nappe de la plaine de Kerman. Sur cette carte on remarque :

- La profondeur de la nappe est supérieure à 50 m sur toute la bordure Sud et Sud Est de la plaine. Elle atteint et dépasse même 100 mètres sous les cônes d'éboulis avoisinant Mahan.
- Au Nord et au Nord-Est de Kerman, la nappe est un peu moins profonde, et la profondeur rencontrée est de l'ordre de 40 mètres. Toutes ces profondeurs décroissent quand on se dirige vers la



zone à l'Ouest de la ville de Kerman (Taher Abad et l'aéroport), où la profondeur de la nappe sous le sol n'est plus que 10 à 15 mètres.

Plus au Nord vers Zangi-Abad les profondeurs de nappe sont voisines de 20 mètres dans le centre de la vallée; elles peuvent atteindre une trentaine de mètres dans les zones d'éboulis bordant à l'Est Kuh-é-Badamou.

Dans la vallée de Baghein, on observe des variations plus fortes de profondeur de la nappe. La profondeur est d'une quarantaine de mètres à l'entrée de la vallée à quelques kilomètres en amont du village de Baghein. A partir de Rabat, en aval et jusqu'à l'extrémité de la vallée, la profondeur de la nappe est voisine de 20 mètres. Dans les éboulis bordant cette vallée relativement étroite, les profondeurs atteignent ou dépassent 50 mètres.

En conclusion, la nappe de la zone de Kerman se trouve à des profondeurs qui peuvent varier entre 10 et 100 mètres, selon les régions. La profondeur est un facteur limitant pour le choix des zones à irriguer par pompage dans des nappes d'eau souterraines du point de vue de la rentabilité des forages d'exploitation (la profondeur maxima est de l'ordre de 40 m).

5.2.2.5. - Forme générale de l'écoulement

Dans les zones Sud de la plaine de Kerman (plaine située entre Mahan, Djoupar et Kerman) l'écoulement de la nappe se fait dans une direction sensiblement Sud-Est - Nord-Ouest. Les eaux souterraines arrivent dans les zones situées à l'Ouest de la ville de Kerman (environs de l'aéroport de Kerman), et c'est approximativement dans cette zone que la nappe se divise en deux parties dont l'une s'écoule vers la vallée de Zarand et l'autre s'engage dans la vallée de Baghein.

Dans les zones Nord et la plaine de Zarand, l'écoulement de la nappe devient à peu près Sud-Nord et les eaux rejoignent la nappe de la plaine proprement dite de la ville de Zarand à 100 km au Nord de Kerman.

Dans la zone de Baghein, l'écoulement de la nappe se fait dans une direction sensiblement Est-Ouest. Les eaux souterraines partent de la plaine de Baghein pour se diriger plus à l'Ouest vers les zones de Kaboutar-Khan. (à 70 km l'Ouest de Baghein).

5.2.2.6. - Alimentation de la nappe des alluvions

L'alimentation de la nappe de la plaine de Kerman peut se faire :

- à partir des infiltrations sur place.
- à partir des eaux de crues des oueds.

a) Infiltration directe des eaux météoriques

L'infiltration directe des eaux météoriques peut intéresser une superficie importante du piedmont des massifs bordant la plaine de Kerman. Cette superficie, qui est voisine de 1100 Km<sup>2</sup> soit 50 % de la surface totale de la plaine, correspond à des formations perméables (sables, graviers, cailloutis ...) qui forment les éboulis, les cônes de déjection partant des versants des massifs. Le reste de la plaine est constitué par des limons et des matériaux plus ou moins imperméables (AI-C) qui forment la partie centrale de la plaine Sud de Kerman, la plaine de Baghein, et la plaine Nord.

Ces formations empêchent pratiquement toute infiltration.

Ce sont les zones situées au :

- pied du massif de Kuh-è-Darmanou, Kuh-é-Narmou, Kouh-é-Nasr et Kuh-é-Sekong à l'Est et Sud-Est de la plaine.
- pied du massif de Kuh-é-Djoupar au Sud de la plaine.
- pied Nord-Est et Sud-Ouest du massif Badamou au Nord-Ouest de la plaine.
- Pied Nord du massif Kuh-è-Bidou au Sud de Baghein.

qui bénéficient le plus de l'alimentation directe par les eaux météoriques.

En effet, la nature pétrographique (sable, gravier, sable fin et cailloutis) des terrains dans ces zones facilite l'infiltration directe des

eaux météoriques. L'infiltration dans les dunes au Sud de Kerman ne peut pas contribuer à l'alimentation de la nappe, en raison de l'existence de limons à la base des dunes et de la reprise des eaux par l'évaporation.

#### 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 Kerman, mais généralement ces cours d'eau ne fonctionnent qu'en période de crues.

Ce sont essentiellement les eaux de crues des oueds drainant les massifs bordiers de l'Est et du Sud Est de la plaine qui contribuent à l'alimentation de la plaine Sud de Kerman (Kuh-é-Tizi, Kuh-é-Nasr et Kuh-é Sekondje ...).

Les eaux de crues de la Rud-é-Tchari, et aussi les eaux de crues drainant le massif de Djoupar servent à l'alimentation de la nappe de la plaine de Kerman.

La nappe des alluvions de la plaine Nord de Kerman reçoit les eaux de crues drainant le massif de Kuh-é-Darmanou et aussi le massif Badamou.

Les torrents temporaires qui drainent les flancs Ouest et Sud du massif de Badamou alimentent les nappes de la plaine de Baghein. L'examen des cartes piezométriques (planches 18 et 19) de la carte de salinité (planche 21) et de la carte d'isoconductivité (planche 22) permet la localisation des zones d'alimentation des nappes à partir des eaux de crues des oueds de la plaine de Kerman.

Pour l'évaluation quantitative de cette alimentation, il nous faudrait connaître les débits de crues des oueds de la plaine. C'est dans ce but que nous avons analysé les données hydrométriques des stations existant dans la région. Cette analyse a été présentée dans le chapitre précédent (le ruissellement)

#### c) Alimentation à partir du Bed Rock

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

- les calcaires fissurés au Nord de la plaine et à l'Est de Kerman alimentent la nappe ; l'étude de la chimie des eaux et l'étude isotopique confirment cette alimentation.

- les calcaires crétacés de Kuh-é-Sekondje à l'Est du Mahan alimentent la nappe de la plaine de Mahan qui est relativement profonde.

- les massifs de Djoupar qui sont constitués essentiellement par les calcaires fissurés qui plongent sous la plaine Sud de Kerman, peuvent alimenter les nappes de la plaine.

- dans la vallée de Baghein, les nappes sont alimentées par les eaux provenant des calcaires du crétacé supérieur au Nord de la plaine de Baghein.

#### Conclusion

On peut conclure que l'alimentation des nappes de la plaine de Kerman se fait pour une part importante à partir des eaux météoriques qui s'infiltrent dans les alluvions grossières du piedmont des massifs bordant la plaine. Cette infiltration se fait chaque fois que la nature pétrographique du terrain est convenable (surtout sur la surface des cônes de déjection). Nous préciserons plus loin le volume de l'infiltration lors de l'étude du bilan.

L'alimentation à partir du Bed Rock ou par son intermédiaire à partir des calcaires crétacés bordant la plaine est également certaine mais, en raison du manque d'informations, nous ne pouvons pas préciser et évaluer la valeur de l'infiltration ou des apports en eaux à partir du Bed Rock vers les nappes de la plaine.

### 5.3. CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES

L'étude chimique des eaux a porté sur le résidu sec (R. S), la conductivité et l'analyse chimique complète des eaux de tous les points d'eau de la plaine. Le résidu sec et la conductivité ont été déterminés systématiquement pour tous les points d'eau : quant aux analyses chimiques complètes, elles n'ont intéressé qu'un certain nombre de puits, de forages et de ghanates répartis dans toute la plaine (environ 250 analyses) figure N° 17.

Les échantillons prélevés ont été analysés au laboratoire du service géologique de l'Iran. Les mesures de température et de conductivité ont été faites pendant les études sur les points d'eau.

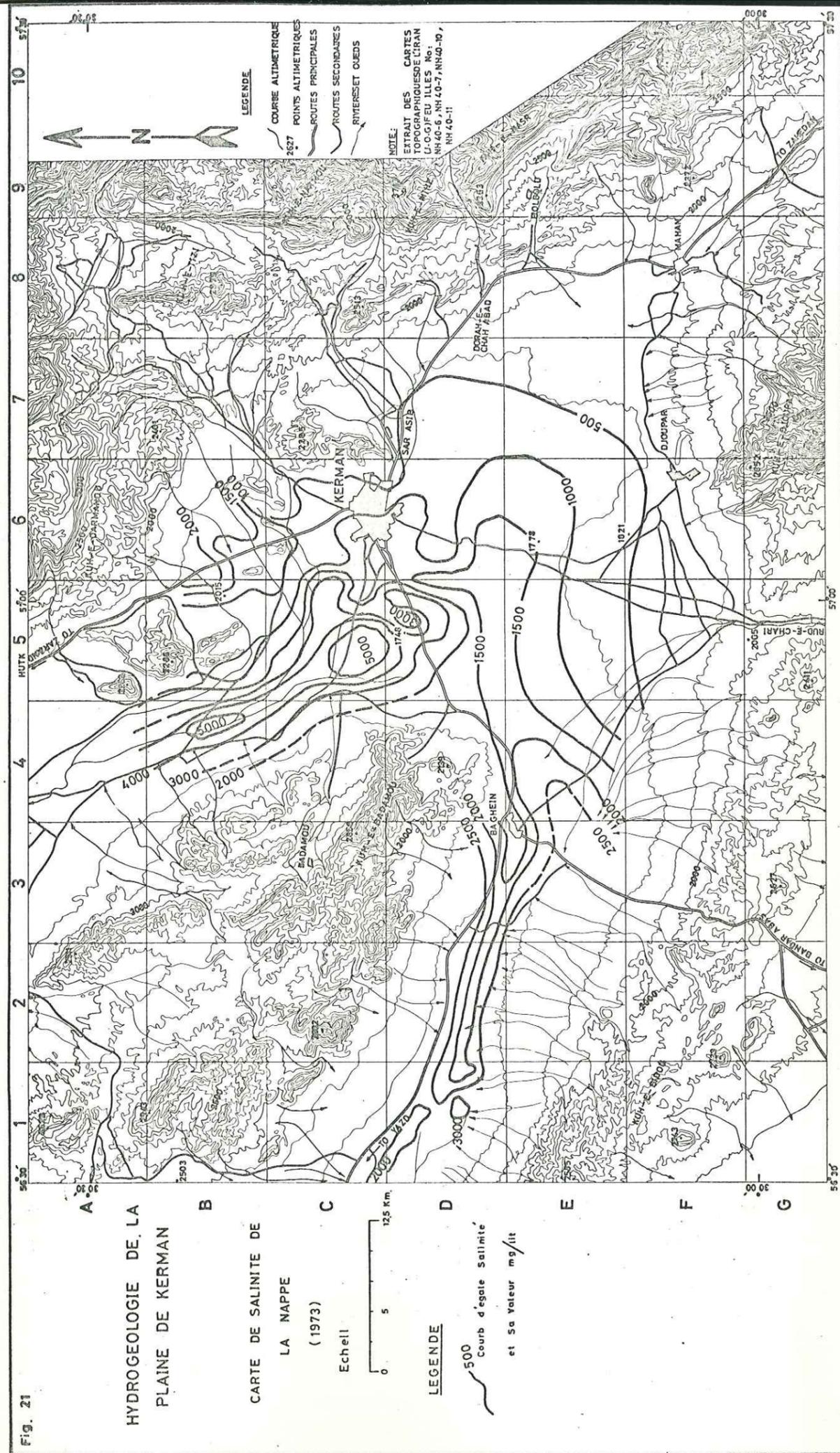
Sur un papier bilogarithmique, nous avons porté en abscisses les valeurs du résidu sec en mg/l et en ordonnées les valeurs de la conductivité en  $\mu\text{mho/cm}$ . La courbe obtenue est approximativement une droite (figure N° 23). A l'aide de ce graphique, nous pouvons déduire la valeur approximative du résidu sec en effectuant seulement la mesure de la conductivité à l'aide d'un conductivimètre. Cette opération est beaucoup plus rapide qu'une détermination du résidu sec par évaporation dans un four électrique au laboratoire. La comparaison des cartes de salinités et la carte de conductivité, nous confirmera la liaison étroite qui existe entre ces deux données.

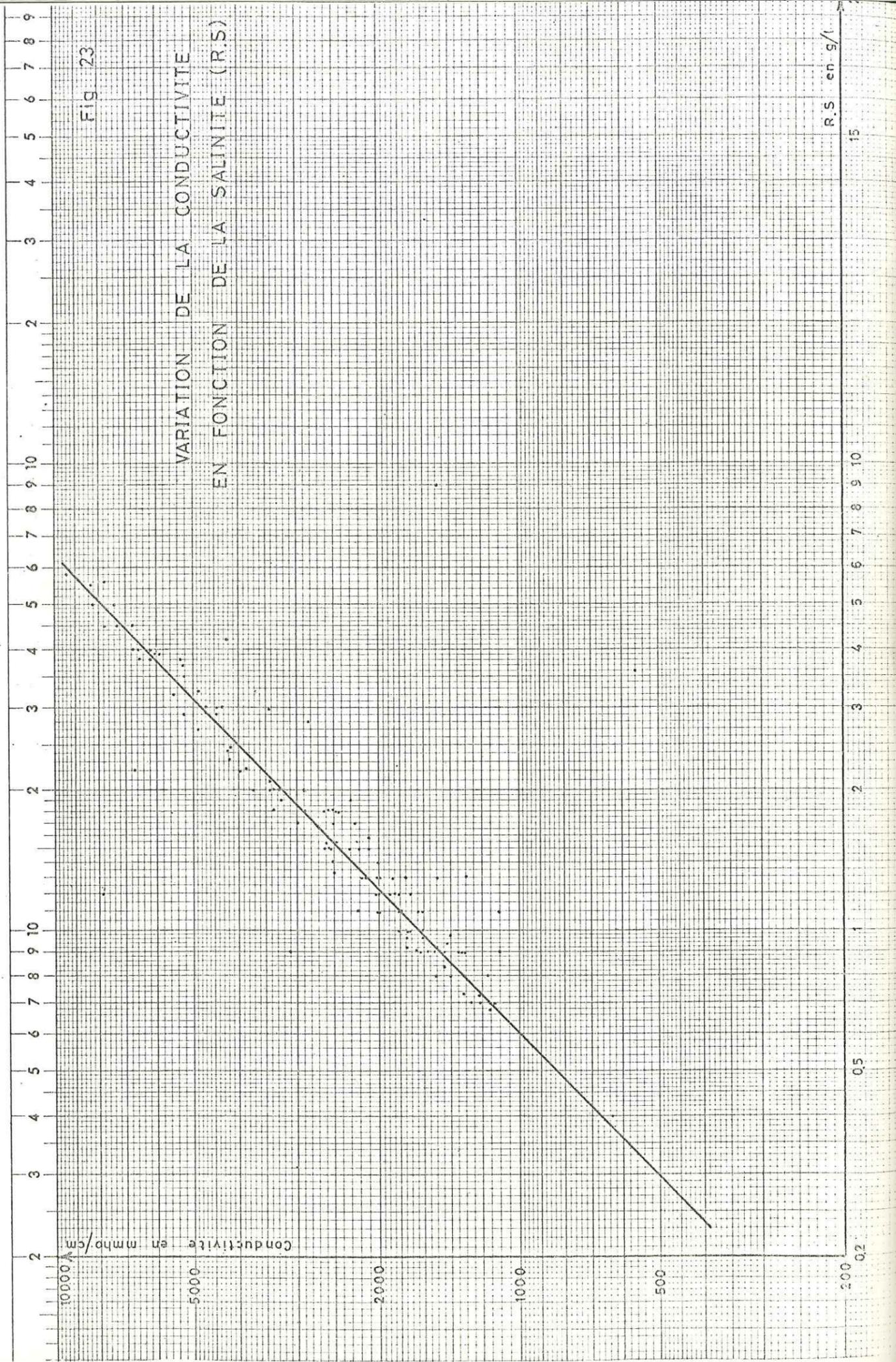
Tous les prélèvements d'échantillons ont été effectués pendant des mois Avril, Mai, Juin et de Septembre à Novembre 1973.

#### Carte de salinité (R. S carte N° 21)

Elle est établie à partir des résultats des déterminations de résidu sec par évaporation. Cette carte est assez précise du fait du très grand nombre d'analyses effectuées (environ 300). Les zones les plus chargées en sels correspondent à deux régions :

- zone située au Nord-Ouest de Kerman, et aussi plus au Nord vers la vallée de Zarand.
- zone située à l'Ouest de Baghein.





La concentration maximum des sels dans l'eau, dans les zones mentionnées est de 7000 milligrammes/litre, tandis que la région la moins chargée est située au Sud-Ouest et plus au Sud vers la plaine de Mahan. La concentration dans cette zone est de l'ordre de 500 mg/l.

Carte des teneurs en ion chlore (carte N° 24)

A partir des mesures de la concentration en ion chlore de la nappe de la plaine sur tous les échantillons, nous avons dressé cette carte, qui est en parfaite corrélation avec la carte de salinité (R.S). Les zones de faible concentration en ion chlore correspondent au Sud Ouest de la plaine de Kerman, et les zones les plus chargées intéressent la plaine Nord et aussi la zone Ouest de Baghein. Le minimum de concentration en ion chlore est de 150 mg/l, alors que le maximum dépasse 2000 mg/litre.

Carte de conductivité (figure N° 22)

Nous avons effectué des mesures de conductivité sur à peu près 250 échantillons prélevés durant l'étude de la plaine. A partir des résultats de ces mesures nous avons pu établir la carte de conductivité des eaux souterraines de la plaine.

Les zones de faible conductivité (500 m mho/c) correspondent aux zones les moins chargées de la carte de salinité. Quant aux zones de forte conductivité (4000 à 7000 m mhos/c) elles correspondent aux zones d'eau salée de la carte de salinité.

Comparaison des cartes R.S., cl, Ec

La comparaison des diverses courbes de R.S, isochlore et conductivité met en évidence comment se présente selon les régions, la salinité des eaux souterraines de la plaine de Kerman.

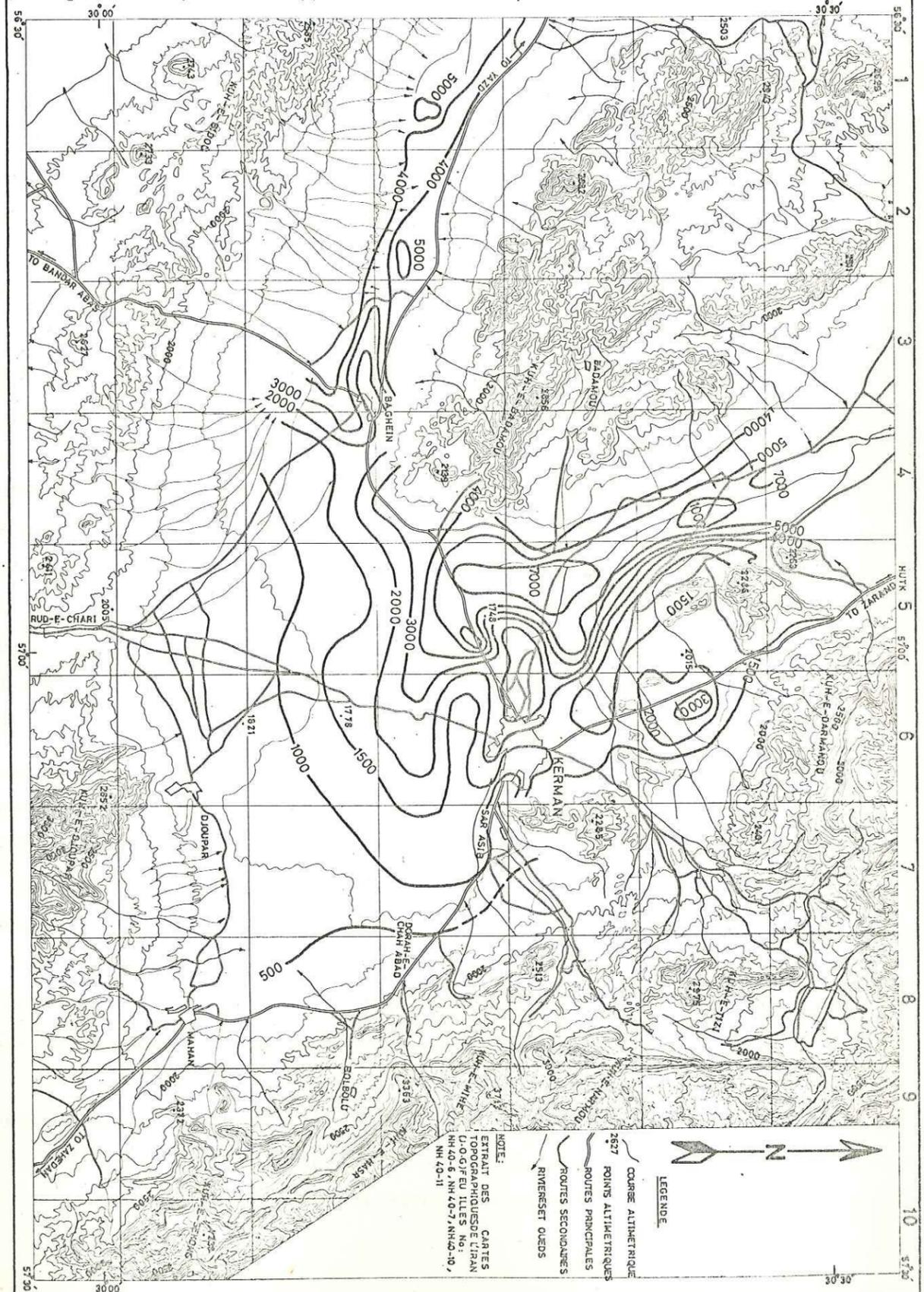
- Dans la partie Est et Sud-Est de la plaine proprement dite, les eaux souterraines sont assez peu minéralisées. Ceci est dû à l'absence de terrain salé ; et aussi à l'alimentation importante de la nappe par les massifs du Sekondje et Djoupar (Est et Sud du Mahan). L'électroconductivité est inférieure à 1000 m mhos/cm, et le R.S est aussi inférieur à 500 mg/l dans cette zone.

# HYDROGEOLOGIE DE LA PLAINE DE KERMAN

## CARTE D'ISOCOUCTIVITE DE LA NAPPE (1973)

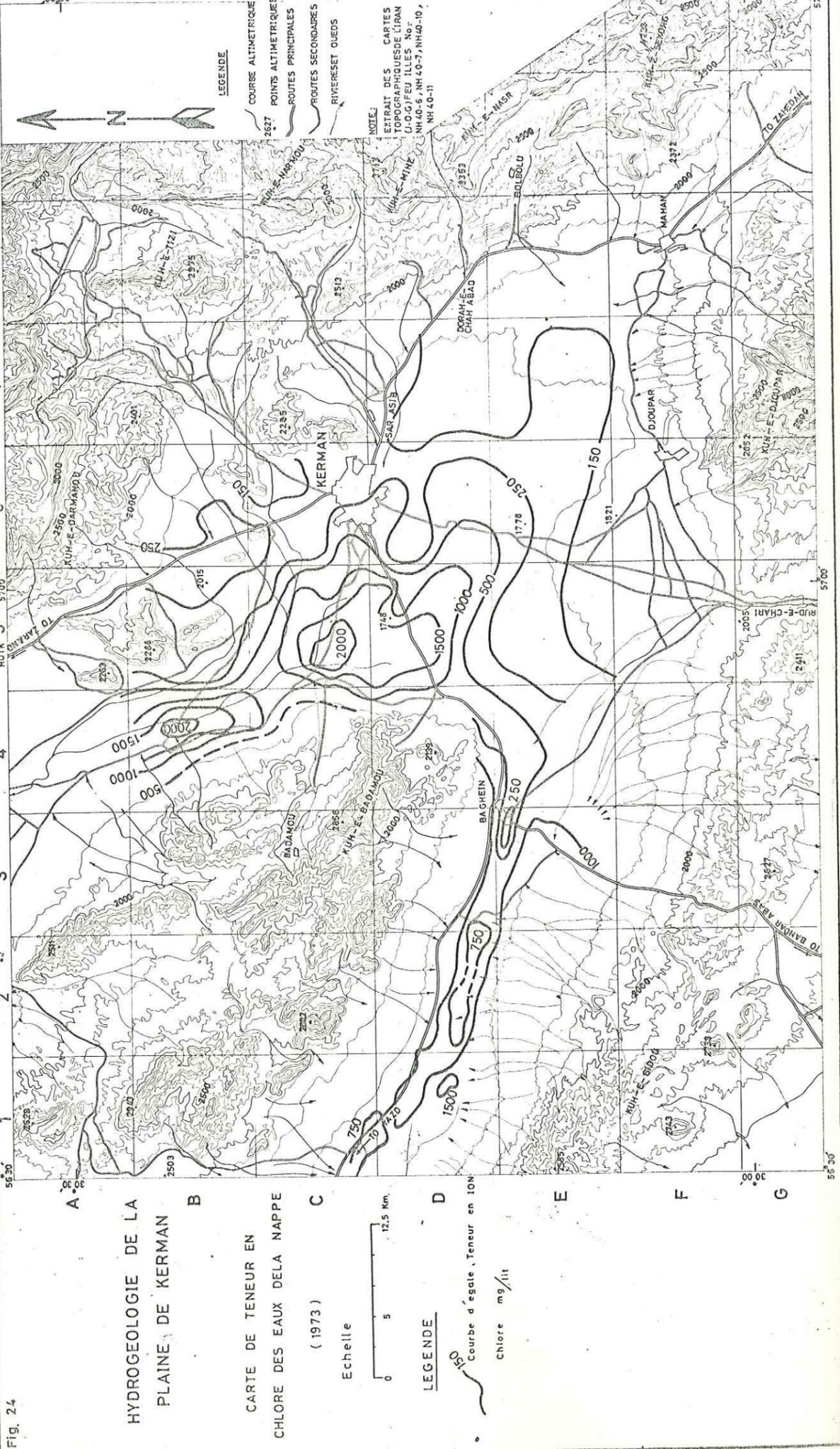
Echelle  
0 5 12.5 km.

LEGENDE  
500 Courbe d'egale Conductivite  
sa valeur en mhos/cm



LEGENDE  
 COURBE ALTIMETRIQUE  
 2627 POINTS ALTIMETRIQUES  
 ROUTES PRINCIPALES  
 ROUTES SECONDAIRES  
 RIVERSET OUEDS

NOTE:  
 EXTRAIT DES CARTES  
 GEODESIQUES D'IRAN  
 D'EGALE ECHELLE  
 NH.40-5, NH.40-7, NH.40-10,  
 NH.40-11



LEGENDE  
 50 Courbe d'egale Teneur en ION  
 Chlore mg/lit

Echelle  
0 5 12.5 km.

HYDROGEOLOGIE DE LA  
 PLAINE DE KERMAN  
 CARTE DE TENEUR EN  
 CHLORE DES EAUX DE LA NAPPE  
 (1973)

LEGENDE  
 COURBE ALTIMETRIQUE  
 2627 POINTS ALTIMETRIQUES  
 ROUTES PRINCIPALES  
 ROUTES SECONDAIRES  
 RIVERSET OUEDS

NOTE:  
 EXTRAIT DES CARTES  
 GEODESIQUES D'IRAN  
 D'EGALE ECHELLE  
 NH.40-5, NH.40-7, NH.40-10,  
 NH.40-11

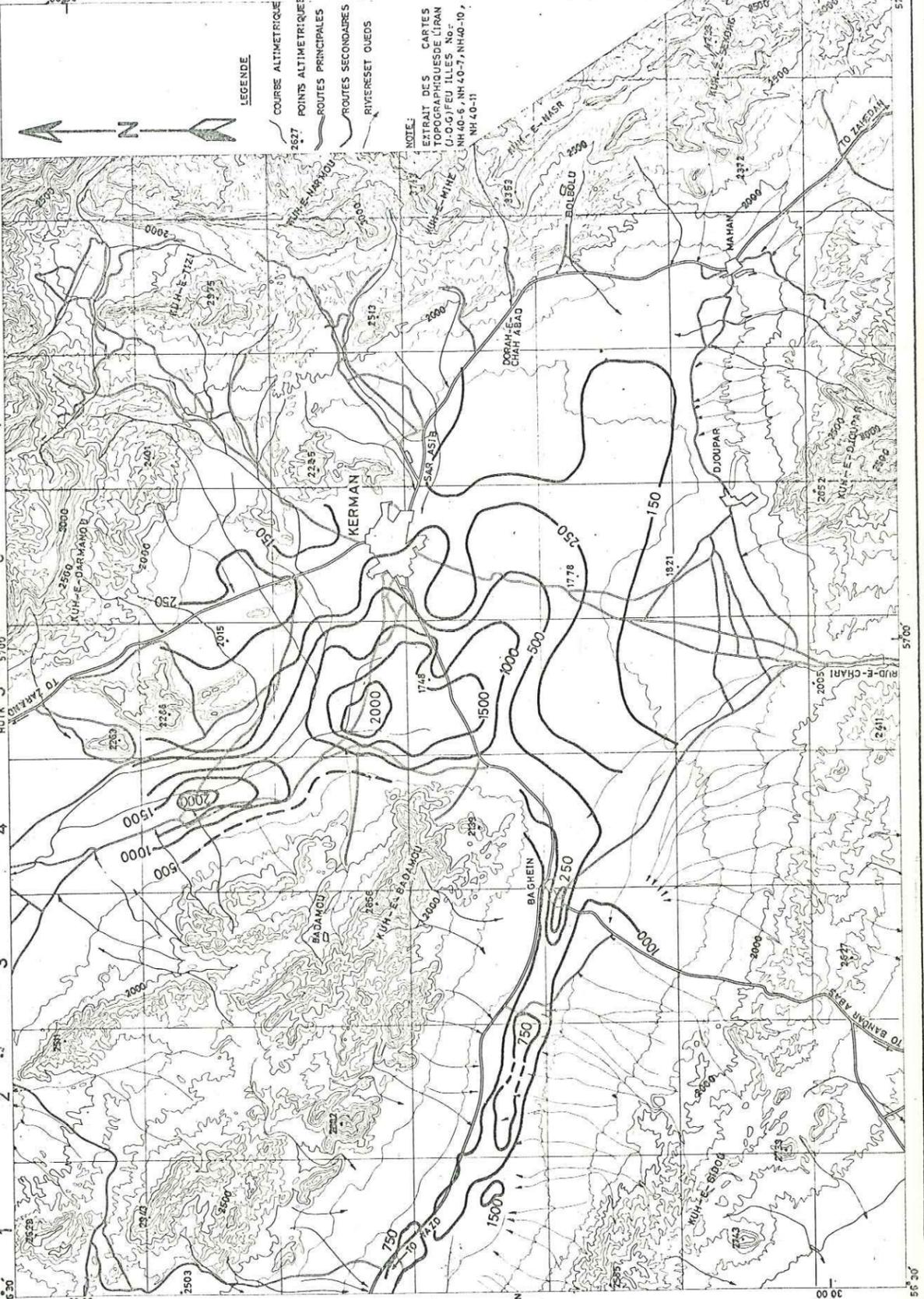


Fig. 24

- Dans la partie Ouest de la plaine jusqu'à l'entrée de la vallée de Baghein, la conductivité est encore voisine de 1000 à 2000 m mhos/cm, cependant la teneur en ion chlore augmente légèrement jusqu'à 500 mg/l.

- A l'Ouest de Baghein et à Kabutar-Khan, on observe un fort gradient de salinité. La conductivité atteint 4000 à 5000 m mhos/cm, tandis que la teneur en chlore dépasse 1000 mg/l.

Cette augmentation de la minéralisation est due avant tout aux apports latéraux provenant d'une part du Kuh-é-Bidou dont les eaux de ruissellement lessivent les terrains oligo-Miocènes salés, en contrebas du massif et d'autre part à l'effet de la circulation lente des eaux souterraines dans les matériaux fins argileux au milieu de la plaine de Baghein.

On peut aussi penser que dans la zone de Baghein où l'irrigation est fortement développée, la concentration par évaporation des eaux d'irrigation contribue de façon sensible à l'augmentation de la salure de la nappe dans cette zone.

- Dans la zone au Nord de la route Kerman-Baghein, et aussi plus au Nord vers Zagi-Abad, on observe également de fortes variations de salinité des eaux de la nappe. La zone d'alimentation au Nord-Est de Kerman (Kuh-é-Tizi), fournit des eaux relativement douces (Cl - 2 mg/lit. et Ec < 2000 m mhos/cm). En se déplaçant vers l'Ouest, vers la zone basse d'épandage de l'extrémité Sud-Est de Kuh-é-Badamou, la salinité augmente considérablement. (Ec > 7000 m mhos/cm et Cl - = 1500 à 2000 mg/lit.).

Cette augmentation de salure est due, d'une part aux apports de Kuh-é-Badamou, et d'autre part aux irrigations et à la stagnation des eaux de ruissellement dans cette zone : plus au Nord les eaux sont encore fortement salées. On observe des valeurs de 7000 m mhos/cm pour l'électroconductivité, et 2000 mg/lit. pour la concentration en ion chlore. Ce phénomène s'observe dans un sillon occupant le centre de la vallée Nord depuis Ektiar-Abad jusqu'à Zangi-Abad et au-delà.

Le côté Ouest de la vallée (côté Kuh-é-Badamou) a des eaux plus minéralisées que le côté Est qui est mieux alimenté en eau plus douce par la chaîne de Kuh-é-Darmanou et aussi par les petits massifs calcaires situés à l'Est de Zangi-Abad.

En résumé, on peut conclure que dans la zone de Kerman, la nappe alimentée en amont par les bassins versants à dominante calcaire des chaînes Est et du massif de Djoupar au Sud, a tendance à se charger en sels divers par les apports latéraux provenant des massifs de Kuh-é-Badamou et Kuh-é-Bidou. En outre, la concentration en sels augmente par suite de la forte évaporation des eaux épandues par ruissellement en période de crue et par l'irrigation.

REPRESENTATION GRAPHIQUE DES ANALYSES

Pour la représentation graphique des analyses chimiques, nous avons utilisé le diagramme semi-logarithmique de Schoeller qui est adopté généralement pour déterminer les types des eaux.

On porte en ordonnées les résultats de l'analyse, c'est à dire le nombre de milliéquivalent par litre des ions Ca, Mg, Na, SO<sub>4</sub>, Cl et HCO<sub>3</sub> ainsi que les valeurs du degré hydrotimétrique et du PH (ces dernières valeurs sont portées dans les cas particuliers), et on joint ces points par des segments de droite.

Les résultats des analyses complètes de la région, sont présentés selon cette méthode sur les diagrammes N° 25, 26, 27, 28, 29, 29a, 29b qui sont joints à l'annexe.

Dans la zone de Kerman, généralement, les eaux de la nappe sont chlorurées sodiques, avec des localisations d'eaux sulfatées et bicarbonatées par endroits.

Les eaux chlorurées sodiques sont caractérisées par :



Les eaux sulfatées sodiques sont caractérisées par :



Les eaux bicarbonatées sont caractérisées par :



- Dans la vallée de Baghein, les eaux sont chlorurées sodiques (diagramme 29a).
- Dans la plaine Sud et la vallée de Mahan, les eaux sont bicarbonatées sodiques (diagramme 29b).
- Dans la zone de Kerman proprement dite, les eaux sont bicarbonatées sodiques et chlorurées sodiques (diagramme 28).
- Dans la plaine Nord de Kerman, les eaux sont typiquement chlorurées sodiques (diagramme 25, 26, 29).

#### CONCLUSION

L'étude chimique de la nappe de Kerman nous a permis :

- de préciser et de délimiter les zones de l'alimentation de la nappe.
- de déceler la contamination de la nappe dans la vallée de Baghein et la plaine Nord de Kerman.
- de mettre en évidence que les eaux souterraines de la plaine Sud ont dissous des ions Cl et Na durant leur circulation vers la zone Nord et aussi la zone de l'Ouest.

#### CHAPITRE VI

##### EVALUATION DES RESSOURCES EXPLOITABLES

- Exploitation actuelle
- Ressources en eaux souterraines

6 - EVALUATION DES RESSOURCES EXPLOITABLES

GENERALITES

Dans ce chapitre, nous essayerons d'évaluer les ressources en eaux souterraines exploitables de la nappe de la plaine de Kerman d'après les résultats obtenus des études sur l'écoulement de la nappe, sur l'alimentation des nappes et sur la nature du remplissage de la plaine.

Le débit exploitable doit rester inférieur aux réserves régulatrices qui varient au gré des fluctuations saisonnières et annuelles. Ce débit exploitable est le débit d'eau souterraine qui peut être <sup>extrait</sup> des nappes tout en tenant compte des conditions rationnelles techniques et économiques sans porter préjudice au régime d'exploitation et à la qualité de l'eau pendant la durée prévue.

6.1. EXPLOITATION ACTUELLE

Les eaux souterraines de la plaine de Kerman sont surtout exploitées pour satisfaire les besoins nécessaires et croissants en eau d'irrigation du vaste domaine de l'agriculture de la région de Kerman. La zone nord de Kerman et aussi la zone ouest (Baghein), possèdent la majorité des terres agricoles de la plaine.

La majeure partie de l'exploitation dans la région est effectuée par les forages. Le système ancien de ghanates est encore valable en certains endroits de la région.

- 38 ghanates sont exploitées dans la région: le débit de ces ghanates varie de 3 à 120 lit./s. Le débit total de ces ghanates est estimé à  $20 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/an

- 100 puits creusés à la main et équipés d'un moteur sont exploités avec des débits variables de 3 à 38 lit./s. L'exploitation totale de ces puits est de  $13 \times 10^6$  m<sup>3</sup> par an.

- 238 forages sont en cours d'exploitation dans la région. Le débit de chacun de ces forages est variable de 3 à 58 lit./s. Le volume total exploité par ces forages est estimé à  $112 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

Le volume total exhauré de la nappe de la plaine de Kerman sur une superficie de 1100 Km<sup>2</sup> est donc égal à  $145 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/an.

6.2. RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Les ressources en eaux souterraines de la plaine de Kerman peuvent être subdivisées comme cela se fait généralement en :

- Masses d'eau régulatrices : c'est le volume d'eau dans la zone des fluctuations des nappes d'eaux souterraines libres. Ce volume varie au gré des fluctuations saisonnières et annuelles.
- Réserves permanentes totales : c'est le volume d'eau des nappes à surface libre situées au-dessous de la zone des fluctuations de cette surface, ainsi que tout le volume d'eau constituant les nappes profondes. Ce volume 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 tiré judicieusement, sans altération du régime d'exploitation et de la quantité 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 telles que :

- T = K.h : La transmissivité qui s'exprime en m<sup>2</sup>/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 captive qui s'exprime en %.

Ces paramètres sont déterminés :

- à partir de l'étude granulométrique qui a porté sur quelques échantillons prélevés parmi les cuttings des sondages effectués dans la plaine.

- à partir des essais de pompage effectués sur les forages importants de la plaine de Kerman.

6.2.1. Etude granulométrique

Notre étude granulométrique a porté sur des échantillons prélevés lors de l'exécution des forages : E3 n°5 et E4 n°5.

Les résultats des analyses granulométriques sont présentés sur les diagrammes 9 et 10.

Nous avons calculé à partir de ces diagrammes par la formule de Allen-Hazen :

$$K = 100 d^2_{10} \quad K \text{ en cm/s}$$

$$d_{10} \text{ en cm.}$$

Les valeurs de la perméabilité des horizons où ont été prélevés les divers échantillons.

Nous avons calculé également :

le coefficient d'uniformité :  $C_u = \frac{\Phi_{60\%}}{\Phi_{10\%}}$  de chaque échantillon

le coefficient de catégorie :  $C_c = \sqrt{\frac{\Phi_{75\%}}{\Phi_{25\%}}}$  de chaque échantillon

Nous avons regroupé les résultats sur le tableau suivant :

Numéro de forage	Echantillon	d10 mm	K m/s	Coefficient d'uniformité	Coefficient de catégorie
				$\frac{\Phi_{60\%}}{\Phi_{10\%}}$	$\sqrt{\frac{\Phi_{75\%}}{\Phi_{25\%}}}$
E4-5	à 90m	1x10 <sup>-2</sup>	1x10 <sup>-4</sup>	4	1.48
		5x10 <sup>-4</sup>	2.5x10 <sup>-2</sup>	40	1.76
		1x10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-8</sup>	150	3.31
		5x10 <sup>-5</sup>	2.5x10 <sup>-9</sup>	10	4.18
		8x10 <sup>-4</sup>	6.4x10 <sup>-7</sup>	25	2.35
E3-5	60m	5x10 <sup>-3</sup>	2.5x10 <sup>-5</sup>	9	2.44
		8x10 <sup>-3</sup>	6.4x10 <sup>-5</sup>	3.75	2.05

Il ressort de ces résultats que seul l'horizon E4-5 à 90 m est vraiment perméable et a une bonne porosité comme le démontre son faible coefficient d'uniformité. Les autres échantillons du sondage E4 n°5 ont des perméabilités et porosités très mauvaises.

Les deux échantillons du sondage E3 n°5 ont une perméabilité faible mais non négligeable et le coefficient d'uniformité à 122 m est le plus favorable du point de vue de la porosité.

On peut penser que les valeurs favorables de la perméabilité et de la porosité correspondent à la présence d'anciens lits de la rivière Tchari.

L'interprétation des coefficients de catégorie qui devrait nous renseigner sur le mode de transport et de classement des matériaux est délicate car on risque d'avoir eu un lessivage des éléments fins lors de la réalisation du forage.

Il semble toutefois, que les divers échantillons puissent être considérés comme transportés par les eaux de ruissellement, l'échantillon E4 n°5 qui a le plus petit coefficient de catégorie pouvant marquer l'horizon où le transport a été le plus rapide et où se situent les matériaux les plus arrondis.

6.2.2. Essais de pompage (T et S)

Au cours de l'étude hydrogéologique de la plaine de Kerman, nous avons été amenés à procéder à de nombreux essais de pompage dans la formation aquifère. Le but de ces essais a été de mesurer la transmissivité de l'aquifère, ce qui nous permettra de :

- connaître l'évaluation du débit des nappes.
- connaître les emplacements les plus convenables.

Les essais de pompage ont été réalisés dans les forages de reconnaissance et aussi dans les installations des puits profonds existants appartenant à des propriétaires privés.

Les essais de pompage dans les forages ou les puits existants consistaient dans l'exécution de pompages à débit constant et de durée variable selon les cas. Donc, on observait les variations du niveau d'eau durant les pompages ou l'arrêt de ceux-ci.

Nous avons utilisé la méthode de THEIS pour notre interprétation, plus particulièrement lors de la remontée du niveau d'eau quand on cesse le pompage. Dans ces conditions, la lecture du niveau d'eau n'est pas perturbée par les à-coups de la pompe.

Sur la figure n°8, nous avons montré les emplacements des forages et des puits dans lesquels les essais de pompage ont été effectués et les valeurs de transmissivité mesurées.

Pour un seul essai de pompage (dans le puits E3-6), on a disposé d'un piezomètre proche du puits (piezomètre placé dans le forage E3-5), ce qui nous a permis la détermination du coefficient d'emménagement S de l'aquifère de la nappe.

Le tableau V montre les résultats des déterminations de transmissivité et perméabilité suivant les essais de pompage effectués.

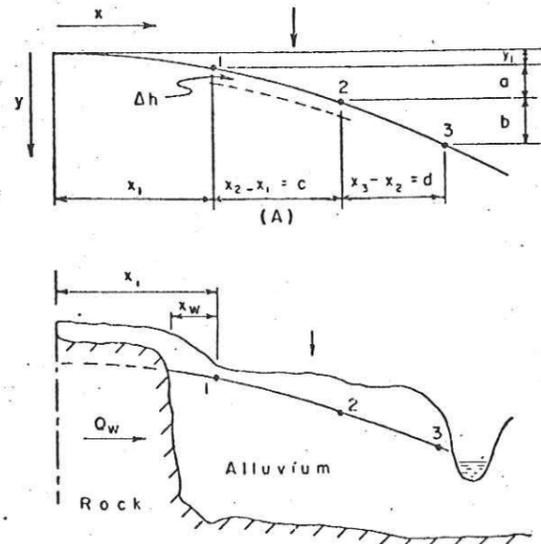
TABLEAU V  
Résultats des mesures de Transmissivité dans les forages de la plaine de Kerman

Nombre de forage ou puits	Altitude	Nature de l'horizon essayé	T en m <sup>2</sup> /s	Sen %	K moyen en m/s	Niveau statique	Observation
E4-5	1740	Alluvions 43 - 150	5.4x10 <sup>-2</sup>	-	49x10 <sup>-5</sup>	43	Remontée
E3-6	1714	Alluvions 44 - 152	4.6x10 <sup>-2</sup>	-	43x10 <sup>-5</sup>	44	Remontée
E3-5	1715	Alluvions	4.6x10 <sup>-2</sup>	5 x 10 <sup>-2</sup>	43x10 <sup>-5</sup>	45	Remontée
D3-3	1725	Alluvions	1.65x10 <sup>-2</sup>	-	25x10 <sup>-5</sup>	58	Remontée
C5-20	1749	Alluvions	3.1x10 <sup>-4</sup>	-	2x10 <sup>-5</sup>	10	Remontée
D7-9	1803	Alluvions grossiers	8x10 <sup>-3</sup>	-	40x10 <sup>-5</sup>	42	Remontée
D7-7	1784	Alluvions grossiers	3.6x10 <sup>-2</sup>	-	100x10 <sup>-5</sup>	34	Remontée
D7-8	-	Alluvions grossiers	2.1x10 <sup>-2</sup>	-	37x10 <sup>-5</sup>	32	Remontée
E6-1	1777	Alluvions	5.5x10 <sup>-3</sup>	-	80x10 <sup>-5</sup>	28	Remontée
B4-13	1735	Alluvions	7x10 <sup>-3</sup>	-	7x10 <sup>-5</sup>	21	Remontée
C5-21	1752	Alluvions	1.1x10 <sup>-3</sup>	-	1.5x10 <sup>-5</sup>	21.5	Remontée
D6-18	1754	Alluvions	3x10 <sup>-3</sup>	-	4x10 <sup>-5</sup>	17	Remontée
D5-10	1714	Alluvions	4.8x10 <sup>-3</sup>	-	8x10 <sup>-5</sup>	12.5	Remontée
B5-1	-	Alluvions	5.5x10 <sup>-3</sup>	-	-	30.22	Rabattement
B4-10	-	Alluvions	6.3x10 <sup>-3</sup>	-	-	27.63	Rabattement
B5-14	-	Alluvions	-	-	-	41.36	Rabattement
C4-7	-	Alluvions	5.7x10 <sup>-4</sup>	-	-	30.77	Rabattement

6.2.3. Calcul T/S par la méthode de RORABAUGH

Le coefficient d'emmagasinement peut être calculé à partir de l'équation établie par Rorabaugh (1960) dans le cas où l'on étudie trois piezomètres alignés sur une même ligne de courant dans un aquifère de grandes dimensions en régime d'équilibre :

$$T/S = \frac{\Delta h}{\Delta t} \frac{Cd(c+d)}{2(bc-ad)}$$



Les valeurs de 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).

$\Delta h$  : est la variation du niveau d'eau entre la période de nappe haute et de nappe basse exprimée en mètre.

$\Delta t$  : est la durée du temps entre nappe haute et nappe basse qui est exprimée en secondes.

Pour vérifier la valeur du S dans la plaine de Kerman, nous avons appliqué cette formule dans différentes zones de la plaine.

- Sur une ligne située sur les forages EG-1, D5-10, C5-20.

L'application numérique donne :  $T/S = 0.37$

or  $T = 5.5 \times 10^{-3}$  d'où  $S = 1.5 \times 10^{-2}$

ou  $= 15 \%$

- Sur une ligne située sur les puits d'observation C5-2, C5-3, B5-6.

L'application numérique donne :  $T/S = 5.2$

or ici  $T = 7 \times 10^{-3}$  d'où  $S = 1.5 \times 10^{-3}$

- Sur une ligne située sur les puits d'observation 7E-1, 7E-5, 7E-4.

L'application numérique donne :  $T/S = 2.42$

or  $T = 4 \times 10^{-3}$  d'où  $S = 1.6 \times 10^{-3}$

- Sur une ligne située sur les puits d'observation E5-2, E4-2, E4-3 (Sud de Baghein)

L'application numérique donne :  $T/S = 0.36$

or  $T = 5 \times 10^{-2}$  d'où  $S = 13 \%$

qui est une valeur très élevée.

Nous pensons que la méthode de RORABAUGH doit être appliquée dans les conditions où la nappe est assez proche de la zone de recharge et où la nappe présente des fluctuations sensibles. Dans le cas de la région de Kerman, la valeur de S est assez basse dans la zone sud et aussi dans la plaine nord de Kerman, et très élevée dans la zone au Sud de Baghein.

Au Sud et au Nord de Kerman, les matériaux sont assez fins et en conséquence la valeur de S est basse alors que au Sud de Baghein où nous pensons que se trouve l'emplacement d'un lit ancien du Rud-é-Tchari, la valeur de S trouvée est très élevée.

Sur l'essai de pompage, nous avons déterminé que le coefficient d'emmagasinement S est de 5 % dans les environs de Baghein, ce qui montre bien la présence de matériaux plus grossiers dans cette zone par rapport au reste de la plaine du Kerman.

Conclusion

En fonction des résultats des essais de pompage et des calculs de S par la méthode de RORABAUGH, nous adopterons pour le calcul des volumes des différentes ressources en eaux souterraines de la plaine de Kerman, les valeurs suivantes :

- Coefficient d'emmagasinement  $S = 2.5 \%$

- Transmissivité  $T = 0.6 \times 10^{-3}$   
à  $7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .

- Porosité efficace  $Pe = 2-3 \%$

Ce sont en effet, les valeurs moyennes qui nous paraissent les plus proches de la réalité pour la détermination de notre bilan.

#### 6.2.4. Fluctuation du niveau de la nappe

La moyenne arithmétique de la variation du plan d'eau de la nappe phréatique entre Septembre-Octobre 1973 (basses eaux) et Mars-Avril 1973 (hautes eaux), obtenue sur 70 puits d'observation de la plaine est de : 50 cms.

Cependant, cette variation n'est pas uniforme.

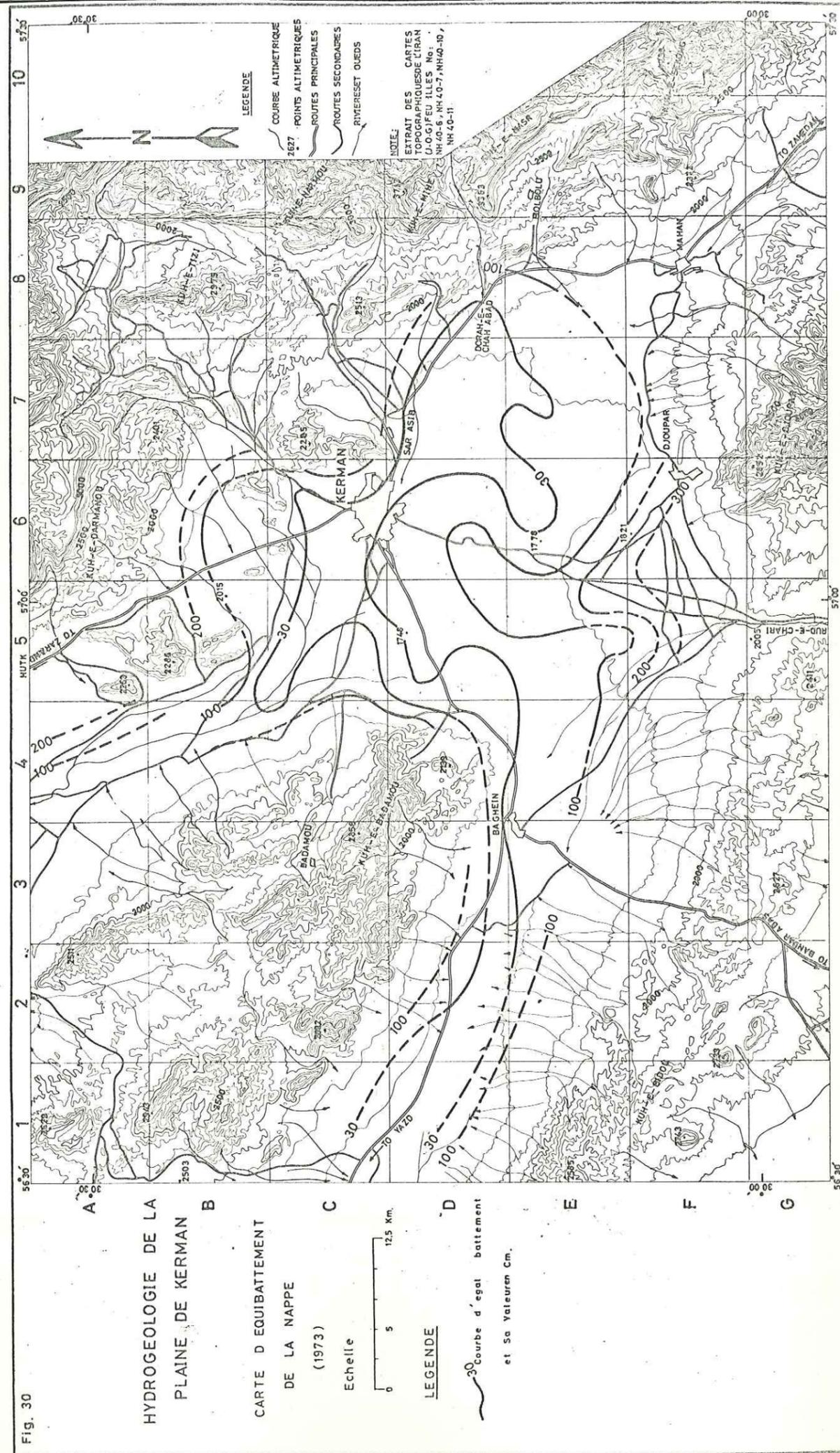
- Les variations les plus faibles sont localisées dans la zone nord de la plaine de Kerman et la zone de la vallée de Baghein. La variation moyenne est de 30 cm.

- Les variations les plus fortes ont été enregistrées dans les zones sud et sud-est ainsi qu'aux pieds des versants montagneux. La variation moyenne est de 100 cm.

La carte d'équibattement qui fait l'objet de la figure 30 a été établie à partir des valeurs des variations du plan d'eau de la nappe phréatique. Cette carte nous montre les fortes variations du plan d'eau dans la zone de Kerman.

La courbe de variation mensuelle du niveau statique de la nappe montre un niveau bas bien marqué aux mois de : septembre - octobre, qui correspond aux basses eaux de la nappe. (figure n°31a)

La variation annuelle du niveau statique de la nappe est tributaire des variations pluviométriques dans la région. Pour bien déterminer cette variation, nous avons tracé le diagramme de variation annuelle du plan de la nappe des alluvions pour toute la plaine de Kerman. (figure n°31). Ce



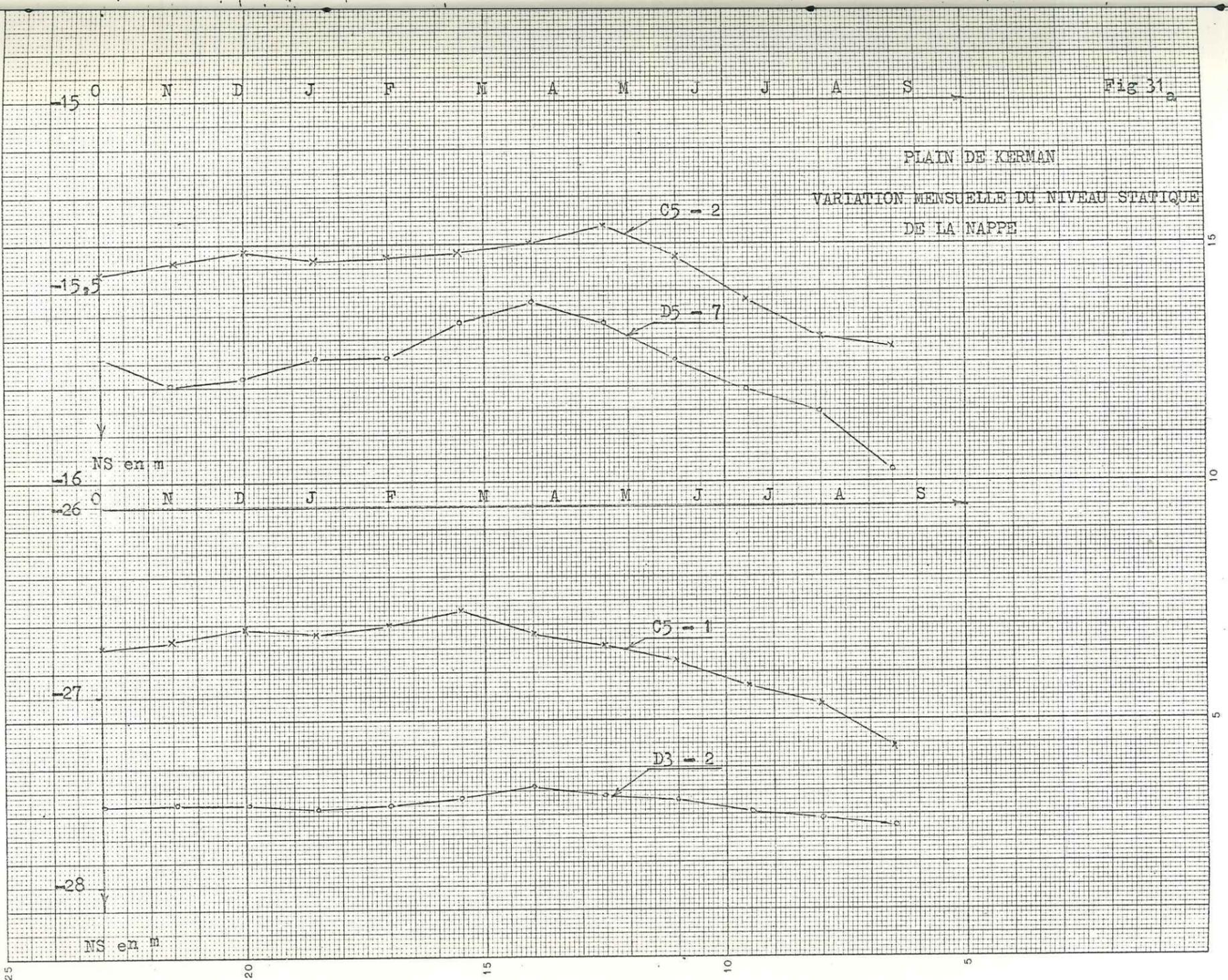
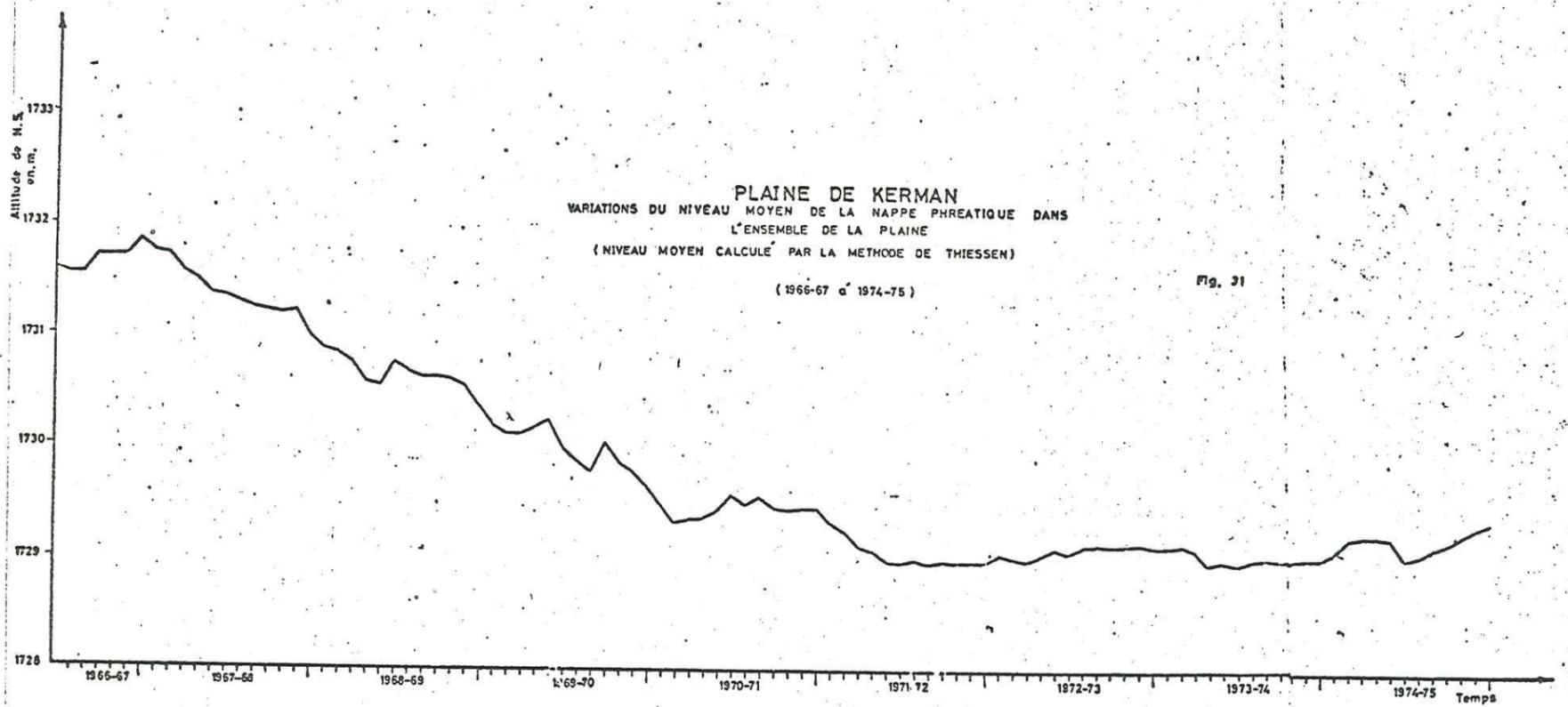


diagramme montre que depuis 1968, la nappe a baissé de 50 - 60 cm par an. Ce rabattement a été de 70 cm jusqu'en 1972, et est dû à de forts prélèvements. Depuis 1972, le prélèvement des eaux souterraines dans la plaine a été contrôlé et en conséquence, le rabattement a été diminué jusqu'à environ 10 cm/an en moyenne pour toute la plaine.

L'étude des fluctuations du niveau statique de la nappe phréatique permet :

- de mettre en évidence la relation existant entre la variation du plan d'eau de la nappe, la variation de la pluviométrie (comparaison des figures 12 et 31) et l'exploitation des eaux souterraines.

- de déceler la bonne corrélation entre la répartition des transmissivités et les variations du plan d'eau de la nappe indiquées par la carte d'équilibrage (figure n° 30).

#### 6.2.5. Les ressources régulatrices

C'est le volume d'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 :

$$V_r = S \times h \times m_e$$

S : superficie de la plaine de Kerman

Elle est estimée être égale à  $1100 \times 10^6 \text{ m}^2$

h : valeur de la variation du plan d'eau

$$h = 60 \text{ cm}$$

$m_e$  : valeur moyenne de la porosité efficace de l'aquifère

$$m_e = 2 \times 10^{-2}$$

$$\text{d'où : } V_r = 1100 \times 10^6 \times 0.60 \times 2 \times 10^{-2} = 13.2 \times 10^6 \text{ m}^3$$

#### 6.2.6. Les réserves permanentes

C'est le volume d'eau emmagasinée au-dessous de la zone des fluctuations de la surface de la nappe. Il comprend la nappe superficielle et la nappe profonde. Dans la région, nous n'avons pu distinguer qu'une seule nappe libre dans les 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 : 100 mètres d'où le volume d'eau intéressant les nappes de la plaine :

$$V = S \cdot h \cdot m_e$$

S : superficie de la plaine

$$S = 1100 \times 10^6 \text{ m}^2$$

h : épaisseur de la nappe non affectée par les fluctuations de la nappe.

$$h_m = 100 \text{ m}$$

$m_e$  : porosité efficace de l'aquifère

$$m_e = 2 \times 10^{-2}$$

$$V = 1100 \times 10^6 \times 100 \times 2 \times 10^{-2} = 2200 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Ce volume présente les réserves permanentes en eaux souterraines de la plaine de Kerman.

#### 6.2.7. Apports à la nappe

Dans ce paragraphe, nous allons essayer d'estimer les ressources totales en eau dans tous les versants environnants la plaine de Kerman. Les apports à la nappe seront donc une partie de ces ressources totales.

##### 6.2.7.1. Estimation des ressources totales en eaux

D'après les calculs de l'évapotranspiration réelle pour les différentes tranches d'altitude (chapitre : Eléments du bilan), nous pouvons déduire les ressources en eaux disponibles aussi bien pour le ruissellement que pour

l'infiltration pour les différentes tranches d'altitude.

Après déduction de l'évapotranspiration et en admettant qu'en dessous de l'altitude 2200 m la totalité des précipitations retourne à l'atmosphère par l'évapotranspiration.

On a les valeurs suivantes :

- De 2200 à 2400 m - les ressources sont d'environ 8 mm
- De 2400 à 2600 m - Les ressources sont d'environ 25 mm
- De 2600 à 2800 m - les ressources sont d'environ 30 mm
- De 2800 à 3000 m - les ressources sont d'environ 50 mm
- De 3000 à 3500 m - les ressources sont d'environ 100 mm
- De 3500 à 4000 m - les ressources sont d'environ 266 mm.

En considérant, les chiffres mentionnés et les bassins versants correspondant aux différentes altitudes pour les quatre versants environnants la plaine de Kerman, nous avons calculé les ressources en eaux :

Bassin de la plaine Nord

<u>Altitude</u>	<u>Surface Km<sup>2</sup></u>	<u>Lame d'eau I + R (mm)</u>	<u>Volume d'eau I + R ( m<sup>3</sup> )</u>
1700-2200	-	-	-
2200-2400	146	8	0.4 x 10 <sup>6</sup>
2400-2600	146	17	2.5 x 10 <sup>6</sup>
2600-3000	230	40	9.2 x 10 <sup>6</sup>

-----  
Total 12.1 x 10<sup>6</sup>  
=====

Bassin Sud-Est de la plaine

<u>Altitude</u>	<u>Surface Km<sup>2</sup></u>	<u>Lame d'eau I + R (mm)</u>	<u>Volume d'eau I + R (m<sup>3</sup>)</u>
1700-2200	-	-	-
2200-2400	131	8	1.1 x 10 <sup>6</sup>
2400-2600	86	17	1.5 x 10 <sup>6</sup>
2600-3000	220	40	8.8 x 10 <sup>6</sup>
3000-3500	140	100	14 x 10 <sup>6</sup>
3500-4000	80	266	21.3 x 10 <sup>6</sup>

-----  
Total: 47 x 10<sup>6</sup>  
=====

Bassin versant de la plaine ouest

<u>Altitude</u>	<u>Surface Km<sup>2</sup></u>	<u>Lame d'eau I + R (mm)</u>	<u>Volume d'eau I + R (m<sup>3</sup>)</u>
1700-2200	-	-	-
2200-2400	70	8	0.6 x 10 <sup>6</sup>
2400-2600	60	17	1.1 x 10 <sup>6</sup>
2600-3000	30	40	1.2 x 10 <sup>6</sup>

-----  
Total 2.9 x 10<sup>6</sup>  
=====

Bassin du Rud-é-Tchari

<u>Altitude</u>	<u>Surface Km<sup>2</sup></u>	<u>Lame d'eau I + R (mm)</u>	<u>Volume d'eau I + R (m<sup>3</sup>)</u>
1700-2200	-	-	-
2200-2400	96	8	0.8 x 10 <sup>6</sup>
2400-2600	41	17	0.7 x 10 <sup>6</sup>
2600-3000	310	40	12.5 x 10 <sup>6</sup>
3000-3500	130	100	13 x 10 <sup>6</sup>
3500-4000	90	266	24 x 10 <sup>6</sup>

-----  
Total 51 x 10<sup>6</sup>  
=====

Univ. J. Fourier - OS.U.G.  
MAISON DES GEOSCIENCES  
DOCUMENTATION  
F. 38041 B.P. 53  
TEL. 04 76 83 54 27 - Fax 04 76 51 40 58  
Mail: plalour@ujf-grenoble.fr

Donc toutes les ressources en eaux aussi bien infiltrées que ruissellées sur les versants de la plaine de Kerman sont estimées à  $113 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{an}$ .

6.2.7.2 Infiltration et apport à la nappe

- Infiltration directe des eaux sur les massifs rocheux perméables peut être évaluée à environ 35 % des ressources totales disponibles. Ceci est un chiffre qui a été estimé en moyenne pour les roches calcaires fissurées qui constituent la plupart des versants qui alimentent les nappes de Kerman.

- Le ruissellement des crues sera donc de 65 % des ressources totales. Cette part peut s'infiltrer par épandage sur les immenses cônes d'éboulis de bonne perméabilité qui font la transition entre les montagnes et la plaine. Cette proportion d'infiltration peut être importante. Par exemple, on a observé au cours d'une période pluvieuse de fin janvier - début février 1965, pendant laquelle les précipitations ont été en plaine de 100 mm en dix jours, que le ruissellement provenant du versant Est et atteignant la plaine était très faible. Nous avons observé que le ruissellement n'arrive que rarement à la plaine et il est vraisemblable qu'une proportion de 60 % du ruissellement des crues peut s'infiltrer dans les alluvions grossières des cônes d'éboulis et alimenter les nappes de la plaine.

- Si nous considérons que la somme des ressources totales calculée dans les différents bassins versants est de :  $113 \times 10^6 \text{ m}^3$ , nous pouvons déduire que :

- Infiltration directe :  $113 \times 10^6 \times 35 \% = 40 \times 10^6$

- Réinfiltration à partir du ruissellement des crues :  $(113 - 40) \times 10^6 \times 60 \% = 43.8 \times 10^6$

Donc :

Apport total à la nappe  $84 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{an}$ .

6.2.8. Sorties de la nappe aux exutoires

Nous savons que la nappe de la plaine de Kerman à deux exutoires :

- vers la zone ouest de la vallée de Baghein
- vers la zone nord de la vallée de Zarand

Pour déterminer le débit de l'écoulement souterrain à travers de ces deux exutoires, nous avons essayé de les calculer par la formule de DARCY :

$$Q = K \cdot S \cdot I = T \cdot L \cdot I$$

- d'où K : est la perméabilité
- S : est la surface de la section transversale de l'écoulement souterrain.
- I : est le gradient hydraulique.
- T : est la transmissivité
- L : est la longueur de la section transversale.

Le gradient hydraulique I est donné d'après le tracé des cartes piezométriques.

La transmissivité est déterminée par essai de pompage dans les zones intéressées.

La longueur de la section transversale est déterminée à l'aide des cartes piezométriques, des données des forages et des puits existants, la profondeur de la nappe dans la zone intéressée et les données de la carte géologique. Les calculs de débits à travers ces exutoires sont résumés dans le tableau.

Exutoire	T m <sup>2</sup> /sec.	Gradient hydraulique(I)	L m	Débit m <sup>3</sup>
Vallée de Zarand et Zangi-abad	6-7 x 10 <sup>6</sup>	1.5 x 10 <sup>-3</sup>	10.000	3 x 10 <sup>6</sup>
Vallée de Baghein	5.4 x 10 <sup>-2</sup>	3.5 x 10 <sup>-3</sup>	3700	22 x 10 <sup>6</sup>
				----- 25 x 10 <sup>6</sup> ou 800lit/s

CONCLUSION

- L'apport d'eau vers la nappe de la plaine de Kerman est estimé être au moins :  $84 \times 10^6$ .

- La nappe de Kerman donne un débit total de 800 lit./s aux exutoires ouest et nord.

- Les apports latéraux provenant de l'aval du massif de Badamou et du massif de Bidou fournissent un débit supplémentaire à la nappe des vallées de Zarand et de Baghein.

- Il faut noter que le débit "de fuite" dans la vallée de Baghein trouvé plus haut ne concerne que l'écoulement dans les alluvions récentes, mais, en réalité on doit tenir compte des débits passant dans les autres formations remplissant le val de Baghein. Si peu perméables que ces formations puissent être leur grande extension permet le passage d'un supplément de débit qu'il n'est pas possible de chiffrer dans l'état de notre étude.

6.3. ESSAI DE BILAN ET BALANCE HYDROLOGIQUE

Le calcul du bilan hydrologique est fait pour l'année 1972-1973, connaissant les apports d'une part, et les prélèvements d'autre part.

L'équation classique d'un bilan hydrologique peut s'écrire par la formule :

$$\pm \Delta V = Q_I + R - (Q_{II} + P + E_t + D)$$

où :

$Q_I$  : apports ou alimentation de la nappe

$Q_{II}$  : débit de la nappe aux exutoires.

R : réalimentation à partir des prélèvements effectués dans le bassin

P : prélèvement dans la nappe

D : drainage de la nappe par la rivière

$E_t$  : évaporation par la surface de la nappe

$\Delta V$  : variation des réserves de la nappe

6.3.1.  $Q_I$  ou apports

Ils sont déterminés suivant les données de la climatologie à  $84 \times 10^6 \text{ m}^3$  par an.

6.3.2.  $Q_{II}$  le débit aux exutoires

Ce débit a été calculé dans les vallées du Baghein et Zarand à un débit de pointe égal à 800 lit/s ou équivalent de  $25 \times 10^6 \text{ m}^3$  par an.

6.3.3. P prélèvement dans la nappe

Les prélèvements dans la nappe par le système des ghanates, forages et puits creusés à la main d'après les enquêtes sur tous les points d'eau sont estimés à  $145 \times 10^6 \text{ m}^3$  par an.

6.3.4. R. Réalimentation à partir des prélèvements

Nous avons constaté qu'une quantité de 5 à 15 % du volume total prélevé P pourrait réalimenter la nappe. Donc, nous aurons  $10 \times 10^6 \text{ m}^3$  par an pour la valeur de R, qui est estimée en moyenne à 11%

6.3.5. ET. évaporation par la surface de la nappe

Etant donné que la profondeur de la nappe de la plaine de Kerman est d'au moins 10 m en dessous de la surface, admettons qu'il n'y a aucune évaporation à partir de la surface de la nappe.

6.3.6. D. drainage de la nappe par la rivière

Dans la région étudiée, nous n'avons pas pu observer de signe que les eaux souterraines soient drainées par la rivière. Donc, cette valeur sera considérée comme zéro dans l'équation du Bilan.

6.3.7. V. variation des réserves

En appliquant les données numériques de la formule du Bilan, nous obtenons :

$$\Delta V = 84 \times 10^6 + 10 \times 10^6 - (25 \times 10^6 + 145 \times 10^6 + 0 + 0)$$

$$\Delta V = -76 \times 10^6 \text{ m}^3$$

On sait que  $\Delta V$  est fonction de la fluctuation de la surface de la nappe phréatique de la surface de la plaine intéressée par le Bilan et du coefficient d'emmagasinement.

Donc, on peut écrire que :

$$V = A \times \Delta h \times S$$

A : superficie de la zone intéressée par le Bilan.

$\Delta h$  : fluctuation de la hauteur de la nappe.

S : coefficient d'emmagasinement.

$$A \times \Delta h \times S = 76 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Nous pouvons donc essayer de retrouver à partir du bilan les valeurs du coefficient d'emmagasinement qui sont adaptées à la nature des sédiments de la plaine de Kerman et aux rabattements effectivement observés.

(A) Km <sup>2</sup>	S %	h cm
	2	300
1100	5	130
	10	65
	15	43

Il apparait donc que la valeur de S = 10 % qui se traduirait par un rabattement de 65 cm correspondrait mieux aux variations observées de la nappe que la valeur de S = 2 % que nous avons admise.

En fait, en raison de l'imprécision des données du Bilan, il nous semble raisonnable d'admettre que ce coefficient varie entre 2 et 10 %, ce qui coïncide avec les résultats obtenus par la méthode de Rorabaugh.

CONCLUSION

L'essai de Bilan Hydrologique de la plaine de Kerman nous permet de conclure :

- La nappe de la plaine de Kerman fournit à la vallée de Baghein un débit d'environ 700 lit. /s.
- Le débit de fuite vers le Nord -vallée de Zarand - est d'environ 100lit/s.
- Les apports latéraux provenant de l'aval de Kouh-é-Badamou et Kouh-é-Bidou fournissent un surcroit de débit. Une partie de ce débit est utilisée avec une portion du débit provenant de Baghein pour les besoins en eau de cette région.
- Les apports latéraux provenant de l'amont de Kouh-é-Badamou et de Kouh-é-Darmanou fournissent aussi un surcroit de débit. Les apports de Kouh -é-Darmanou diminuent le gradient de salinité surtout à l'Est de la plaine nord (Zarand).
- Les prélèvements actuels des eaux souterraines dans la plaine de Kerman sont plus élevés que les apports et donc que l'alimentation de la nappe, ce qui entraîne un rabattement de 60 cm par an. (Ceci est surtout visible dans la zone nord où il y a des fortes exploitations de la région).

## CHAPITRE VII

- Age des eaux - Analyses isotopiques
- Possibilités de recharge de la nappe
- Conclusion générale

## 7.1. ETUDE ISOTOPIQUE DES EAUX SOUTERRAINES

### 7.1.1. Introduction

Les études isotopiques dans les eaux souterraines sont très importantes pour connaître l'alimentation actuelle des nappes. En considérant que l'exploitation des eaux souterraines dans les régions arides et semi-arides est essentielle, le calcul du bilan hydrogéologique doit être fait en étroite relation avec la détermination de l'âge des eaux des nappes. L'étude des eaux souterraines doit donc être complétée par la connaissance de l'âge des eaux par l'utilisation des isotopes présents dans ces eaux.

### 7.1.2. Les isotopes utilisés dans les eaux

Les isotopes utilisés dans les eaux souterraines sont divisés en deux groupes :

- Les isotopes instables
- Les isotopes stables.

Les isotopes instables sont, soit les isotopes qui existent naturellement dans les eaux, ou les isotopes artificiels qu'on ajoute dans les eaux souterraines pour connaître le tracé du passage des eaux. Les isotopes instables sont le Tritium, le Carbone 14 et le Silicium 32. Ce sont des isotopes naturels mais actuellement leur abondance est surtout due aux réactions qui se produisent dans l'atmosphère lors des explosions thermonucléaires.

Le Tritium dans la molécule d'eau est sous forme de HTO.

Les isotopes qui sont stables, comme l'oxygène 18, le Deutérium H<sub>2</sub> ou D, se trouvent dans les eaux sous forme HDO ou H<sub>2</sub>O<sup>18</sup>.

Les isotopes du carbone sont le carbone 13 stable et le carbone 14 instable que l'on trouve dans les carbonates et bicarbonates. Les mesures du rapport isotopique du C 13 au C 12 peuvent compléter les études du C 14 dans les eaux souterraines.

La période du Tritium est de 12.3 années et la période du C 14 est de 5730 années.

En comparant le pourcentage de ces isotopes dans la pluie et dans les eaux souterraines, on peut déterminer l'âge des eaux souterraines.

Les analyses isotopiques pour ces études ont été effectuées dans le laboratoire du Ministère de l'eau et de l'électricité. Malheureusement, les seules analyses qui ont été faites concernent le C 14, à partir duquel on peut déterminer l'âge apparent des eaux de la nappe.

7.1.3. Echantillonnage

Les analyses des teneurs en C 14 ont été réalisées sur treize échantillons (fig. 32 ) prélevés aux environs de Kerman. Une liste des résultats de ces analyses est présentée dans le tableau VI.

L'âge apparent des eaux souterraines peut être calculé par la formule suivante :

$$t = 8033 \log_e \frac{A}{At}$$

- t : l'âge apparent
- 8033 : c'est une constante liée à la période du C 14
- At : est l'activité du C 14 de l'échantillon rapportée à l'activité du standard moderne.

C'est par cette méthode que l'âge apparent des eaux souterraines a été calculé en tenant compte du coefficient de correction déterminé à partir de la composition chimique des eaux.

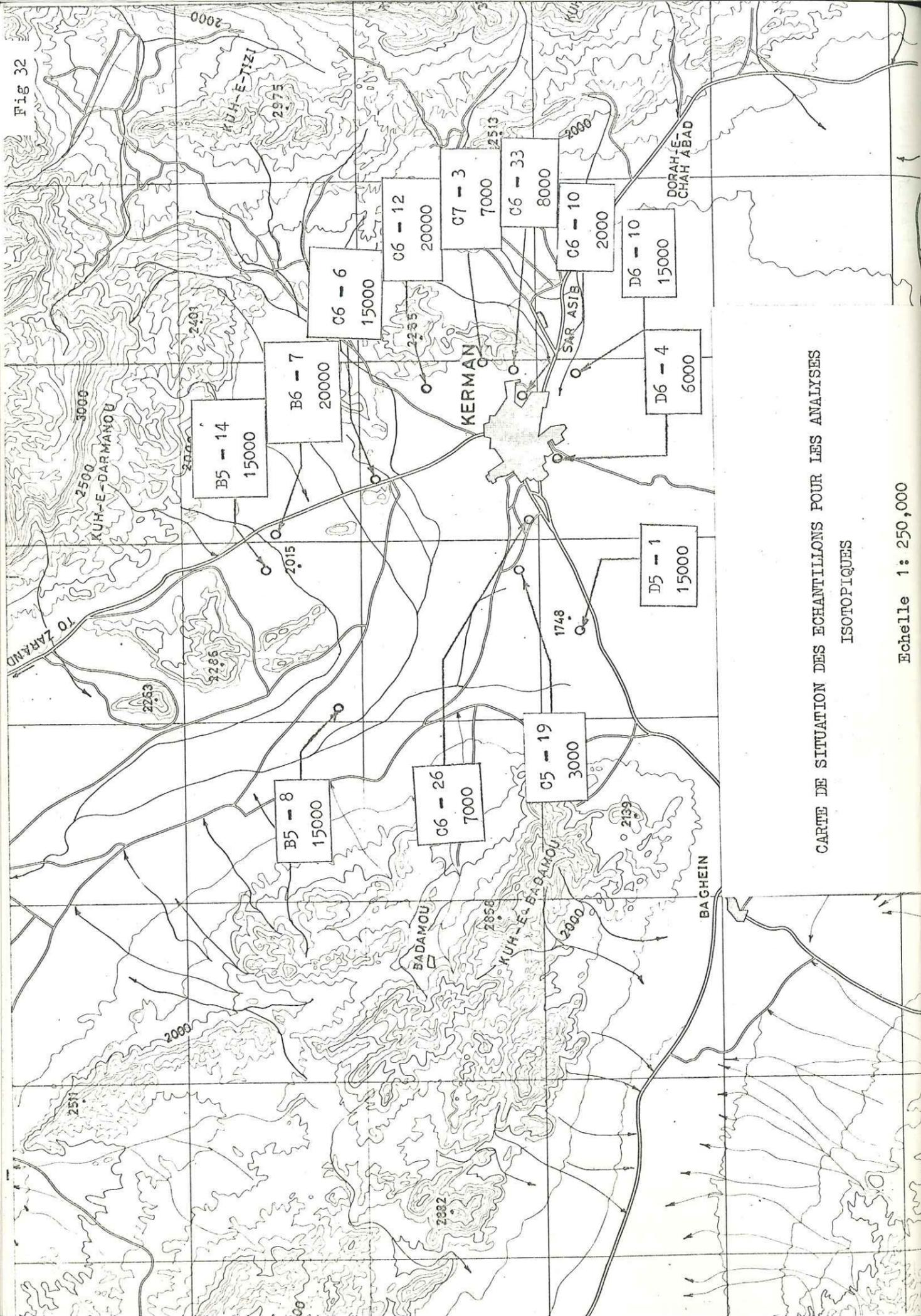
Les âges indiqués sur le tableau se répartissent en 3 groupes :

- Le premier qui correspond aux forages C6-10, C5-19 et D6-4, montre des âges compris entre 2000 et 6000 ans. Il s'agit de forages semi-profonds atteignant la nappe vers 5 à 6 mètres de profondeur et on a là des eaux qui résultent d'un mélange d'eaux anciennes avec une forte proportion d'eaux récentes ou peut-être aussi avec des eaux usées provenant des épandages de la ville de Kerman.
- Le deuxième groupe correspond lui aux forages C7-3, C6-33 et C6-26 qui sont des forages profonds (entre 70 et 100m) et dont les âges se situent au voisinage de 7000-8000 ans. Les eaux de ces forages résultent aussi semble-t-il d'un mélange entre des eaux récentes et des eaux anciennes en

TABEAU VI

Résultats des analyses des teneurs en C 14 des eaux de la nappe dans la région de Kerman.  
(Résultats des analyses chimiques en meq/lit.)

N° du puits	Type du puits	C14/C14 %	Age apparent par année	Cl <sup>-</sup>	HCO3 <sup>-</sup>	SO4 <sup>--</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	PH
C7-3	Forage	37.18	7000	-	-	-	-	-	-	-
C6-12	"	6.8	20000	2.79	5.1	4.3	3.91	4.02	4.16	7.69
D6-4	Semi-profond	42.49	6000	5.5	6.2	7	2	6.2	12	7.3
B6-1	Forage	8.57	20000	11	3.6	9.25	5.2	16.8	14.2	7
B5-8	"	13.77	15000	-	-	-	-	-	-	-
C6-33	"	32.53	8000	7.2	5.5	2.2	6	4	4.1	8
B5-14	"	10.3	15000	11.25	2.3	3.75	6.4	8	13.1	8
D5-1	"	15.62	15000	42.02	2.4	12.62	9.58	20.20	26.18	7.15
C5-19	Semi-profond	66.54	3000	-	-	-	-	-	-	-
D6-10	Forage	16.78	15000	3.75	2.7	3.8	2.8	4.8	4.6	7.8
C6-26	"	38.32	7000	-	-	-	-	-	-	-
C6-6	"	13.71	15000	5	4.9	2.6	3.4	4	9.5	7.7
C6-10	puits d'observation	74.37	2000	-	-	-	-	-	-	-



CARTE DE SITUATION DES ECHANTILLONS POUR LES ANALYSES ISOTOPIQUES

Echelle 1: 250,000

proportions à peu près égales et dans le cas des forages C7-3 et C6-33, les eaux récentes proviendraient d'une alimentation inapparente à partir des calcaires crétacés qui constituent les collines situées au N.E. de Kerman.

- Le troisième groupe correspond lui aux autres forages profonds dont les eaux ont des âges compris entre 15000 et 20000 ans qui sont celles de la nappe alluviale profonde qui ne paraît recevoir que très peu d'apports d'eaux récentes ou tout au moins ces apports ne représentent qu'une très faible proportion du volume de la nappe. L'âge voisin de 20000 ans de ces eaux anciennes implique une circulation très lente mais surtout que la constitution de la masse principale de la nappe remonte à une période pluvieuse très importante que l'on peut situer vers 20000 ou 23000 ans et qui est connue au Moyen-Orient et en Afrique Orientale.

Il aurait été intéressant pour être plus précis dans l'étude des eaux souterraines et de leur âge de disposer des analyses de teneurs en tritium ou en isotopes stables H2 et C 18, mais celles-ci n'ont pu être réalisées.

Les mesures de teneur en C 14 dont nous avons disposées, montrent toutefois que la nappe de Kerman est une nappe essentiellement formée d'eau ancienne et pour laquelle les apports d'eaux récentes bien que réels sont limités et ne compensent pas comme nous l'avons vu les prélèvements et les pertes par évapotranspiration ou écoulement vers l'aval.

C'est là un fait important à retenir pour l'exploitation de la nappe et qui doit rendre très prudent tant que l'on n'aura pas pu mieux préciser le volume exact des apports inapparents à la nappe à partir des massifs montagneux.

7.2. POSSIBILITES DE RECHARGE DE LA NAPPE

Nous avons vu précédemment que les chaînes de Mahan et les chaînes à l'Est de Kerman ont créé d'immenses cônes de déjection entre les montagnes et la plaine. La perméabilité des matériaux constituant les cônes de déjection est assez forte, ce qui permet l'infiltration des eaux de ruissellement. Nous pouvons constater que la proportion des eaux de ruissellement qui s'infiltrent peut être augmentée si le ruissellement est

ralenti dans les zones des cônes de déjection par la construction d'un système de barrages de 1 à 2 mètres de hauteur. Ces barrages peuvent freiner le ruissellement pendant suffisamment de temps pour que l'eau puisse s'infiltrer dans les alluvions. Cette méthode peut être appliquée, dans les vallées des oueds de Sekondje, de Dasgerd, de Hossein Abad et dans celles des oueds qui descendent du massif de Djoupar. Il est évident que dans l'état de cette étude, nous ne pouvons pas donner de précisions sur le résultat quantitatif de cette recharge de la nappe par alimentation artificielle, mais ceci pourrait être étudié par les spécialistes à l'aide de modèles mathématiques.

La possibilité de construction d'un barrage de réserve d'eau est aussi intéressante à étudier sur le cours de la rivière de Tchari. La topographie et la géologie du bassin de la rivière de Tchari permettent la construction d'un barrage en terre qui pourrait régulariser les eaux de ruissellement de l'ensemble du bassin versant de la rivière.

La possibilité de recharge par injection dans les forages doit être aussi étudiée avec précision.

Cette technique qui présente théoriquement le meilleur rendement car elle limite les pertes par évaporation, est cependant délicate à mettre en oeuvre car elle nécessite l'utilisation d'eaux exemptes de particules en suspension et surtout elle ne peut se réaliser de façon économique que si les couches injectées ont une bonne perméabilité, ce qui n'est que très rarement le cas dans la plaine de Kerman.

Il paraît donc raisonnable de prévoir dans un premier stade, la recharge artificielle de la nappe de la plaine à partir d'une série de petits barrages échelonnés sur les oueds descendant du massif bordant la plaine de Kerman à l'Est et du massif de Djoupar.

### 7.3. CONCLUSION GENERALE

La plaine de Kerman qui a une superficie de 2200 Km<sup>2</sup>, est située entre les chaînes intérieures occidentales et orientales de l'Atlas Iranien. Son remplissage est essentiellement formé de sédiments pliocènes et quaternaires.

L'ensemble des données climatiques permet d'attribuer à la région de Kerman un climat aride avec une pluviométrie moyenne qui ne dépasse que rarement 200 mm par an.

Les études géologiques et géophysiques ont permis de mettre en évidence :

- La fermeture de la plaine au Sud de Mahan par les chaînes de Sekondje et du massif de Djoupar.
- La nature variable du substratum qui est formé par le Pliocène ou le Crétacé suivant les secteurs.
- La nature du remplissage qui est très fine au centre de la plaine et plus au Nord, et qui est grossière dans les zones plus au Sud.
- La barrière créée par le massif de Badamou pour l'écoulement des eaux et l'existence entre ce massif et le Rud-é-Tchari d'une ligne de partage des eaux aussi bien de surface que souterraines.

L'alimentation en eau des nappes souterraines, assurée par un bassin versant peu pluvieux, s'effectue par l'infiltration des eaux météoriques dans les massifs rocheux perméables, et l'infiltration des eaux de crues et de ruissellement à leur arrivée dans les cônes de déjection en bordure de la plaine.

L'étude piezométrique a permis de préciser la direction du sens d'écoulement de la nappe des alluvions, ainsi que ses zones d'alimentation.

L'étude de la chimie des eaux a montré que les eaux souterraines de la plaine sont bicarbonatées sodiques à chlorurées sodiques suivant l'endroit.

La concentration en sels est largement variable puisqu'elle passe de 0,5 gr./lit. dans la plaine sud à plus de 5 gr./lit. dans la zone à l'Ouest de la ville de Kerman et aussi dans la vallée de Zarand.

L'augmentation est due d'une part, aux apports qui lessivent les terrains Oligo-Miocène salés, et d'autre part à l'effet de la circulation lente des eaux souterraines surtout dans la plaine nord et la plaine de Baghein.

Le calcul des ressources en eaux souterraines de la plaine a permis de déterminer les ressources régulatrices qui sont égales à :

$$13.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an},$$

et les réserves permanentes que l'on peut évaluer à :

$$2200 \times 10^6 \text{ m}^3.$$

Le calcul des volumes totaux des apports à la nappe de la plaine nous a permis de préciser que ce volume est de l'ordre de 60 % de celui des prélèvements actuels et du volume des fuites aux exutoires. Il y a donc un abaissement permanent de la nappe chaque année.

Il faut noter que dans notre calcul, nous avons évalué les apports à la nappe à leur valeur minimum. Celle-ci pourrait, en effet, être plus forte car le coefficient d'emmagasinement moyen des alluvions est très vraisemblablement plus fort que 2 % et peut être bien proche de 5 %.

En conséquence, dans l'essai de bilan hydrogéologique, la valeur des apports à la nappe doit être plus élevée que :  $84 \times 10^6 \text{ m}^3$  par an si l'on veut tenir compte des variations observées du niveau piézométrique.

Il faudrait disposer de données complémentaires pour améliorer la précision du bilan proposé et en particulier disposer de stations pluviométriques dans les montagnes, mieux connaître le taux d'infiltration dans les massifs rocheux et aussi celui de l'infiltration après ruissellement.

Du point de vue pratique, l'évaluation des ressources exploitables qui se résument aux réserves régulatrices et qui sont très faibles, doit nous rendre prudents sur les quantités d'eaux souterraines à exploiter dans l'avenir dans la région de Kerman, ce qui pourrait jouer un rôle très important dans la vie économique de la région. C'est pourquoi, il nous paraît indispensable de procéder à la recharge artificielle des

nappes à partir des eaux de crues en régularisant leur répartition à partir de barrages construits sur les oueds importants de la région.

L'étude présente l'intérêt de montrer les corrélations possibles entre les calculs des ressources à partir du bilan hydrologique et les calculs basés sur la reconnaissance ponctuelle systématique des caractéristiques des aquifères et des nappes.

La convergence des résultats obtenus est assez remarquable et confirme la nécessité de l'utilisation simultanée des deux méthodes qui permettent des ajustements successifs et que les méthodes isotopiques viennent renforcer.

On constate, en effet, que malgré l'absence d'analyses Tritium et  $^{18}\text{O}$  et  $\text{H}^2$ , les eaux sont des eaux anciennes et que comme dans toutes les zones arides ou semi-arides, l'exploitation se fait en majeure partie à partir d'eaux datant du Quaternaire relativement ancien. L'alimentation directe réelle reste faible et inférieure aux prélèvements et l'exploitation doit donc être limitée tant que l'on n'a pas déterminé l'existence d'apports depuis le Bed Rock où les infiltrations sont plus importantes et c'est dans cette voie que doivent s'engager les recherches en pays aride et spécialement dans les grandes plaines de comblement de l'Iran.

ANNEXE

- Relevés piezométriques de la nappe des alluvions de la plaine de Kerman.
- Caractéristiques résumées des points d'eau de la région de Kerman.
- Diagrammes logarithmiques.

RELEVES PIEZOMETRIQUES  
DE LA NAPPE PHREATIQUE DE LA PLAINE DE KERMAN

N° Ordre	N° du puits	Cote en m	Sep-Oct - 1973		Mars-Avril - 1973		Fluctuations de la nappe en cm
			Hm	N. P.	Hm	N. P.	
1		1727.79	24.45	1703.34	23.76	1704.03	69
2	5B - 3	1733.90	27.12	1706.78	25.95	1707.95	117
3	5B - 6	1736.42	31.83	1704.59	29.41	1707.01	242
4	4B - 8	1737.45	26.64	1710.81	25.73	1711.72	91
5	5C - 5	1739.14	23.36	1715.78	23.17	1715.97	19
6	5C - 1	1747.16	27.30	1719.86	26.52	1720.64	78
7	5C - 15	1726.67	29.95	1696.72	29.35	1697.32	60
8	5C - 16	1751.58	24.28	1727.30	24.10	1727.48	18
9	1D-4	1657.53	18.75	1638.78	18.64	1638.89	11
10	2D-5	1681.81	34.70	1647.11	34.57	1647.24	13
11	5D - 3	1746.651	19.75	1726.90	19.54	1727.11	21
12	5D - 7	1749.90	15.95	1733.95	15.52	1734.38	43
13	6B - 2	1772.44	41.51	1730.93	41.08	1731.36	43
14	6B - 7	1765.96	-	-	-	-	-
15	5C - 3	1718.00	26.61	1691.39	25.29	1692.71	32
16	5C - 7	1749.25	17.66	1731.59	17.48	1731.77	18
17	5C - 10	1763.66	39.43	1724.23	39.13	1724.53	30
18	6C - 5	1757.56	27.55	1730.01	27.09	1730.47	46

N° Ordre	N° du puits	Cote en m	Sep-Oct - 1973		Mars-Avril - 1973		Fluctuations de la nappe en cm
			Hm	N. P.	Hm	N. P.	
19	6-C12	1764.77	27.70	1737.07	27.40	1737.37	30
20	5C-4	1747.62	14.80	1732.82	14.26	1733.36	54
21	5C-2	1749.21	15.55	1733.66	15.34	1733.87	21
22	5C-12	1751.99	16.08	1735.91	15.25	1736.74	73
23	6C-1	1774.33	36.52	1737.81	36.18	1738.15	34
24	6C-5	1752.89	18.20	1734.69	17.94	1734.95	26
25	6C-10	1768.38	25.12	1743.26	24.20	1744.18	92
26	7C-17	1795.65	-	-	-	-	-
27	5D-2	1748.41	13.90	1734.51	13.44	1734.97	46
28	5D-9	1753.92	17.82	1736.10	17.31	1736.61	51
29	6D-12	1802.22	46.64	1755.58	45.80	1756.42	84
30	6D-16	1753.69	15.54	1738.05	15.13	1738.56	41
31	6D-15	-	33.83	-	33.12	-	71
32	7D-19	1777.25	28.40	1748.85	27.85	1749.40	75
33	-	1784.56	-	-	-	-	-
34	7D-4	1782.29	33.70	1748.59	33.43	1748.86	27
35	-	1784.56	34.52	1750.04	34.21	1750.35	21
36	-	1786.89	-	-	-	-	-

N° Ordre	N° du puits	Cote en m	Sep-Oct. - 1973		Mars-Avril - 1973		Fluctuations de la nappe en cm
			Hm	N. P.	Hm	N. P.	
37	ID-5	-	-	-	-	-	-
38	-	1674.12	26.10	1648.02	25.40	1648.72	70
39	2D-3	1679.39	27.64	1651.75	27.50	1651.89	14
40	2D-5	1683.58	29.32	1654.26	28.92	1654.66	40
41	2D-8	1684.38	29.70	1654.68	29.57	1654.81	13
42	4D-1	1746.67	19.50	1727.17	19.31	1727.36	19
43	3D-1	1697.69	33.72	1663.97	33.59	1664.10	13
44	3E-4	1705.82	35.91	1669.91	35.58	1670.24	33
45	3E-8	1713.32	40.96	1672.36	40.22	1673.10	74
46	4E-1	1751.76	32.70	1719.06	32.41	1719.35	29
47	4E-2	1732.63	23.85	1708.78	23.18	1709.45	67
48	-	1749.20	43.14	1706.06	42.70	1706.50	44
49	4E-1	1782.22	44.70	1737.52	43.77	1738.45	93
50	5E-2	1811.25	60.85	1750.40	59.82	1751.43	103
51	5E-1	-	-	-	-	-	-
52	5D-1	1754.50	23.46	1731.04	23.31	1731.19	15
53	6D-1	1762.75	19.95	1742.80	18.74	1764.01	121
54	6D-2	1779.20	27.32	1751.88	27.00	1752.20	32

N° Ordre	N° du puits	Cote en m	Sept-Oct. - 1973		Mars-Avril - 1973		Fluctuations de la nappe en cm
			Hm	N. P.	Hm	N. P.	
55	7E-1	1778.02	21.90	1756.12	21.34	1756.68	56
56	7D-1	1797.12	42.98	1754.14	42.80	1754.32	18
57	8D-1	1955.00	51.40	1903.60	51.10	1703.90	30
58	5E-1	1789.62	43.34	1746.28	41.68	1747.94	166
59	5E-4	1789.67	46.61	1743.06	45.74	1743.93	87
60	5E-3	1809.97	55.93	1754.04	54.76	1755.21	117
61	-	-	-	-	-	-	-
62	6E-2	1774.04	21.00	1753.04	20.90	1753.14	10
63	7E-5	1784.05	27.60	1755.45	27.30	1756.75	30
64	-	1792.54	37.85	1754.69	37.15	1755.39	70
65	7E-2	1787.90	41.55	1736.35	41.20	1746.70	0.35
66	7E-3	1804.28	46.05	1758.23	45.30	1758.98	75
67	8E-1	1910.40	68.22	1842.18	67.35	1843.05	87
68	5E-5	1811.25	60.85	1750.40	60.50	1750.75	35
69	6E-1	1797.47	41.26	1756.21	40.52	1756.95	74
70	7E-6	-	-	-	-	-	-
71	7E-4	1797.60	39.82	1757.78	39.35	1758.25	47
72	7E-3	1803.81	42.14	1761.67	41.60	1762.21	54

CARACTERISTIQUES RESUMES DES POINTS D'EAU

DE LA REGION DE KERMAN

Type de point d'eau : Nombre de points d'eau profonds des puits en m : Variation de la salinité des eaux en mg/l : Variation des débits en lit/s : Variation du niveau d'eau annuelle : Exploitation

Forages : 238 : 80 - 160 : 250 - 5000 : 3 - 58 : 15 - 100 : 112 x 10<sup>6</sup>

Forages semi-profonds : 100 : 20 - 50 : 650 - 4500 : 3 - 38 : 14 - 45 : 13 x 10<sup>6</sup>

Khanats : 38 : (puits mètres) 30 - 100 : 180 - 1500 : 3 - 120 : 28 - 115 : 20 x 10<sup>6</sup>

Sources : - : - : 400 - 1000 : - 160 : - : -

Fig. 25

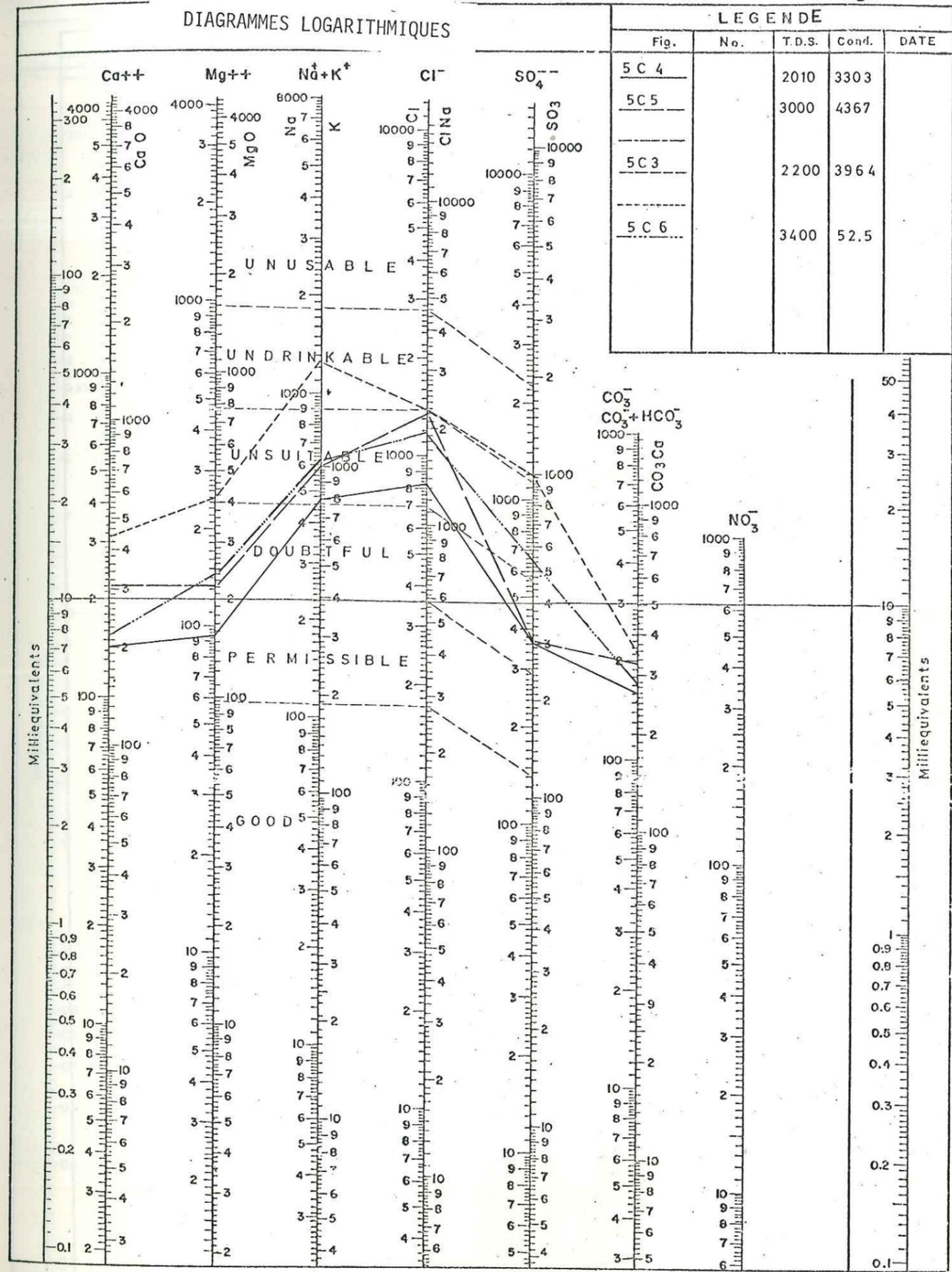


Fig. 26

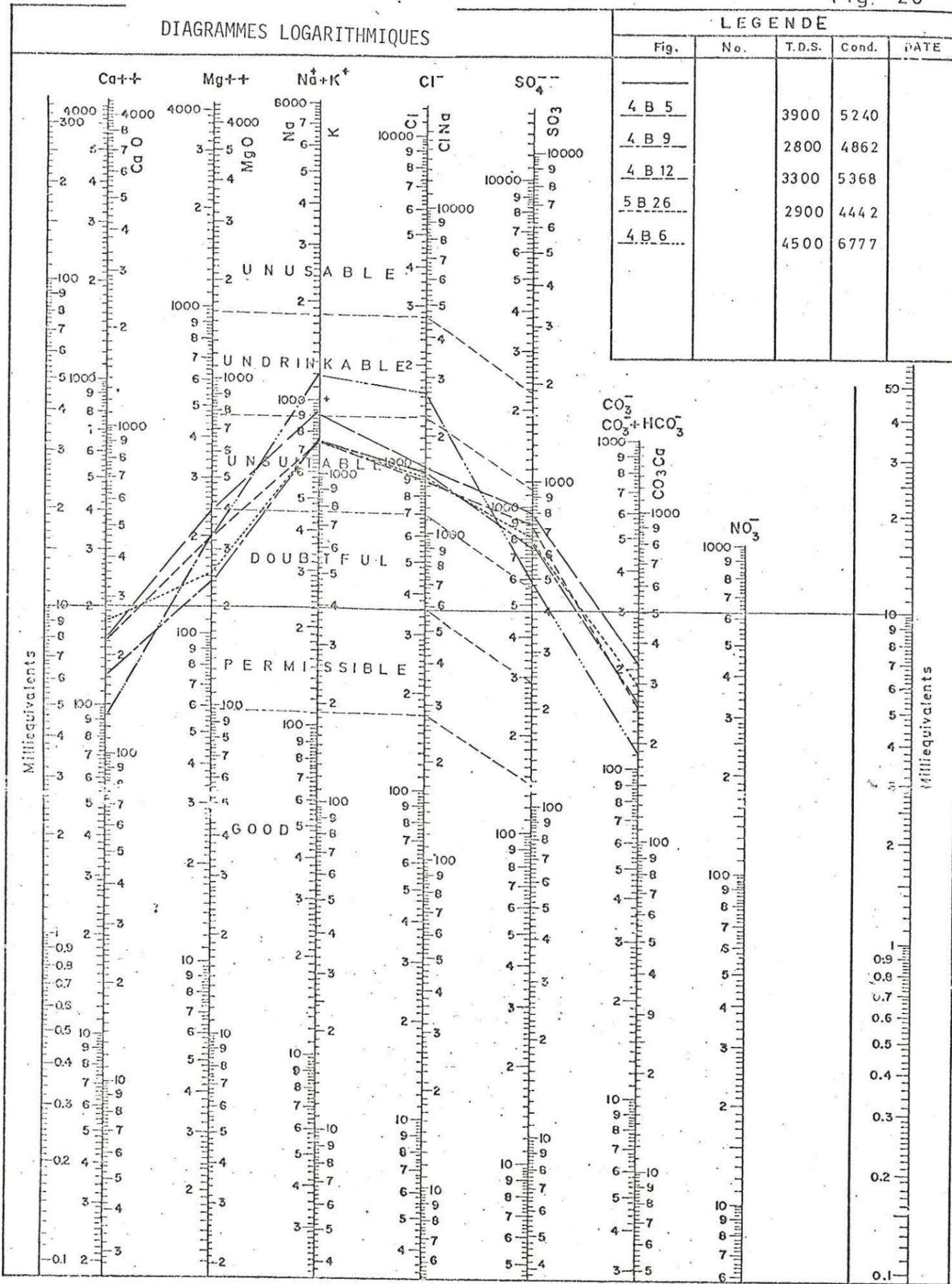


Fig. 27

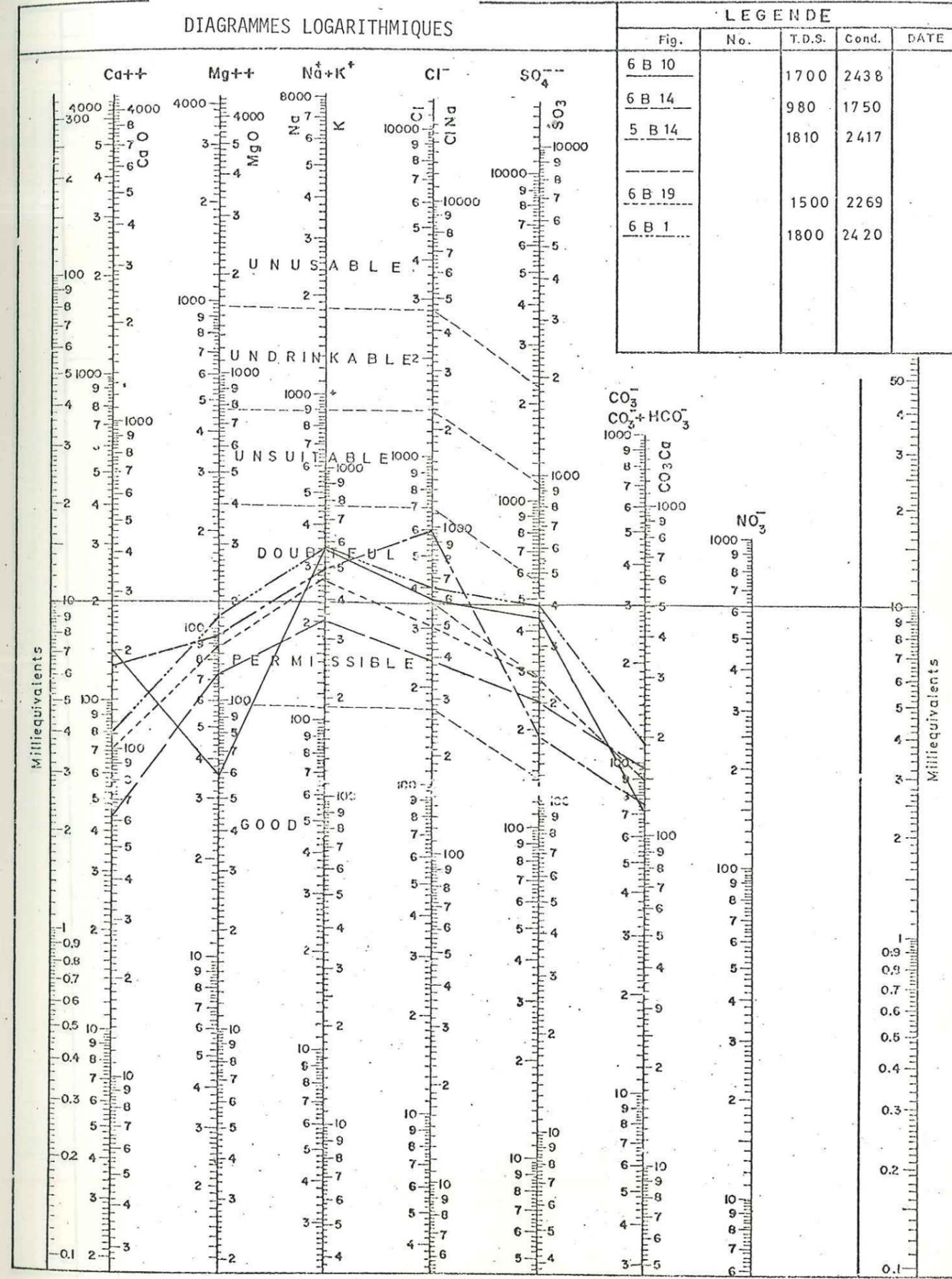


Fig. 28

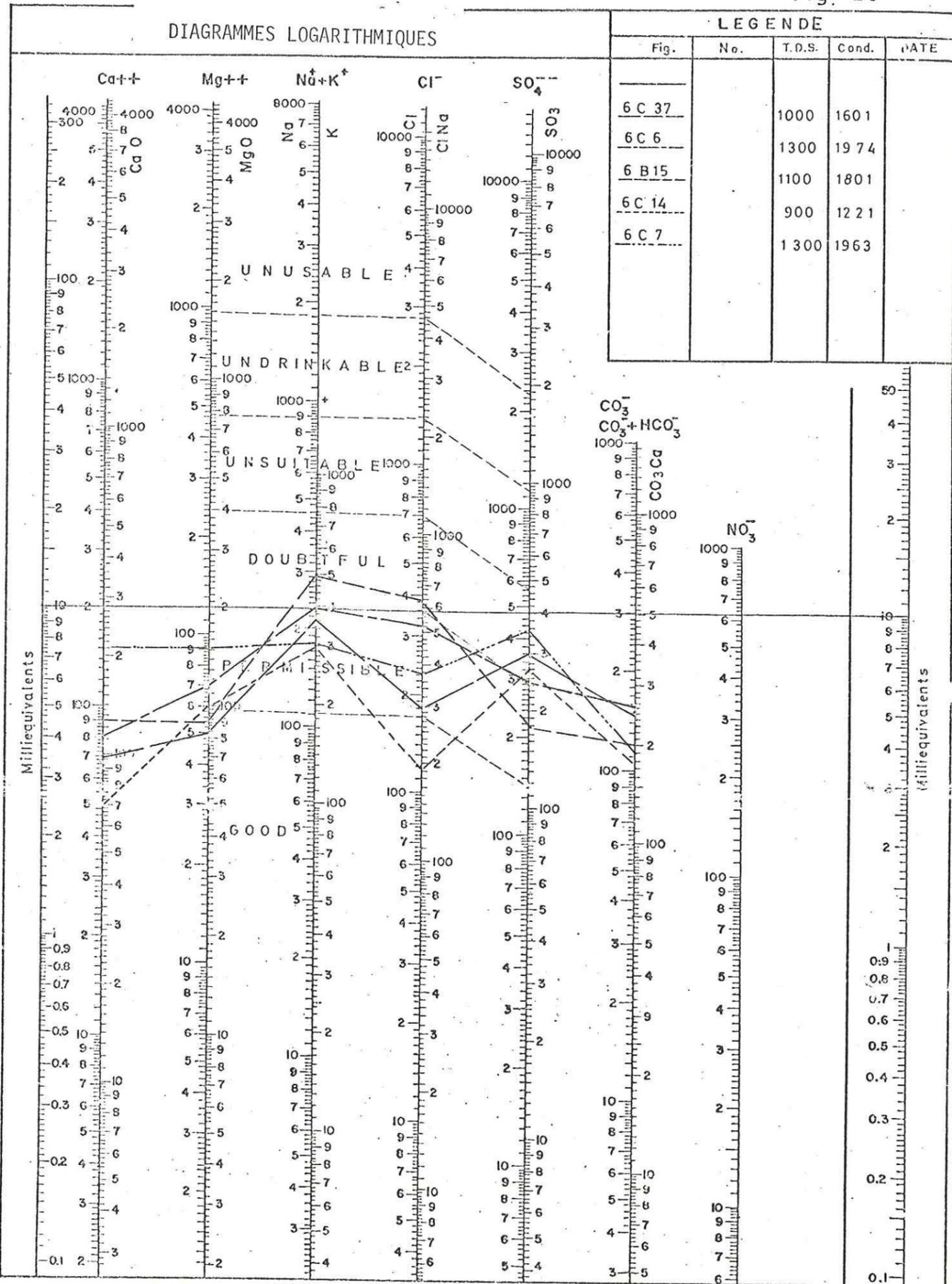


Fig. 29

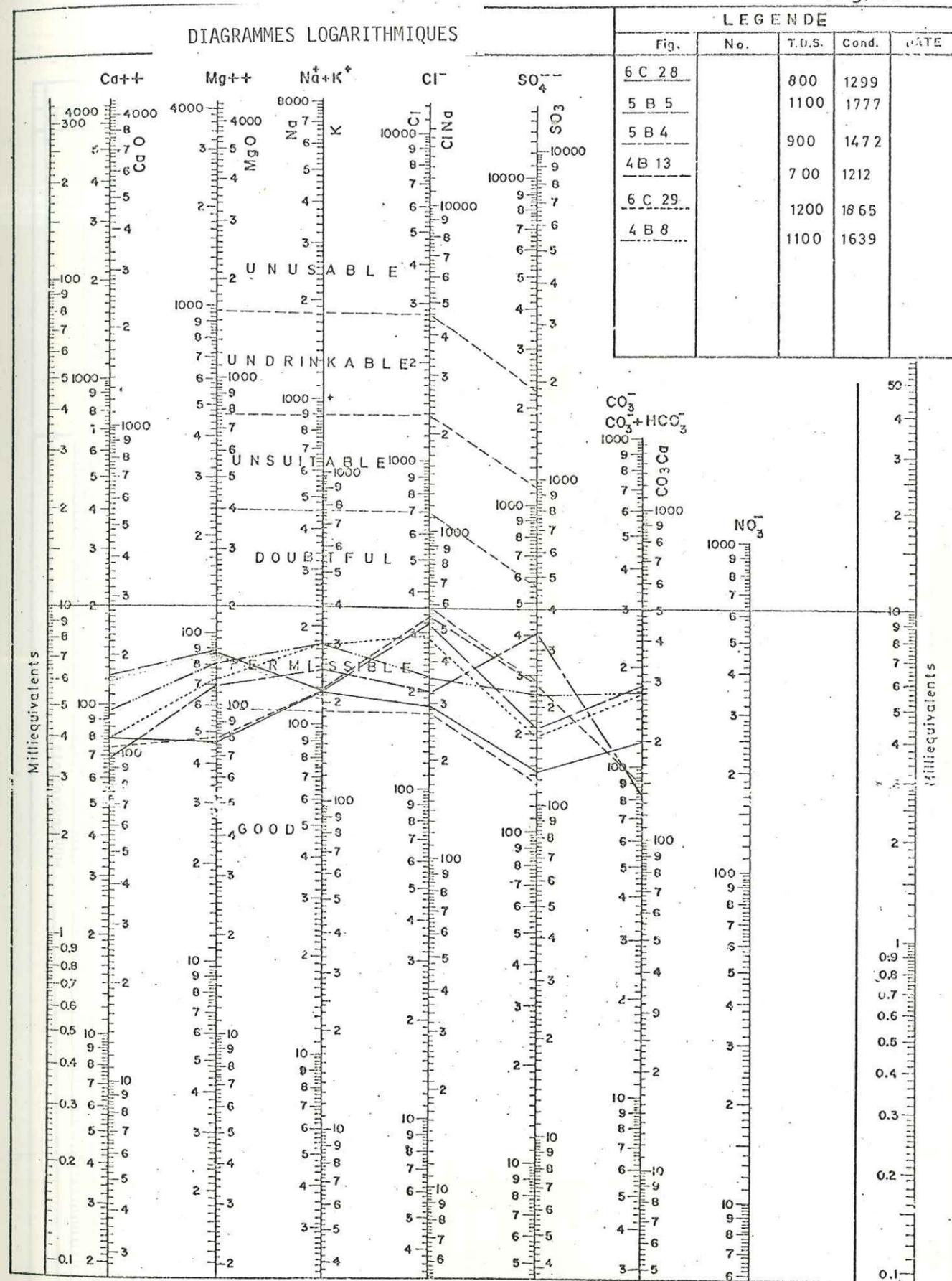


Fig. 29 a

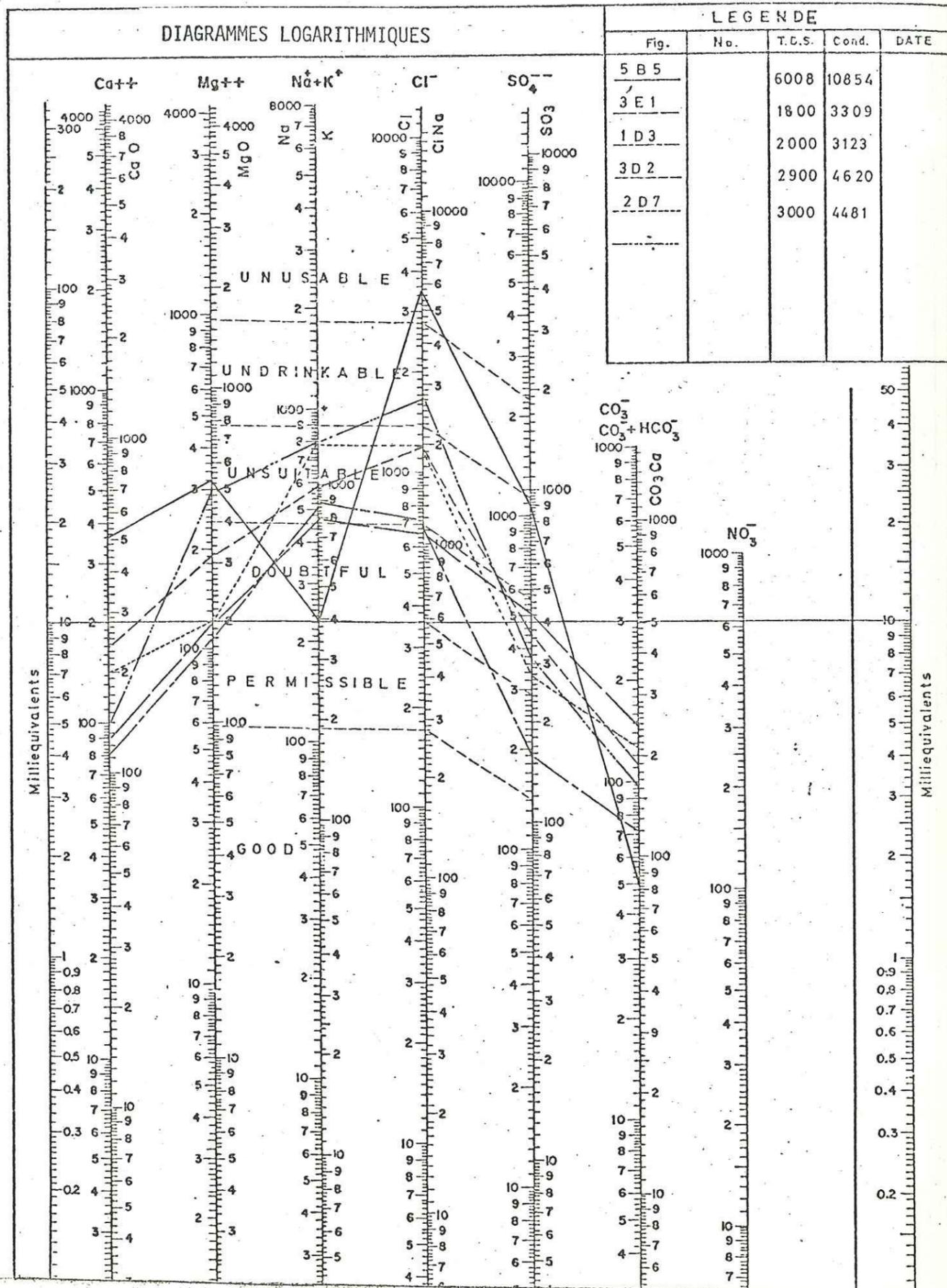
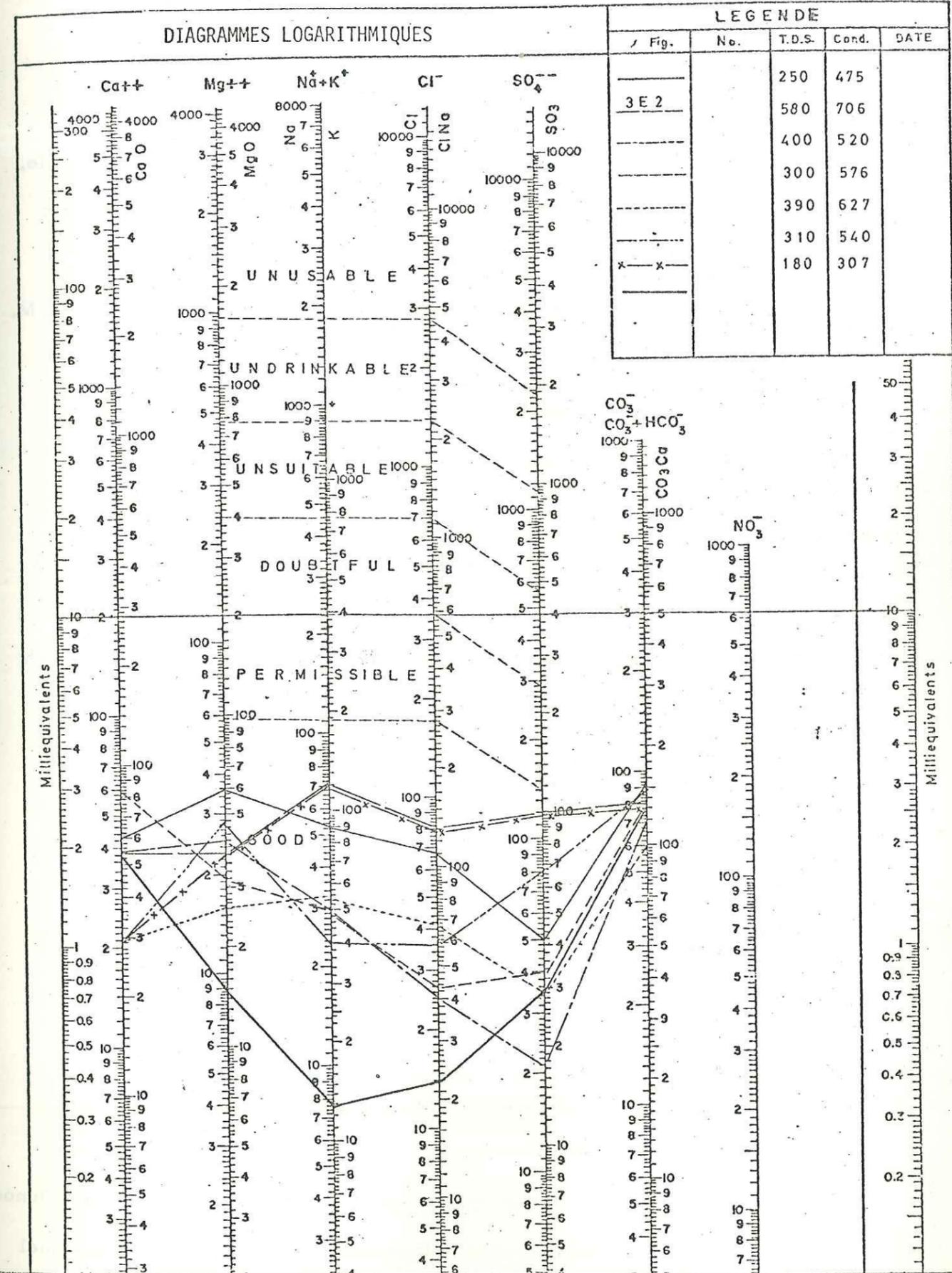


Fig. 29 b



BIBLIOGRAPHIE

- ABKAV - 1975 : - Rapport sur la possibilité d'alimentation d'eau disponible pour la ville de Kerman. (Rapport Farsi)
- ASTIER JL. : 1971. Géophysique Appliquée à l'Hydrogéologie. Masson et Cie.
- BAKALOWICZ M., OLIVE PH. 1970 : Teneurs en tritium des eaux du karst du Taurus occidental et de Pisidie (Turquie) Schweizerische Zeitschrift für hydrologie, vol. 32, p. 475-480.
- BERKALOFF E. 1970 : Interprétation des pompages d'essai - Bull. B.R.G.M. (2), 111-1.
- BIZE J., BOURGET L., LEMOINE J. 1972 : L'alimentation artificielle des nappes souterraines.
- BOGOMOLOV - 1962 : Hydrogéologie et Notion de Géologie de l'Ingénieur. Moscou.
- BOHNE E. - 1928 : Bericht über den weiteren Verlauf und das Ergebnis der Untersuchung sreise Kerman-Bafq.
- BOLOURCHI - 1975 : Etude Géologique de la région d'Avaj (NW de l'Iran).
- BONNET M. - 1970 : Critique de la notion d'essais de puits, Bull. B.R.G.M. 2, 111-1.
- BOZORGNIA R. - 1966 : Qum formation ; stratigraphy of the Central basin of Iran and its intercontinental position.
- BREMOND R. - 1965 : Contribution à l'interprétation des mesures de débits et de rabattements dans les nappes souterraines.
- B.R.G.M. : Bulletin B.R.G.M., Section III, Hydrogéologie, Variation des nappes.
- BURNOL L. - 1968 : Geological survey of Iran, report n° 11.
- CAMBEFORT H. : Curiosités des massifs alluvionnaires et des nappes d'eau Sol Expert International, Paris, 31 p., 49 fig.
- CAMBEFORT H. - 1971 : Géotechnique de l'ingénieur. Edit. : EYROLLES. Paris . 345 p.
- CASTANY G. - 1967 : Traité Pratique des Eaux Souterraines. Dunod Paris.
- CASTANY G. - 1968 : Prospection et Exploitation des Eaux Souterraines. Dunod.
- CASTILLO E. - 1972 : Modèle mathématique pour l'écoulement bidimensionnel à travers les massifs fissurés. International society for rock mechanics Proceeding symposium Stuttgart.

- C.G.G. - 1965 : Etude géophysique dans la plaine de Kerman (Ministère de l'eau - Iran).
- CHERNYSHEV S.N. - 1972 : Estimation de la perméabilité des roches jointives en massif, International society for rock mechanics Proceeding symposium Stuttgart.
- C.I.T.R.A. - 1965 : Rapport sur les forages - Reconnaissance dans la région de Kerman (Ministère de l'Eau, Iran).
- CLAPP F.G. - 1940 : Geology of Eastern - Iran. Bull. Soc. Amer., 51, n° 1.
- CONRAD G., FONTES J. - 1970 : Hydrologie isotopique du Sahara-Nord occidental, IAEA, Vienne.
- CRAIG H. - 1957 : Isotopie standards for Carbon and oxygene and correction factors for mass-spectrométrie analysis of Carbon dioxyde.
- CRAIG H. - 1961 : Isotopie variation in meteorie waters science, 133, 1702, 1703.
- DANSGAARDJW - 1964 : Stable isotope in précipitation - Tellus, 16, 436-468.
- DE BOCKH H., LEES G. et RICHARDSON F. : Contribution to the stratigraphy and Tectonics of the Iranian Ranges, in Gregory : Structure of Asia.
- DELLENBACH J. - 1964 : Contribution à l'étude géologique de la région située à l'Est de Téhéran, Iran.
- DERRUAU - 1962 : Précis de Géomorphologie, Masson et Cie. Paris.
- DERRUAU M. - 1967 : Précis de géomorphologie, Masson et Cie. Paris.
- DILIAGIO E., MYRVOLL F. - 1972 : Essais in situ pour la détermination de la perméabilité à l'eau et à l'air dans les masses rocheuses situées au voisinage d'ouvertures souterraines. International society for rock mechanics Proceeding symposium Stuttgart.
- DROGUE Cl. - 1963 : Essai de détermination des composants de l'écoulement des sources karstiques. Evaluation de la capacité de rétention par chenaux et fissures.
- DROGUE Cl. - 1969 : Contribution à l'étude quantitative des systèmes hydrologiques karstiques, d'après l'exemple de quelques karsts périméditerranéens.
- DULUC P. - 1973 : Etude hydrogéologique du bassin versant du petit Buech. Thèse 3e cycle. Université, Grenoble.
- ELBATTI D. - 1974 : Hydrogéologie de la plaine d'Enfidaville. Thèse 3e cycle Université, Grenoble.
- ENGALENC M. - 1967 : Aperçu sur l'hydrogéologie de Téhéran. Bull. Tech. et Biblio, Centre Français doc., Tech., Téhéran, Vol. VII.

- ENGALENC M. - 1968 - Contribution à l'étude géologique, géomorphologique et hydrogéologique de la région de Téhéran, Iran.
- FORKASIEWICZ J. 1970 - Etablissement du programme des pompages d'essai. Bull. B.R.G.M. (2), 111-1 1970.  
1970 - Guide bibliographique sur l'interprétation des données de pompages d'essai (évaluation des paramètres des aquifères). Bull. B.R.G.M. (2) 111-1.
- FOURMARIER - 1958 - Hydrogéologie, Masson et Cie. Paris.
- FURON R. et MARIE P. - 1939 : Sur la structure du plateau iranien. Evolution des zones géosynclinales. Axes tectoniques. C.R. Congrès Géol. Intern., Moscou, p. 84.
- FURON R. et MARIE P. 1941 : Géologie du plateau iranien. Mém. Mus. Nat., 7, p. 117-414.
- GANSSEER A. - 1955 : New aspects of the geology in central Iran. Proc. 4 th. World Petrol., Cong., Sect. I/A/5, Paper 2, 20p., ROME
- GELIS E. de - 1956 : Eléments d'hydraulique souterraine. S.G.M. Rabat (Maroc). Mem. n° 136.
- GEOLOGICAL survey of Iran - Tectonic map of Iran - 1971. - Compiled by STOCKLIN and NABAVI 1 : 2500000.
- GEOLOGICAL survey of 1973 : Exploration for ore Deposite in Kerman Région. Iran.
- GEOLOGICAL survey of 1973 : Geology of Kerman region . Iran.
- GUILCHER A. - 1965 : Précis d'hydrologie.
- FOROUGHHI H. - 1970 : Hydrogeological study of Kerman region (Rapport en persan).
- HADJIAN J. - 1970 : Géologie de la région de Tafresh (N.W de l'Iran Central) Thèse, Fac., Sci. Univ. LYON , 295 p.
- HUCKREIDE R. - 1962 : Zur Geologie des Gehites Zwischen Kerman - Sagand.
- IRANIAN METEOROLOGICAL - 1963-1973 : Meteorological year book Department.
- KIRALY L. - 1970 : L'influence de l'hétérogénéité et de l'anisotropie de la perméabilité sur les systèmes d'écoulement. - Bull. Ver Schweiz Petrol. u. Ing. vol. 37, n° 91, S. 50-57.
- KRINSLEY D. - 1970 : A geomorphological and Paleoclimatological study of the playas of Iran. US Geological Survey.
- LEPRIOL J. - 1974 : Etude hydrogéologique du bassin versant de la Bourbre. Thèse 3e cycle. Univ. Grenoble.

- LETIRONT P. , BARON G. - 1972 : Ecoulement dans les roches fissurées et contraintes effectives, application à la production d'hydrocarbures et à la fracturation hydraulique des réservoirs. Proceedings symposium Stuttgart. International society for rock mechanics.
- LETOURNEUR J. , MICHEL R. - 1971 : Géologie du Génie Civil. Librairie Armand Colin. Paris. 728 p.
- LINSLEY R.K., KOHLER M.A., PAULUS L.H. - 1958 : Hydrology for Engineers Mc Graw Hill, New York, 340p.
- MARGAT J. - 1963 : Applications des cartes hydrogéologiques à l'étude de la perméabilité et de la transmissivité des terrains aquifères. B.R.G.M. Méthodes d'études et de recherches des nappes aquifères. Publication B.R.G.M. 1962.
- MICHEL M. - 1971 : Hydrogéologie du bassin versant de Theys (Isère), Thèse 3e cycle. Univ. Grenoble.
- MIJATOVIC B. - 1974 : Détermination de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement par la courbe de tarissement dans les aquifères karstiques. Ass. Internationale des Hydrogéologues. Congrès de Montpellier. p. 225-230.
- OSCAR E., MEINZER - 1942 : Hydrology
- PILOT J. - 1974 : Les isotopes en géologie (Méthode d'application)
- ROUATBI R. - 1967 : Contribution à l'étude Hydrogéologique du Karst enterré de Gabès sud. BIRH. Thèse 3e cycle Montpellier.
- RORABAUGH M.I. and SIMONS W.D. - 1966 : Exploration of methods of relating ground water to surface water columbia river basin second phase : U.S. Geol. Survey open-file rept., 62 p.
- RORABAUGH M.I. - 1969 : Bulletin du B.R.G.M. - Section III.
- SARROT-REYNAULD J. - 1964 : Hydrogéologie karstique dans le massif du Vercors. Association internationale des hydrogéologues. Mémoires 5., réunion d'Athènes 1962, p. 321-329.
- SCHOELLER M. - 1948 : Le régime hydrogéologique des calcaires éocènes du synclinal de DYR al Kef (Tunisie). Soc. Geol. France. Bull. 5. V 18, p. 167-180.
- SCHOELLER M. - 1962 : Les eaux souterraines. Masson. Paris.
- SCHOELLER H. - 1956 : Géochimie des eaux souterraines. Technip Paris.
- SCHOELLER H. - 1959 : Hydrologie des régions arides. Progrès récents, U.N.E.S.C.O.
- SCHOELLER H. - 1967 : Hydrodynamique dans le Karst (écoulement et emmagasinement) Internat. Assoc. Sci. hydrolog. Pub. 73, p. 3-20.

- SCHOELLER H. - 1974 : Les conditions de circulation dans les calcaires, capacité d'ingestion, capacité d'infiltration Ass. Internationale des hydrogéologues. Montpellier. p. 251-252.
- SOGREAH - 1965 : Rapport sur l'étude de développement de l'utilisation des eaux dans la zone de Kerman.
- STOCKLIN J. - 1968 : Structural history and tectonics of Iran : a review A. A. P. G. Bull., 1968, n° 7, p. 1229-1258.
- STOCKLIN J. - 1971 : Stratigraphy lexicon of Iran, Part 1 : Central, North and East Iran. Survey Iran, Rep. n° 18.
- TODD K. - 1959 : Ground water hydrology. Wiley, New York 336.
- TRON L., MARCE A., OLIVE Ph., SARROT-REYNAULD J., JAMIER D. - 1975: Apports des analyses isotopiques à l'étude d'un bassin expérimental : le bassin de Saint-Genis (Hautes-Alpes). 400e Congrès Sociétés Savantes - Paris.
- TRUPIN G. - 1964 : Manuel pratique d'essais de pompage. B. R. G. M. Paris pp. 90-185.
- TULLSTROM H. - 1964 : Reconnaissance of the geology and ground water of Kerman Bafq Basin.
- UNGEMACH P., ROGNON Ph. - 1970 : Remarques concernant l'exploitation des séquences cycliques de pompage. Bull. B. R. G. M. (2) 111-1.
- VENZLAFF H. - 1961 : Kohlenlagerstätten Eisenerlagerstätten und Hydrogeologische verhältnisse des Kerman.
- VINTER J. 1973 : Etude hydrogéologique du synclinal d'Autrans-Méaudre, massif du Vercors. Thèse 3e cycle. Univ. Grenoble.
- VISTAMEHRE H. - 1972 : Etude hydrogéologique du bassin versant de Zayanderud, Iran, Thèse, Montpellier.

Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le

Le Président de la thèse

Robert MICHEL

VU, et permis d'imprimer,

Grenoble, le

Le Président de l'Institut  
National Polytechnique

Philippe Traynard

Le Président de l'Université  
Scientifique et Médicale

Gabriel CAU

