Alimentation en eau d'aquifères hétérogènes en pays aride : caractéristiques hydrodynamiques et bilan hydrogéologique de la région de Fassa (Iran)

Nasser Khiabani Dalili

▶ **To cite this version:**

Nasser Khiabani Dalili. Alimentation en eau d'aquifères hétérogènes en pays aride : caractéristiques hydrodynamiques et bilan hydrogéologique de la région de Fassa (Iran). Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1978. Français. NNT : . tel-00744034

HAL Id: tel-00744034

https://theses.hal.science/tel-00744034

Submitted on 22 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.

205.148 Dal 16
1373
135

N° d'ordre :

265112
1978
133

B.U.S. GRENOBLE
D 052 084564 9

THESE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR INGÉNIEUR

(Hydrogéologie)

par

Nasser KHIABANI-DALILI
Ingénieur de l'Institut d'Hydrogéologie de l'Iran
Faculté Technique, Université de Téhéran

ALIMENTATION EN EAU D'AQUIFERES HETEROGENES EN PAYS ARIDE

CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES ET BILAN HYDROGÉOLOGIQUE DE LA RÉGION DE FASSA (IRAN)

Soutenue le 30 septembre 1978 devant la Commission d'Examen

R	BARBIER	Professeur à l'USMG	Président
G	CASTANY	Professeur à l'Université Paris VI Conseiller scientifique au BRGM	Examinateur
R	MICHEL	Professeur à l'USMG	Examinateur
I	SARROT-REYNAULD	Professeur à l'USMG Directeur de la thèse	Rapporteur

N° d'ordre :

205142
1978
135

THESE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR INGÉNIEUR

(Hydrogéologie)

par

Nasser KHIABANI-DALILI

Ingénieur de l'Institut d'Hydrogéologie de l'Iran
Faculté Technique, Université de Téhéran

BIBLIOTHÈQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

ALIMENTATION EN EAU D'AQUIFERES HETEROGENES EN PAYS ARIDE

CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES ET BILAN HYDROGÉOLOGIQUE DE LA RÉGION DE FASSA (IRAN)

T.78/425

Soutenue le 30 septembre 1978 devant la Commission d'Examen

R	BARBIER	Professeur à l'USMG	Président
G	CASTANY	Professeur à l'Université Paris VI Conseiller scientifique au BRGM	Examinateur
R	MICHEL	Professeur à l'USMG	Examinateur
J	SARROT-REYNAULD	Professeur à l'USMG Directeur de la thèse	Rapporteur

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE
ET MEDICALE DE GRENOBLE

Monsieur Gabriel CAU : Président
Monsieur Joseph KLEIN : Vice-Président

MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT de l'U.S.M.G.

PROFESSEURS TITULAIRES.

MM	AMBLARD Pierre	Clinique de dermatologie
	ARNAUD Paul	Chimie
	ARVIEU Robert	I.S.N.
	AUBERT Guy	Physique
	AYANT Yves	Physique approfondie
Mme	BARBIER Marie-Jeanne	Electrochimie
MM.	BARBIER Jean-Claude	Physique Expérimentale
	BARBIER Reynold	Géologie appliquée
	BARJON Robert	Physique nucléaire
	BARNOUD Fernand	Biosynthèse de la cellulose
	BARRA Jean-René	Statistiques
	BARRIE Joseph	Clinique chirurgicale A
	BEAUDOING André	Clinique de Pédiatrie et Puériculture
	DELORIZKY Elie	Physique
	BERNARD Alain	Mathématiques Pures
Mme	BERTRANDIAS Françoise	Mathématiques Pures
MM.	BERTRANDIAS Jean-Paul	Mathématiques Pures
	BEZES Henri	Clinique chirurgicale et Traumatologie
	BLAMBERT Maurice	Mathématiques Pures
	BOLLIET Louis	Informatique (IUT B)
	BONNET Jean-Louis	Clinique Ophtalmologique
	BONNET-EYMARD Joseph	Clinique Hépato-gastro-entérologique
Mme	BONNIER Marie-Jeanne	Chimie générale
MM.	BOUCHERLE André	Chimie et Toxicologie
	BOUCHEZ Robert	Physique nucléaire
	BOUSSARD Jean-Claude	Mathématiques appliquées
	BOUTET DE MONVEL Louis	Mathématiques Pures
	BRAVARD Yves	Géographie
	CABANEL Guy	Clinique rhumatologique et hydrologique
	CALAS François	Anatomie
	CARLIER Georges	Biologie végétale
	CARRAZ Gilbert	Biologie animale et pharmacodynamie
	CAU Gabriel	Médecine légale et toxicologie
	CAUQUIS Georges	Chimie organique
	CHABAUTY Claude	Mathématiques Pures
	CHARACHON Robert	Clinique Oto-rhino-laryngologique
	CHATEAU Robert	Clinique de neurologie
	CHIBON Pierre	Biologie animale
	COEUR André	Pharmacie chimique et chimie analytique
	COUDERC Pierre	Anatomie pathologique
	DEBELMAS Jacques	Géologie générale
	DEGRANGE Charles	Zoologie
	DELORMAS Pierre	Pneumophtisiologie

../..

MM.	DEPORTES Charles	Chimie minérale
	DESRE Pierre	Métallurgie
	DODU Jacques	Mécanique appliquée (IUT I)
	DOLIQUE Jean-Michel	Physique des plasmas
	DREYFUS Bernard	Thermodynamique
	DUCROS Pierre	Cristallographie
	FONTAINE Jean-Marc	Maths pures .
	GAGNAIRE Didier	Chimie Physique
	GALVANI Octave	Mathématiques pures
	GASTINEL Noël	Analyse numérique
	GAVEND Michel	Pharmacologie
	GEINDRE Michel	Electroradiologie
	GERBER Robert	Mathématiques pures
	GERMAIN Jean-Pierre	Mécanique
	GIRAUD Pierre	Géologie
	JANIN Bernard	Géographie
	FAHANE André	Physique générale
	KLEIN Joseph	Mathématiques pures
	KOSZUL Jean-Louis	Mathématiques pures
	KRAVTCHENKO Julien	Mécanique
	LACAZE Albert	Thermodynamique
	LACHARME Jean	Biologie végétale
Mme	LAJZEROWICZ Janine	Physique
MM.	LAJZEROWICZ Joseph	Physique
	LATREILLE René	Chirurgie générale
	LATURAZE Jean	Biochimie Pharmaceutique
	LAURENT Pierre	Mathématiques appliquées
	LEDRU Jean	Clinique médicale B
	LE ROY Philippe	Mécanique (IUT I)
	LLIBOUTRY Louis	Géophysique
	LOISEAUX Jean-Marie	Sciences nucléaires
	LONGEQUEUE Jean-Pierre	Physique nucléaire
	LOUP Jean	Géographie
Mlle	LUTZ Elisabeth	Mathématiques pures
MM.	MALINAS Yves	Clinique obstétricale
	MARTIN-NOEL Pierre	Clinique cardiologique
	MAYNARD Roger	Physique du solide
	MAZARE Yves	Clinique Médicale A
	MICHEL Robert	Minéralogie et Pétrographie
	NICOUD Max	Clinique Maladies infectieuses
	NOURIQUAND Claude	Histologie
	MOUSSA André	Chimie nucléaire
	NEGRE Robert	Mécanique
	NOZIERES Philippe	Spectrométrie Physique
	OZENDA Paul	Botanique
	PAYAN Jean-Jacques	Mathématiques pures
	PERAY-PEYPOULA Jean-Claude	Physique
	PERRET Jean	Séméiologie Médicale (Neurologie)
	RASSAT André	Chimie systématique
	RENARD Michel	Thermodynamique
	REVOL Michel	Urologie
	RINALDI Renaud	Physique
	DE ROUGEMONT Jacques	Neuro-Chirurgie
	SARRAZIN Roger	Clinique chirurgicale B
	SEIGNEURIN Raymond	Microbiologie et Hygiène
	SENGEL Philippe	Zoologie
	SIBILLE Robert	Construction mécanique (IUT I)
	SOUTIF Michel	Physique générale
	TANCHE Maurice	Physiologie

../...

MM.	VAILLANT François	Zoologie
	VALENTIN Jacques	Physique Nucléaire
Mme	VERAIN Alice	Pharmacie galénique
MM.	VERAIN André	Physique Biophysique
	VEYRET Paul	Géographie
	VIGNAIS Pierre	Biochimie médicale

PROFESSEURS ASSOCIES

MM.	CRABBE Pierre	CERMO
	SUNIER Jules	Physique

PROFESSEURS SANS CHAIRE

Mlle	AGNIUS-DELORD Claudine	Physique pharmaceutique
	ALARY Josette	Chimie analytique
MM.	AMBROISE-THOMAS Pierre	Parasitologie
	ARMAND Gilbert	Géographie
	BENZAKEN Claude	Mathématiques appliquées
	BIAREZ Jean-Pierre	Mécanique
	BILLET Jean	Géographie
	BOUCHET Yves	Anatomie
	BRUGEL Lucien	Energétique (IUT I)
	BUISSON René	Physique (IUT I)
	BUTEL Jean	Orthopédie
	COUFN-ARDAD Jean-Pierre	Spectrométrie physique
	COLOMB Maurice	Biochimie médicale
	CONTE René	Physique (IUT I)
	DELOBEL Claude	M.I.A.G.
	DEPASSEL Roger	Mécanique des fluides
	GAUTRON René	Chimie
	GIDON Paul	Géologie et Minéralogie
	GLENAT René	Chimie organique
	GROULADE Joseph	Biochimie médicale
	HACQUES Gérard	Calcul numérique
	HOLLARD Daniel	Hématologie
	HUGONOT Robert	Hygiène et Médecine préventive
	IDELMAN Simon	Physiologie animale
	JOLY Jean-René	Mathématiques Pures
	JULLIEN Pierre	Mathématiques Appliquées
Mme	KAHANE Josette	Physique
MM.	KRAKOWIACK Sacha	Mathématiques Appliquées
	KUHN Gérard	Physique (IUT I)
	LUU DUC Cuong	Chimie organique Pharmacie
	MICHOULIER Jean	Physique (IUT I)
Mme	MINIER Colette	Physique (IUT I)
MM.	PELMONT Jean	Biochimie
	PERRIAUX Jean-Jacques	Géologie et Minéralogie
	PFISTER Jean-Claude	Physique du solide
Mlle	PIERY Yvette	Physiologie animale

MM.	RAYNAUD Hervé	M.I.A.G.
	REBECQ Jacques	Biologie (CUS)
	REYMOND Jean-Charles	Chirurgie générale
	RICHARD Lucien	Biologie végétale
Mme	RINAUDO Marguerite	Chimie macromoléculaire
MM.	SARROT-REYNAULD Jean	Géologie
	SIROT Louis	Chirurgie générale
Mme	SOUTIF Jeanne	Physique générale
MM.	STIEGLITZ Paul	Anesthésiologie
	VIALON Pierre	Géologie
	VAN CUTSEM Bernard	Mathématiques appliquées

MAITRES DE CONFERENCES ET MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

MM.	ARMAND Yves	Chimie (IUT I)
	BACHELOT Yvan	Endocrinologie
	BARGE Michel	Neuro-chirurgie
	BEGUIN Claude	Chimie organique
Mme	BERIEL Hélène	Pharmacodynamie
MM.	BOST Michel	Pédiatrie
	BOUCHARLAT Jacques	Psychiatrie adultes
Mme	BOUCHE Liane	Mathématiques (CUS)
MM.	BRODEAU François	Mathématiques (IUT B) (Personne étrangère habilitée à être directeur de thèse).
	BERNARD Pierre	Gynécologie
	CHAMBAZ Edmond	Biochimie médicale
	CHAMPETIER Jean	Anatomie et organogénèse
	CHARDON Michel	Géographie
	CHERADAME Hervé	Chimie papetière
	CHIAVERINA Jean	Biologie appliquée (EFP)
	COLIN DE VERDIERE Yves	Maths pures
	CONTAMIN Charles	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
	CORDONNIER Daniel	Néphrologie
	COULOMB Max	Radiologie
	CROUZET Guy	Radiologie
	CYROT Michel	Physique du solide
	DENIS Bernard	Cardiologie
	DOUCE Roland	Physiologie végétale
	DUSSAUD René	Mathématiques (CUS)
Mme	ETERRADOSSI Jacqueline	Physiologie
MM.	FAURE Jacques	Médecine légale
	FAURE Gilbert	Urologie
	GAUTIER Robert	Chirurgie générale
	GIDON Maurice	Géologie
	GROS Yves	Physique (IUT I)
	GUIGNIER Michel	Thérapeutique
	GUITTON Jacques	Chimie
	HICTER Pierre	Chimie
	JALBERT Pierre	Histologie
	JUNIEN-LAVILLAVROY Claude	O.R.L.
	KOLODIE Lucien	Hématologie
	LE NOC Pierre	Bactériologie-virologie
	MACHE Régis	Physiologie végétale
	MAGNIN Robert	Hygiène et médecine préventive
	MALLION Jean-Michel	Médecine du travail

../...

MM.	MARECHAL Jean	Mécanique (IUT I)
	MARTIN-BOUYER Michel	Chimie (CUS)
	MASSOT Christian	Médecine interne
	NEMOZ Alain	Thermodynamique
	NOUGARET Marcel	Automatique (IUT I)
	PARAMELLE Bernard	Pneumologie
	PECCOUD François	Analyse (IUT B) (Personnalité étrangère habilitée à être directeur de thèse).
	PEFFEN René	Métallurgie (IUT 1)
	PERRIER Guy	Géophysique-Glaciologie
	PHELIP Xavier	Rhumatologie
	RACHAIL Michel	Médecine Interne
	RACINET Claude	Gynécologie et Obstétrique
	RAMBAUD Pierre	Pédiatrie
	RAPHAEL Bernard	Stomatologie
Mme	RENAUDET Jacqueline	Bactériologie (Pharmacie)
	ROBERT Jean-Bernard	Chimie-Physique
	ROMIER Guy	Mathématiques (IUT B) (Personnalité étrangère habilitée à être directeur de thèse.)
	SAKAROVITCH Michel	Maths appliquées
	SCHWERER René	Cancérologie
Mme	SEIGLE-MURANDI Françoise	Cryptogamie
	STOEBNER Pierre	Anatomie Pathologie
	STUTZ Pierre	Mécanique
	VROUSOS Constantin	Radiologie

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES.

MM.	DEVINE Roderick	Spectro Physique
	KANEKO AKIRA	Maths pures
	JOHNSON Thomas	Maths appliquées
	RAY Tuhina	Physique

MAITRE DE CONFERENCES DELEGUE

M.	ROCHAT Jacques	Hygiène et Hydrologie (Pharmacie)

Fait à SAINT MARTIN D'HERES, NOVEMBRE 1977

A mes filles

SOMMAIRE

Pages

AVANT-PROPOS

CHAPITRE I - Introduction..... 1

CHAPITRE II - Aspects hydrologiques de la région de Fassa

Principaux facteurs : Pluviométrie, Température, Evaporation et évapotranspiration, Humidité atmosphérique, Les gelées, La neige, Détermination de la lame d'eau précipité, bilan hydrologique..... 15

CHAPITRE III - Situation géologique du bassin versant de la région de Fassa : Stratigraphie, Tectonique, Paléogéographie, Caractéristiques hydrogéologiques des diverses formations 57

CHAPITRE IV - Etude générale des alluvions par prospection géophysique. 87

CHAPITRE V - Les forages de reconnaissance sur les alluvions du bassin versant et les essais de pompage..... 111

CHAPITRE VI - Détermination des caractères hydrodynamiques des aquifères de la région..... 143

CHAPITRE VII - Hydrogéologie : Les eaux souterraines :
. Etude de la piézométrie du réservoir de la région
. Etude hydrodynamique des sources..... 189

CHAPITRE VIII - Etude des caractères physico-chimiques des eaux souterraines..... 219

CHAPITRE IX - Evaluation des ressources exploitables..... 247

CHAPITRE X - Résumé des principaux résultats et conclusion générale... 283

BIBLIOGRAPHIE..... 293

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX..... 301

TABLE DES MATIERES..... 309

AVANT-PROPOS

Au terme de cette étude, je tiens tout particulièrement à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD qui m'a accueilli dans son laboratoire et m'a permis de la mener à bien grâce à ses précieux conseils et ses critiques.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur le Professeur R. BARBIER qui me fait l'honneur de présider le jury.

Je tiens aussi à remercier Monsieur G. CASTANY, Conseiller Scientifique Permanent au B.R.G.M., qui a accepté de faire partie du jury.

J'exprime également ma gratitude à Monsieur le Professeur R. MICHEL qui a bien voulu participer à ce jury.

Ma reconnaissance s'adresse aussi aux Services Culturels de l'Ambassade de France en Iran qui m'ont permis de bénéficier d'une bourse de stage en France.

Mes remerciements s'adressent aussi à toutes les personnes qui m'ont aidé pour la réalisation de ce travail tant en Iran qu'en France, spécialement mes collègues du Ministère de l'Energie de l'Iran : Messieurs R. IGHANIAN, K. MODIRI et F. PANAH ainsi que mes camarades chercheurs de l'Institut Dolomieu, et Monsieur M. ZAMAN-KHAN qui m'a présenté à Monsieur J. SARROT-REYNAULD.

Je n'oublierai pas non plus de remercier Madame Th. VIVENZIO pour la dactylographie de ce mémoire.

Et mes parents,
Et mon épouse.

I N T R O D U C T I O N

- But et Méthode de l'étude
- Géographie et limite de la région
- Superficie et divisions du bassin versant
- Répartition altitudinale du bassin versant
- Forme du bassin versant
- Conclusion

INTRODUCTION

I-1- BUT ET METHODE DE L'ETUDE

La région de Fassa, qui fait l'objet de cette étude se situe dans la partie Est de la province du Fars , au Sud de l'Iran.

De 1970 à 1972, le Ministère de l'Energie (ancien Ministère de l'Eau et de l'électricité) a organisé une équipe sous la direction de l'auteur pour une étude de reconnaissance et d'inventaire des ressources en eau de cette région qui fait l'objet de notre étude.

Dans le cadre de nos recherches, nous avons travaillé tout d'abord sur les éléments climatologiques mais nous n'avons pas disposé de toutes les données souhaitables pour l'ensemble de la région.

Nous avons cependant essayé de déterminer la lame d'eau tombée en établissant la carte des isohyètes, puis en déterminant le gradient altimétrique de précipitation afin de l'utiliser compte-tenu des moyennes arithmétiques. Nous avons également utilisé la méthode de Thiessen.

Nous avons utilisé les différentes formules pour le calcul de l'évapotranspiration, mais les résultats obtenus par ces diverses méthodes sont assez discordants entre eux.

Nous avons déterminé la valeur de l'infiltration à partir de l'analyse des débits des sources et de la valeur des précipitations pour les massifs calcaires ainsi que par le bilan d'hydrologique.

Quant à la géologie de la région, nous avons utilisé la carte géologique au 1/250 000 de l'ensemble du bassin établie par les géologues pétroliers. Nous utiliserons également la nomenclature stratigraphique du Zagros, établie par ces géologues et présentée par James et Wynd en 1965.

Nous avons établi une carte géologique au 1/50 000 pour le bassin étudié avec 3 coupes semi-schématiques.

Nous avons étudié l'une après l'autre la tectonique et la paléo-géographie de la région.

Pour l'étude de l'hydrogéologie des plaines, divers moyens ont été mis en oeuvre sur le terrain pour recueillir les données nécessaires à l'étude :

- Exécution d'une campagne de géophysique (sondages électriques) par la Compagnie Générale Géophysique (C.G.G.).

- Foration de 1552,5 mètres de forage (11 forages de reconnaissance et 10 piézomètres à côté de chacun de ces forages) par la Société Gamaneh sous la surveillance de notre équipe.

- Réalisation d'un inventaire des points d'eau avec un nivellement des puits d'observation, échantillonnage systématique en vue d'analyses chimiques et surveillance de la piézométrie par des mesures périodiques sur les puits d'observation.

Nous avons aussi réalisé des essais de pompage sur tous les forages de reconnaissance de la région pour déterminer les caractères hydrodynamiques des nappes alluviales.

En ce qui concerne les sources, nous avons ainsi établi pour 4 sources de la région étudiée les courbes de tarissement par les méthodes de Maillet et Tison à partir de 2 ans environ de mesures mensuelles.

Nous avons aussi précisé tous les caractères physico-chimiques des eaux souterraines provenant soit des sources, soit des puits et des ghanates.

Pour déterminer les ressources exploitables, nous avons enfin tenté un essai de bilan ou balance hydrologique dans chacune des plaines.

Enfin, cette étude générale de reconnaissance a rendu possible la délimitation d'une exploitation intense dans toute la région.

I-2- GEOGRAPHIQUE ET LIMITE DE LA REGION

Le bassin versant de la rivière Roud-e-Chour dans la région de Fassa est situé dans le secteur Sud de l'Iran à 1100 km de Téhéran et 160 km au S.E. de Chiraz dans la partie méridionale du Zagros.

Situation géographique de la région de Fassa

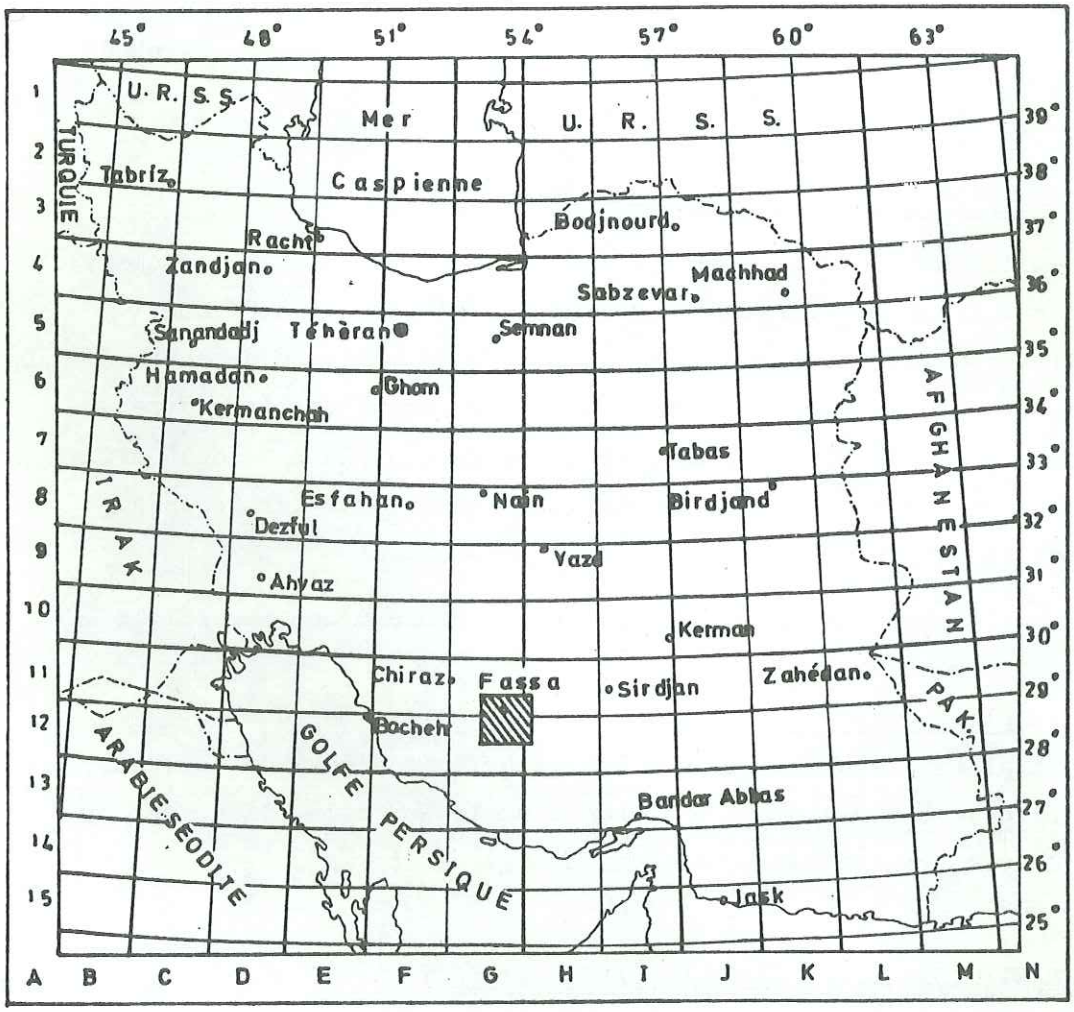


Fig : I-1

Echelle 1:20,000,000

Les coordonnées de cette région sont (Fig. n° I-1) :

- latitude entre : 28°,31' et 29°,25' Nord
- longitude entre: 53°,18' et 54°,24' Est

Ce bassin allonge du NW au SE à une longueur de 110 km et une largeur de 55 km. Il est limité au Nord par le lac Bakhtégan et la plaine de Sarvestan, la partie occidentale du bassin versant du Moharlu (sujet d'étude de M. Zamarkhan) à l'Ouest , la plaine de Darab à l'Est et la rivière de Ghara-Aghadj au Sud.

I-3- LA SUPERFICIE ET DIVISIONS DU BASSIN VERSANT

A partir de la carte au 1/250 000, nous avons calculé la superficie occupée par le bassin versant qui est de l'ordre de 4531 km2.
Son altitude varie entre 3205 m au sommet de la montagne de Kharman-Kouh et 1060 m à la station de Tamchir, qui en constitue l'exutoire.

Dans la région étudiée, on peut distinguer 5 plaines, dont trois correspondent à des bassins versants importants ; ces dernières sont représentées par (Fig. I-2) :

. La plaine septentrionale : plaine de Fassa a une superficie d'environ 300 km2 ;
. La plaine orientale disposée suivant un axe Est-Ouest : la plaine de Gharabolagh a une superficie d'environ 160 km2 ;
. La plaine méridionale allongée vers le Sud : la plaine de Gharabeigoum a une superficie d'environ 165 km2.

I-4- REPARTITION ALTITUDINALE DU BASSIN VERSANT

Les altitudes du bassin de Roud-e-Chour sont comprises entre 1060 m à la station hydrométriques de Tamchir, exutoire hydrologique du bassin et 3202 m au sommet de Kharmankouh* au Nord de la plaine de Fassa. On a calculé les distributions des altitudes du bassin versant (tableau I-3) et avec ces résultats on a tracé la courbe de fréquence altimétrique. L'altitude médiane, (de 1680 m) est nettement supérieure à l'altitude moyenne (1533 m) du bassin versant de la région de Fassa (fig. I-4).

---

* Kouh = montagne

CARTE
TOPOGRAPHIQUE
et
CLIMATOLOGIQUE
du
BASSIN VERSANT
de
FASSA

0 10km

Courbe de niveau 1300
Limite d'affleurement
Oued
Ville
Village
Station synoptique
Station climatologique
Station pluviométrique
Tube totalisateur
Echelle hydrometrique

N

KHARMAN KOUH 3202
KOUH-E TOUDAJI 2700
Ronizbala
Tang-e-Karam
Oued de Fassa
Oued de Chiraz
Akbar abad
FASSA
PLAINE DE FASSA
PLAINE DE GHARABOLAGH
Oued de Dafarabad
Nobandegan
Tang-e-Khomar
Tang-e-Sadr abad
Oued de Vasselabad
Tang-e-Mogoui
Zahédan
PLAINE DE GHARABEY GOUN
Saādatabad
Roud-e-Chour
Oued de Bichézard
Tamchir

Fig : I-2

Tableau I-3 : Répartition de la superficie par tranche d'altitude bassin versant de Fassa

Altitude m	Surface km2	Surface %	Somme des surfaces km2	Somme des surfaces %
< 1100	344	7,6	344	7,6
1100 - 1300	625	13,8	969	21,4
1300 - 1500	1012	22,3	1981	43,7
1500 - 1700	888	19,6	2869	63,3
1700 - 1900	862,5	19,03	3731,5	82,33
1900 - 2100	294	6,5	4025,5	88,83
2100 - 2300	250	5,5	4275,5	94,33
2300 - 2500	108	2,4	4383,5	96,73
2500 - 2700	56	1,25	4439,5	97,98
2700 - 2900	59	1,3	4498,5	99,28
2900 - 3100	29,4	0,65	4527,9	99,93
3100 <	3,1	0,07	4531	100

Altitude maximum : 3202 m
Altitude médiane : 1680 m
Altitude moyenne : 1533 m
Altitude minimum : 1060 m

L'altitude la plus fréquente du bassin est de 1300 à 1500 m.

I-5- FORME DU BASSIN VERSANT

La forme du bassin versant est un phénomène très important pour les modalités des écoulements et la forme des hydrogrammes. On a donc calculé l'indice de Compacité ou indice de Gravelius

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

avec P = périmètre du bassin versant en km

A = superficie du bassin versant en km2

définit la forme du bassin. Il représente le rapport du périmètre du bassin sur le périmètre du cercle de surface équivalente, (K = 1 pour un cercle ;

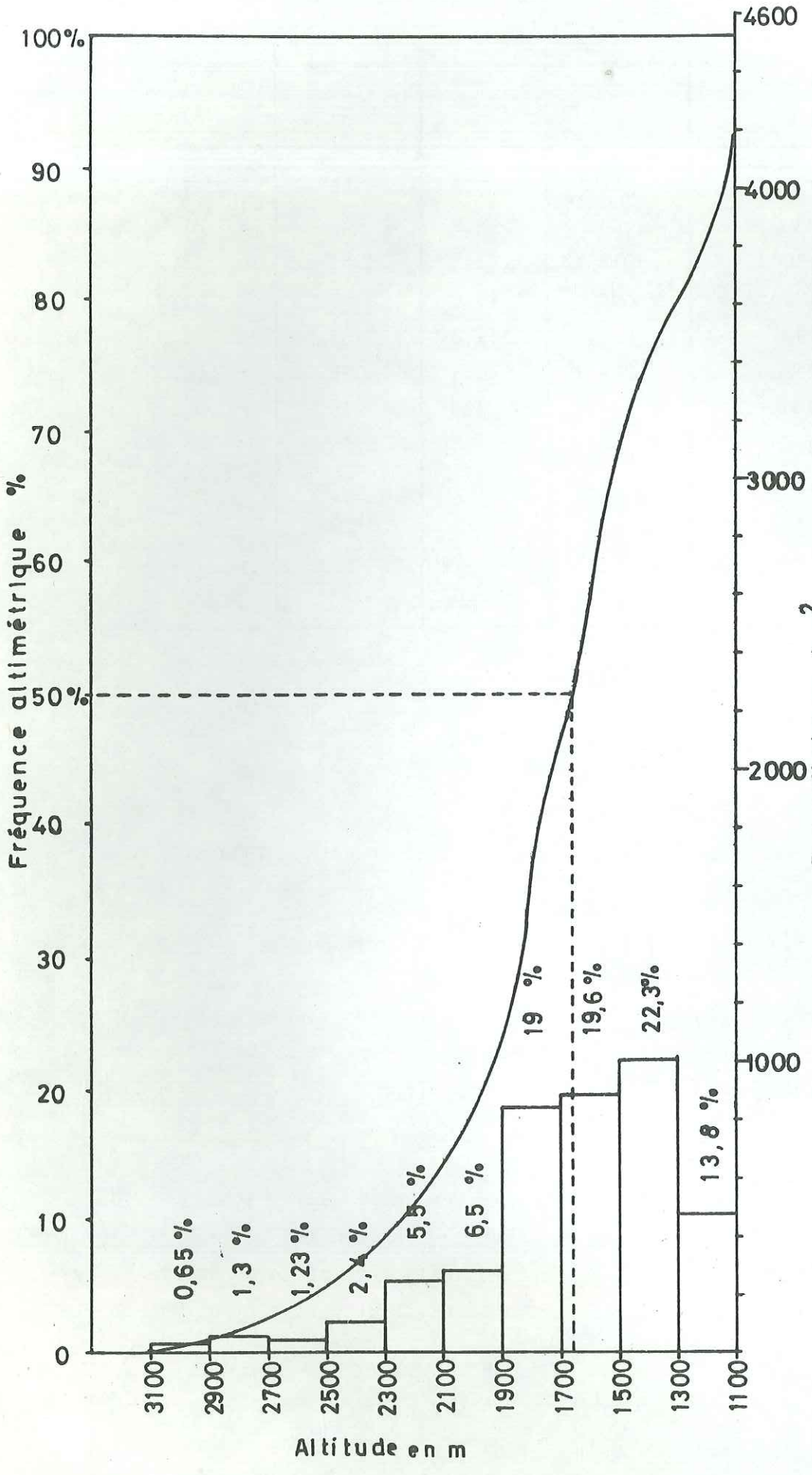


Fig:I-4 —Courbe hypsométrique du bassin versant de la rivière de Roud-é-Chour dans la région de FASSA

K = 1,12 pour un carré ; K = 1,28 pour un triangle équilatéral et K = 1,5 pour un rectangle dont la longueur est 5 fois supérieure à la largeur). Dans le cas présent, l'indice étant égal à 1,28, le bassin versant de Fassa a la forme d'un triangle équilatéral.

I-6- CONCLUSION

Nous pouvons résumer les caractéristiques morphologiques du bassin de Roud-e-Chour (la région hydrologique de Fassa) comme suit :

- La région étudiée est située au Sud de l'Iran ;
- La superficie du bassin versant est de 4531 km2 composés de 5 plaines séparées dont trois sont les plus importantes et sont notre objet d'étude : plaines de Fassa (300 km2), de Gharabolagh (160 km2) et de Gharabeigoun (165 km2);
- Altitude maximale (sommet de la mont de Kharman-Kouh) : 3202 m ;
- Altitude minimale (à la station hydrométrique de Tamchir) : 1060 m ;
- Altitude moyenne : 1533 m ;
- Altitude médiane : 1680 m ;
- Altitude la plus fréquente : 1300 à 1500 m ;
- Périmètre : 305 km.

CHAPITRE II

ASPECTS HYDROLOGIQUES DE LA REGION DE FASSA

PRINCIPAUX FACTEURS

- Pluviométrie
- Température
- Evaporation et évapotranspiration
- Humidité atmosphérique
- Les gelées
- La neige
- Détermination de la lame d'eau précipitée
- Bilan hydrologique
- Conclusion du Chapitre

CHAPITRE II

ASPECTS HYDROLOGIQUES DE LA REGION DE FASSA

PRINCIPAUX FACTEURS

Dans le cas de l'étude hydrologique d'une région, les principaux éléments climatiques sont :

- Pluviométrie dont les modalités sont très variées
- Température
- Evaporation et évapotranspiration
- Humidité atmosphérique
- les gelées
- la neige
- Détermination de la lame d'eau précipitée
- Bilan hydrologique.

II-1- CLIMATOLOGIE

Le climat de la région est sous influence de l'altitude des montagnes qui sont autour des plaines, surtout à cause de la montagne de Kharman -Kouh avec une altitude de 3202 m. Les précipitations dans cette région sont d'origine cyclonique. Les cyclones qui viennent de l'Atlantique, de la Méditerranée et du Nord de l'Afrique et aussi du Sud de l'Iran par l'Océan Indien au contact de l'air froid qui existe sur les montagnes donnent des précipitations. Les précipitations de la région commencent au milieu de l'automne et continuent jusqu'au début du printemps. Pendant l'été, on a de rares précipitations.

On remarque que pendant 6 mois, il n'y a presque plus de précipitations, et selon la classification météorologique,Cette région a un climat de type subméditerranéen.

En été, la région de Fassa est sous influence de hautes pressions sub-tropicales et de vents secs du N.W. Pour cette raison, les précipitations sont très rares.

II-2- SITUATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS

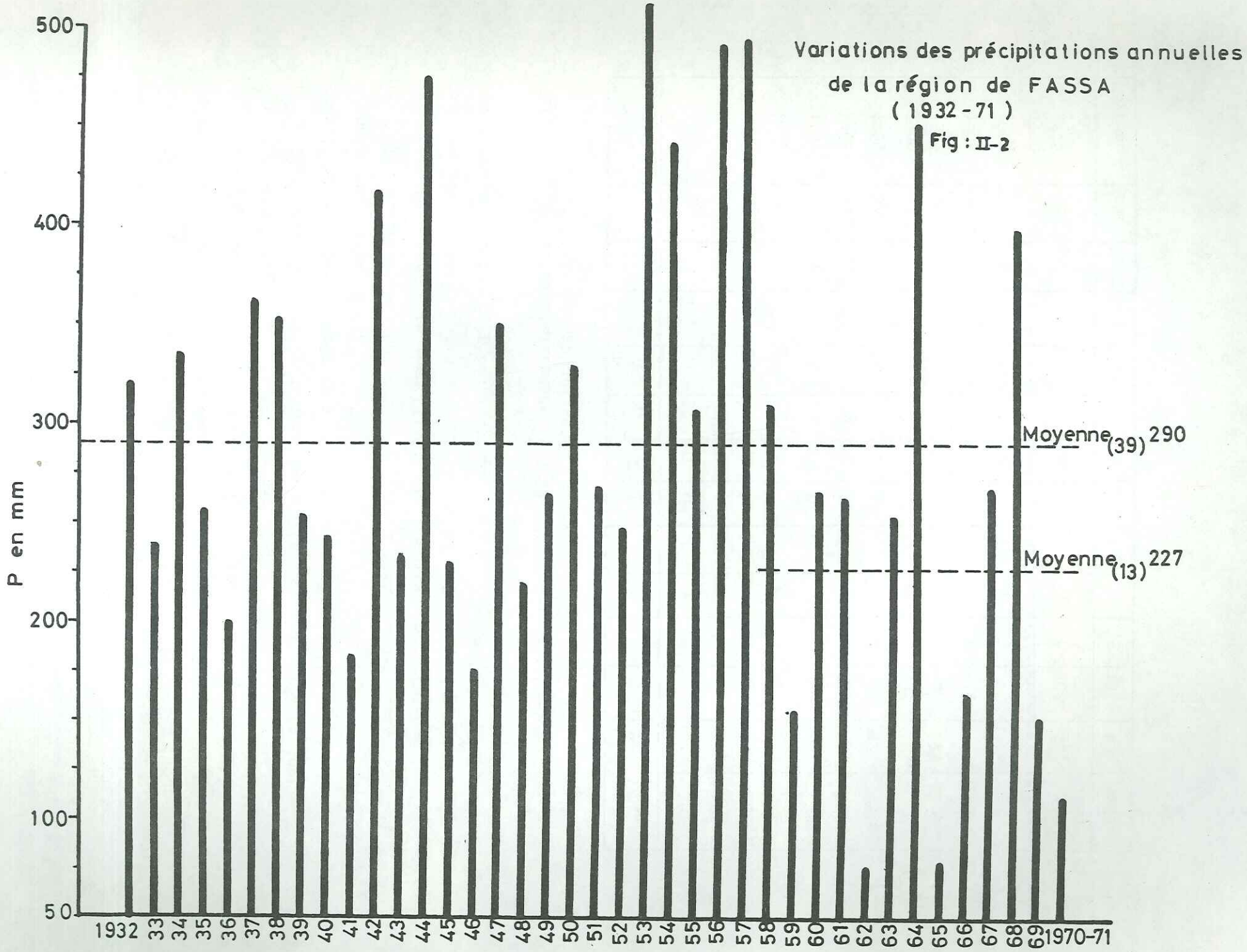
Dans la région de Fassa, on trouve une station synoptique dans la ville. On a aussi six stations climatologiques et pluviométriques (tableau II-1 et fig. I-4):

Tableau II-1 : Situation géographique des stations de la région de Fassa.

Ordre	Localité	Alt. m	Situation géogr.		Nombre d'Observation annuelle	P en 1971 mm	$\bar{P}$ mm	Equipement
			longitude	latitude				
1	Fassa	1382	53°,41'	28°,58'	13	112	227	Synoptique
2	Roniz	1620	53°,46'	29°,11'	1	155	-	Climatologique
3	Nobandégan	1310	53°,50'	28°,51'	5	84,5	213	"
4	Saadat Abad	1340	53°,52'	28°,37'	1	77	-	"
5	Katchouyeh	-	53°,38'	29°,10'	1	88	-	Pluviométrique
6	Chech-deh	1166	54°,03'	28°,57'	6	130	245	"
7	Tamchir	1060	53°,50'	28°,34'	1	65	-	"

- au village de Roniz, à 30 km au Nord de la ville de Fassa ;
- dans le village de Nobandégan, à 20 km au sud de la ville de Fassa ;
- dans le village de Saadat Abad, à 60 km au sud de la ville de Fassa ,
- dans le village de Katchouyeh, à 20 km au nord " " " ;
- dans le village de Chéch-déh, à 45 km au S.E. " " " ;
- dans le village de Tamchir, à 65 km au sud " " ".

On constate donc que la densité des stations et leur distribution est à la fois insuffisante et insatisfaisante ; mais néanmoins on essaiera d'exploiter au mieux les données disponibles.


Variations des précipitations annuelles
de la région de FASSA
(1932 - 71)
Fig : II-2
P en mm
500
400
300
200
100
50
Moyenne(39) 290
Moyenne(13) 227
1932 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 1970-71

II-3- PLUVIOMETRIE

Ainsi que nous l'avons déjà indiqué, il y a dans le bassin versant de Fassa, trois stations pluviométriques, trois stations climatologiques et une station synoptique.

On ne dispose que des relevés pluviométriques de 13 années pour la station synoptique de Fassa.

Les résultats de cette station montrent que la hauteur moyenne des précipitations est de 227 mm par an.

Les écarts des précipitations annuelles dans cette région sont considérables ; par exemple on a eu 74,5 mm en 1963 et 452 mm pour l'année 1965 (Fig. II-2).

Les distributions mensuelles des précipitations dans cette station sont reportées sur le tableau (II-3). Ces résultats montrent que le mois de janvier est le mois le plus humide et qu'au mois de juin à septembre on n'a pas de précipitations.

Tableau II-3 : Précipitations mensuelles pour la période 1959-1971 (Station synoptique de Fassa).

Mois / Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1959	35,9	15	41,3	0	15	0	0	3,5	0	0	15,5	183,5	309,7
1960	63	6	19	28	0	0	0	0	0	0	31	10,1	157
1961	50	52	100,5	48	0	0	0	1	0	0	0	15	266,5
1962	19	20	5	143	0	0	0	5	0	0	47	25	264
1963	0	26	16	4	23,5	0	0	0	0	0	5	0	74,5
1964	63,5	96,5	10	4	0	0	0	0	0	0	33,5	46,8	254,3
1965	272	44	0	14,1	0	0	0	0	0	0	0	122	452,1
1966	21	39	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0,5	78,5
1967	42	93,9	3,7	14	0,2	0	4	0	0	0	0	7,3	165,1
1968	14,1	105,2	42,3	29,6	0	0	0	0	0	0	44,6	31	266,8
1969	143,3	4,3	22,1	100,4	0	0	0	7,4	0	0	3	117,7	398,3
1970	81,6	12	12,4	1,8	0	0	0	0	0	17,2	26,2	0	151,2
1971	26	49,4	0	26,3	0	0	0	0	0	0	0	10,7	112,4
Moyenne	64	43,3	21,6	32,5	3	0	0,3	1,3	0	1,3	15,8	43,8	227

Les précipitations saisonnières de cette région sont fournies sur le tableau II-4.

Les résultats nous montrent que l'hiver, avec 56,8 % est la saison pluvieuse, et l'été avec un pourcentage très faible des précipitations annuelles de 0,8 % est une saison très sèche (fig. II-5).

Tableau II-4 : Précipitations et pourcentages saisonniers de la période 1959-1971 (Station synoptique de Fassa).

Année	Précipitations saisonnières (mm)				Pourcentages			
	Hiver	Printemps	Ete	Automne	Hiver	Printemps	été	Automne
1959	92,9	15	3,5	199	29,8	4,8	1,1	64,3
1960	88	28	0	41	56,1	17,8	0	26,1
1961	202,5	48	1	15	76	18	0,4	5,6
1962	44	143	5	72	16,6	54,2	1,9	27,3
1963	42	27,5	0	5	56,4	36,9	0	6,7
1964	170	4	0	80,3	66,8	1,6	0	31,6
1965	316	14,1	0	122	69,9	3,1	0	27
1966	69	9	0	0,5	87,9	11,5	0	0,6
1967	139,6	14,2	4	7,3	84,5	8,6	2,4	4,5
1968	161,6	29,6	0	75,6	60,6	11,1	0	28,3
1969	169,7	100,4	7,4	120,7	42,6	25,2	1,9	30,3
1970	106	1,8	0	43,7	70,1	1,2	0	28,7
1971	75,4	26,3	0	10,7	67,1	23,4	0	9,5

A la station synoptique de Fassa, la pluie fictive quotidienne est de 0,62 mm. La pluie fictive mensuelle est de 18,6 mm pour les mois de 30 jours et de 19,22 mm pour ceux de 31 jours.

Le coefficient pluviométrique mensuel relatif est le rapport entre la pluie fictive mensuelle et la moyenne mensuelle. Il indique l'écart à une distribution uniforme.

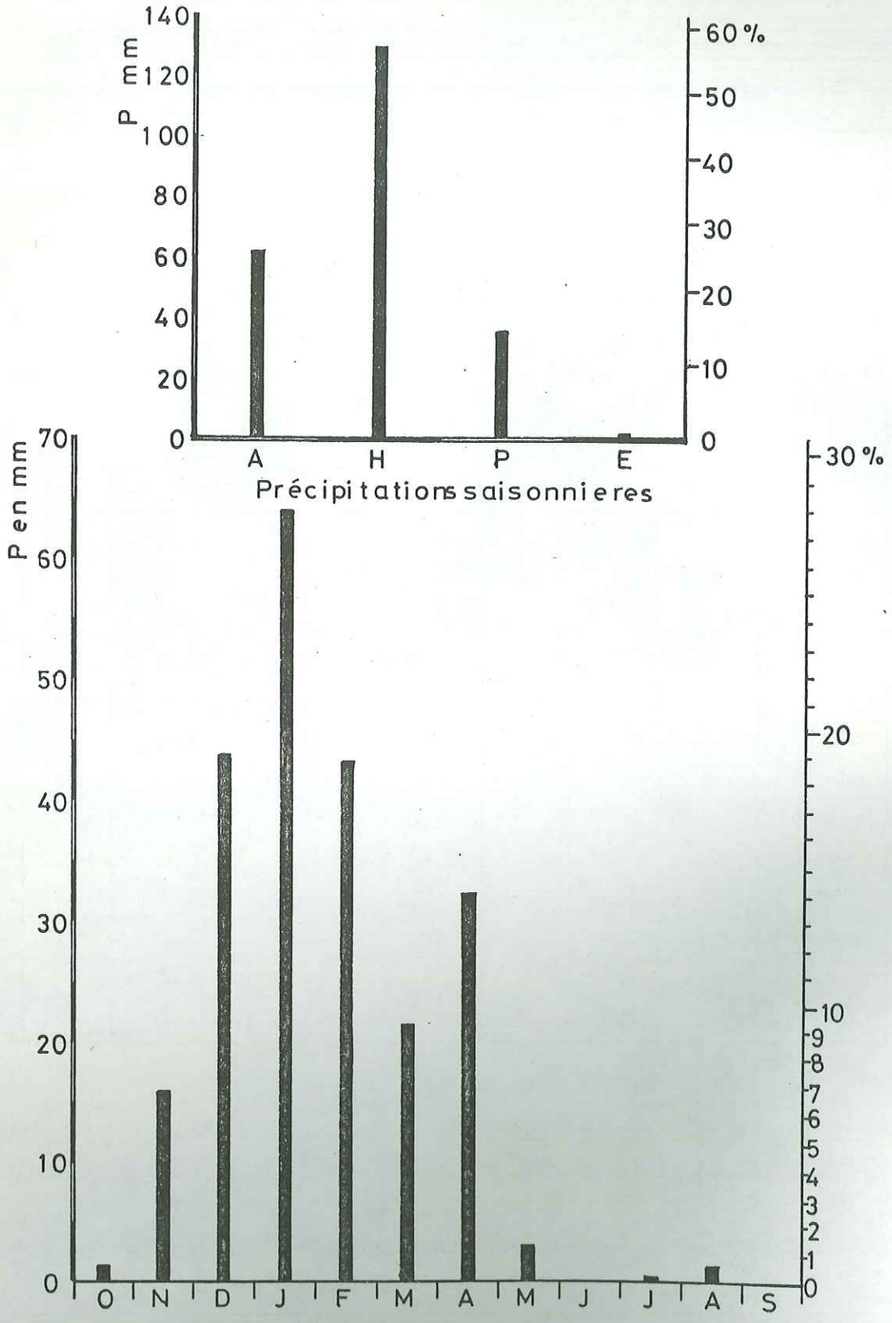


Fig:II-5 -Précipitations mensuelles à la station de FASSA (1958-71)

S'il est plus petit que 1, le mois auquel il se rapporte est considéré comme un mois sec. Les mois qui ont un coefficient supérieur à 1 sont des mois "humides".

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

D'ailleurs, l'indice de pluviosité ou indice pluviométrique annuel est le quotient des précipitations annuelles par le module pluviométrique annuel et on définit de même un indice pluviométrique mensuel qui est le rapport des précipitations mensuelles aux précipitations mensuelles moyennes.

Les tableaux (II-6 et II-7) donnent les valeurs de ces coefficients pluviométriques mensuels et saisonniers relatifs et les indices pluviométriques mensuels et annuels de la station de Fassa.

Les coefficients pluviométriques relatifs sont de 2,31 pour l'hiver, 0,64 pour le printemps et 1,08 pour l'automne. Le coefficient de l'été est très faible.

Les précipitations des années 1963 et 1965 montrent que l'année 1963 est une année sèche avec 74,5 mm de précipitation et que 1965 avec des précipitations de 452 mm est une année très humide pour cette région. La hauteur moyenne des précipitations en 1963 et 1965 est de 263 mm. C'est-à-dire d'environ 36 mm de plus que la moyenne des précipitations annuelles de la période 1959-197 1.

En conséquence, pendant les années humides, l'évapotranspiration est faible dans cette région et précipitations augmentent considérablement les réserves souterraines.

Comme nous avons 39 années d'observation à la station synoptique de l'aéroport de Chiraz et que les conditions climatologiques sont les mêmes que pour la région de Fassa, nous avons essayé de déterminer une équation entre les données pluviométriques de ces deux stations, qui est :

$$x = 0{,}974\ y - 50$$

x = précipitations de Chiraz en mm

y = précipitations de Fassa en mm.

Ensuite, en tenant compte de cette équation, nous avons pu calculer les précipitations de 39 années pour la station de Fassa (fig. II-2). D'où la précipitation moyenne annuelle pour la période 1932-71 est de l'ordre de 289 mm.

Tableau II-6 : Précipitations moyennes mensuelles, saisonnières et coefficient pluviométrique relatif.

Saisons	Mois	Mensuelle			Saisonnière		
		P Moyen. mens. (mm)	% mens.	Coefficient pluvio. (mm)	P Moy. sais. (mm)	% saison.	Coefficient pluvio. Sais.
Hiver	Janvier	64	28	3,33			
	Février	43,3	19	2,49	128,9	56,8	2,31
	Mars	21,6	9,5	1,12			
Printemps	Avril	32,5	14	1,75			
	Mai	3	1	0,16	35,5	15,6	0,64
	Juin	0	-	-			
Eté	Juillet	0,3	0,1	0,02			
	Août	1,3	0,5	0,07	1,6	0,8	0,03
	Septembre	0	-	-			
Automne	Octobre	1,3	0,6	0,07			
	Novembre	15,8	7	0,82	60,9	26,8	1,08
	Décembre	43,8	19	2,35			

Tableau II-7 : Indices pluviométriques mensuels et annuels.

Mois / Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Indice pluvio-annuel
1959	0,56	0,35	1,9	0	5	0	0	2,69	0	0	0,98	4,19	1,36
1960	0,98	0,14	0,88	0,86	0	0	0	0	0	0	1,96	0,23	0,69
1961	0,78	1,2	4,65	1,47	0	0	0,76	0	0	0	0,34		0,99
1962	0,29	0,46	0,23	4,4	0	0	0	3,84	0	0	2,97	0,57	1,16
1963	0	0,6	0,74	0,12	7,8	0	0	0	0	0	0,31	0	0,33
1964	0,99	2,23	0,46	0,12	0	0	0	0	0	0	2,12	1,06	1,12
1965	4,25	1,02	0	0,43	0	0	0	0	0	0	0	2,78	1,99
1966	0,33	0,9	0,41	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,34
1967	0,65	2,17	0,17	0,43	0,06	0	13,3	0	0	0	0	0,16	0,73
1968	0,22	2,43	1,96	0,91	0	0	0	0	0	0	2,82	0,7	1,17
1969	2,24	0,1	1,02	3,08	0	0	0	5,69	0	0	0,19	2,68	1,75
1970	1,27	0,28	0,57	0,05	0	0	0	0	0	13,3	1,65	0	0,66
1971	0,4	1,14	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0,49

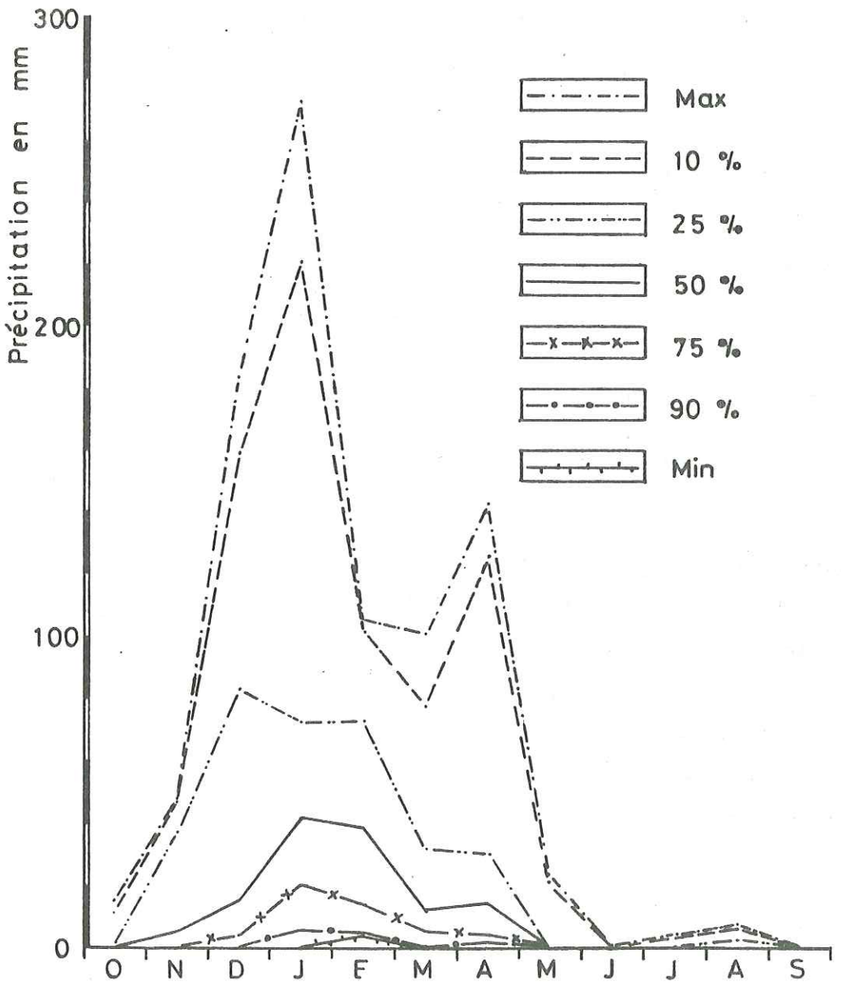


Fig : II-8 -Fréquences pluviométriques mensuelles dans la région de FASSA

II-3-1- Fréquence des précipitations

On a aussi calculé les fréquences de précipitations dans la région, à la station synoptique de Fassa. On a obtenu les résultats portés sur la fig. II-8.

II-3-2- Ecarts des précipitations annuelles

Pour déterminer les écarts des précipitations moyennes annuelles, nous avons utilisé la méthode de WALLE (expert de service F. A. O).

$$V = \frac{(P_1 - P_2) + (P_2 - P_3) + \dots (P_{n-1} - P_n)}{n-1}$$

d'où pour la région de Fassa

$V = 16{,}4$ mm

et l'écart relatif annuel est :

$$V = 100 \frac{V}{P} = 7{,}2\ \%$$

II-3-3- Calcul de la lame d'eau précipitée

Pour le calcul de la lame d'eau du bassin versant de Fassa, nous avons utilisé différentes méthodes :

1°- Méthode de Thiessen

Cette méthode est moins précise que la méthode des isohyètes; on calcule la lame d'eau du bassin à partir des stations qui sont dans la région. Il en résulte que la lame d'eau serait de 230 mm, soit environ $1042 \cdot 10^6$ m3/an.

2°- Méthode arithmétique

Elle est très rapide mais aussi plus grossière. Nous remarquons que nous avons 8 stations à des altitudes inférieures à 1533 sur le reste du bassin. L'altitude moyenne du bassin versant étant de 1533 m et celle de la médiane 1680 m, il nous faut tenir compte du déséquilibre dans la répartition des stations, afin d'éviter une trop forte influence des valeurs extrêmes (celles de basses altitudes en l'occurence). Pour cela, nous doublerons les résultats des stations hautes, ce qui revient à doubler le nombre de ces stations, d'où nous obtenons une valeur moyenne de 267 mm (tableau II-9).

Cette méthode peut paraître hazardeuse voire non conforme au calcul habituel, mais elle présente l'avantage d'obtenir très rapidement un résultat qui sera proche de la réalité.

Tableau II-9 : Précipitations annuelles pour la période 1965-1970

Stations	Altitude m	P mm
Fassa	1382	212
Chiraz	1510	314
Marvdacht	1600	255 x 2
Sarvestan	1555	252 x 2
Kouhendjan	1469	295
Badjgah	1764	384 x 2
Darab	1050	123
Maharlou	1490	332
Kharameh	1550	160 x 2
Kavar	1510	430
Nobandégan	1310	213
Chech-deh	1166	245

$$\overline{P} = \frac{4266}{16} \simeq 267 \text{ mm}$$

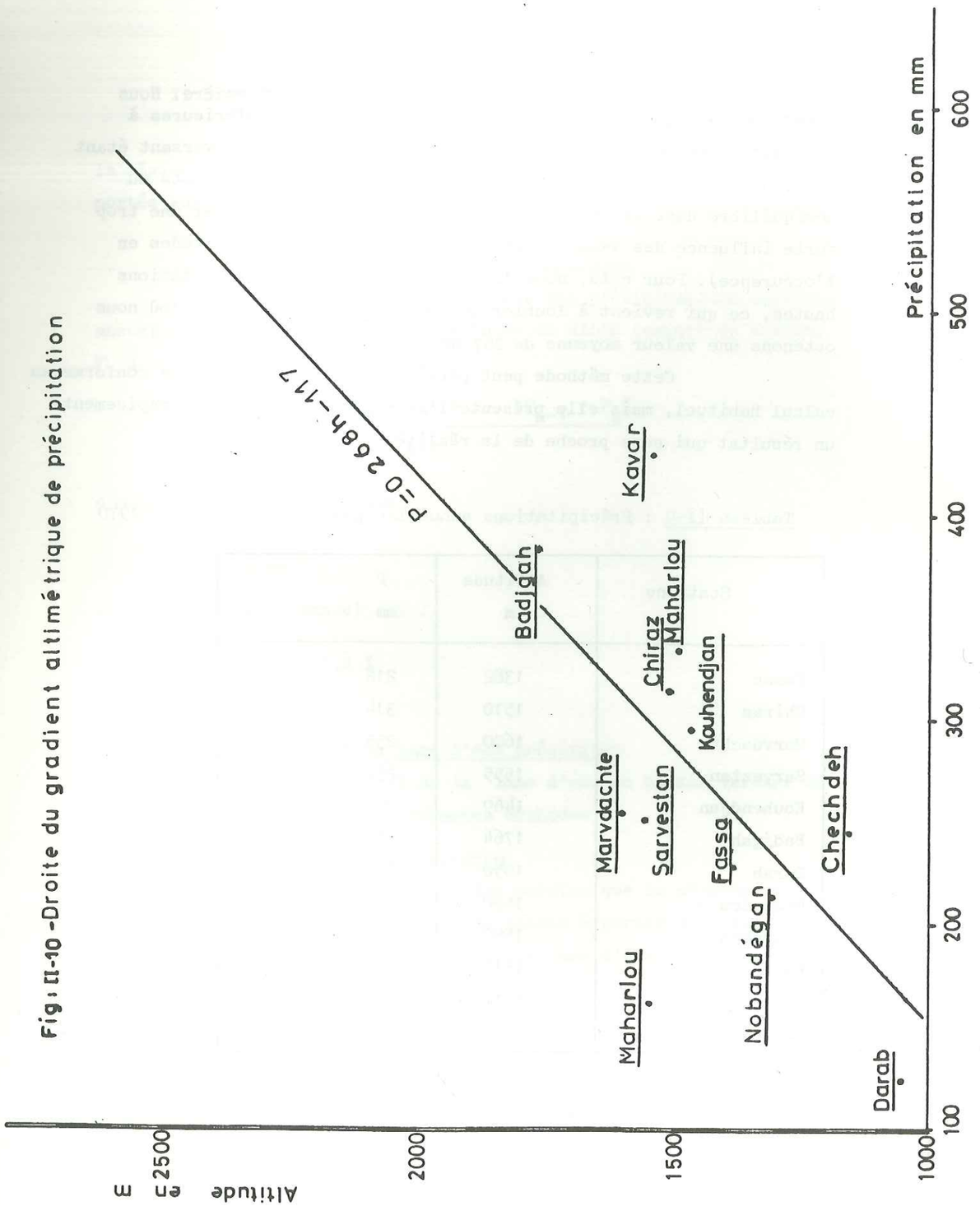


Fig. II-10 -Droite du gradient altimétrique de précipitation

3°- Méthode du gradient altimétrique des précipitations

A partir des hauteurs annuelles de précipitations en fonction de l'altitude de chaque station qui se trouve autour de cette zone, nous avons pu tracer une droite représentative du gradient altimétrique de précipitation (fig. II-10).

En reportant les mesures effectuées sur un graphique précipitation-altitude, il nous est possible de calculer l'équation de la droite obtenue. Elle s'écrit :

$$P = 0{,}268\ h - 117$$

P = pluviométrie annuelle

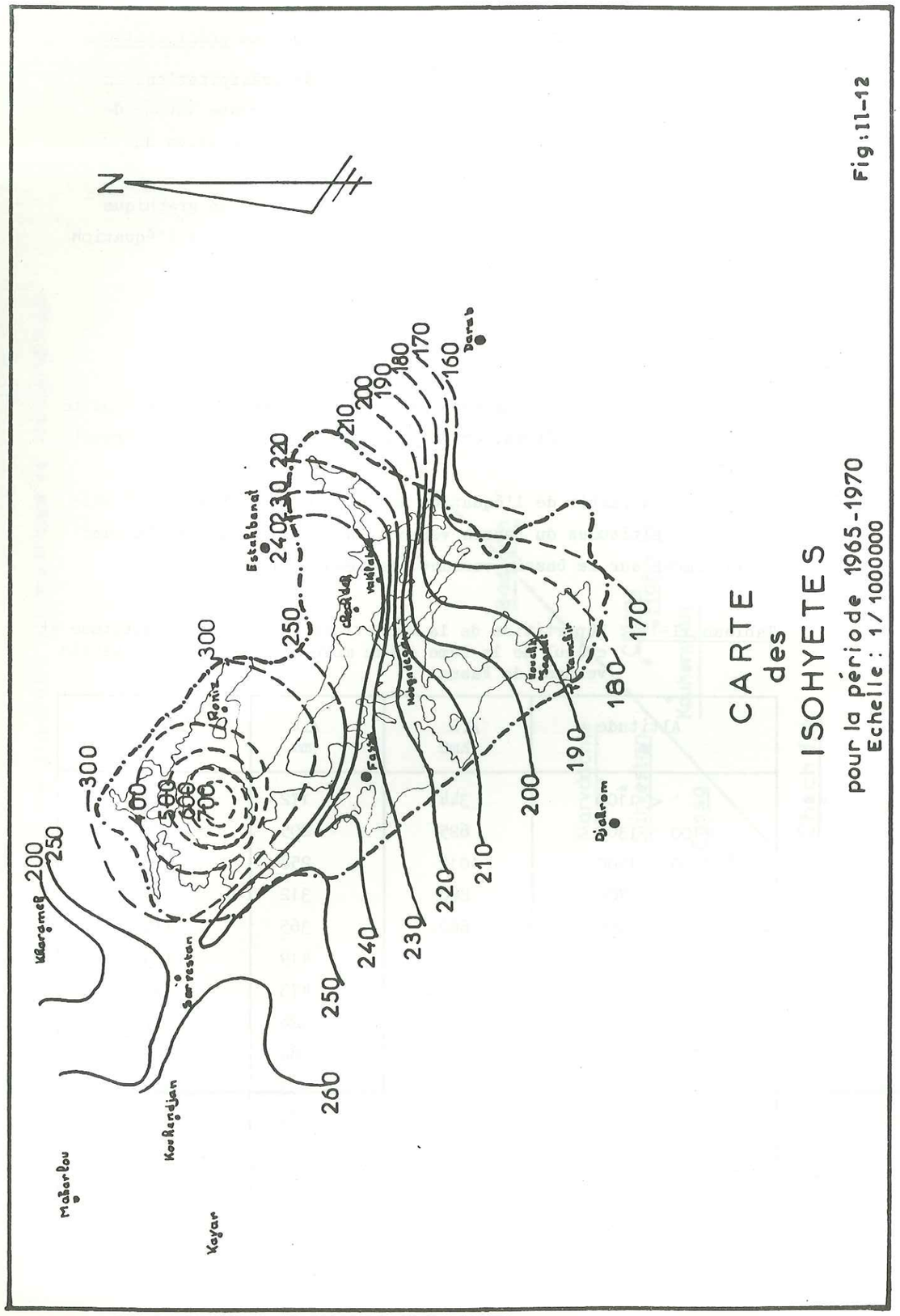
h = altitude

Elle indique un fort gradient altimétrique de pluviosité de 26,8 mm pour 100 mètres, et ce pour l'ensemble du bassin versant étudié.

A partir de l'équation de cette droite et de la distribution des altitudes du bassin versant, nous avons calculé la lame d'eau tombée sur le bassin versant (tableau II-11).

Tableau II-11 : Répartition de la superficie par tranche d'altitude et calcul de la lame d'eau moyenne tombée sur le bassin versant de Fassa.

Altitude m	ΔS km2	ΔP mm	ΔV 10^6 m3
< 1100	344	172	59
1100 - 1300	625	205	128
1300 - 1500	1012	258	261
1500 - 1700	888	312	277
1700 - 1900	862,5	365	315
1900 - 2100	294	419	123
2100 - 2300	250	473	118
2300 - 2500	108	526	57
2500 - 2700	56	580	32
2700 - 2900	59	633	37
2900 - 3100	29,4	687	20
Au dessus de 3100	3,1	727	2
Total ou Moyenne	S = 4531	$\bar{P}$= 315	V = 1429


N
CARTE
des
ISOHYETES
pour la période 1965-1970
Echelle : 1/1000000
Fig:II-12
Estakhanat
Darab
Kerman
Sirjan
Rafsandjan
Bam
Jiroft
Kerman
Bardsir
Baft
Kouh Banan
Mahan
Kouh Sirjan
Kouh Hezar
Kouh Lalezar
Kouh Jupar
Kouh Kuh Bonan
Kouh Kuh Panj
Kouh Kuh Shah
Kouh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kerman
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Banan
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Panj
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Shah
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Jebal Barez
Kouh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kuh Kalat
Kouh Ku

Calcul de la lame d'eau tombée à l'aide des courbes isohyètes

Précipitations		Superficies délimitées		Volume d'eau reçu
Limites des isohyètes (mm)	Valeur moyenne (mm)	km2	%	10^6 m3/an
< 170	165	120	2,6	19,80
170 - 180	175	232	5,1	40,60
180 - 190	185	380	8,5	70,30
190 - 200	195	310	7	60,45
200 - 210	205	300	6,6	61,50
210 - 220	215	333	7,3	71,59
220 - 230	225	310	7	69,75
230 - 240	235	300	6,6	70,50
240 - 250	245	650	14,3	159,25
250 - 300	275	250	5,5	68,75
300 - 400	350	713	15,7	249,55
400 - 500	450	333	7,3	149,85
500 - 600	550	180	3,9	99,00
600 - 700	650	70	1,5	45,50
700 <	750 $\pm$ 20	50	1,1	36,25
Total ou moyenne	325	4531	100	1272,64

Pour l'ensemble du bassin versant, nous obtenons une lame d'eau précipitée de l'ordre de :

$$\bar{P} = \frac{1272,64 \cdot 10^6}{4531 \cdot 10^6} = 281 \text{ mm}$$

En conclusion, les résultats donnés par les différentes méthodes montrent que celle de Thiessen et la moyenne arithmétique, ne sont pas très favorables, parce que la distribution des stations n'est pas correcte entre les montagnes et les plaines.

Il faut ajouter que, pour tracer la carte des isohyètes on avait la même difficulté, mais on a modifié les courbes originelles en fonction des caractères climatiques locaux de la région, en particulier sur la montagne de Kharman-Kouh dont le sommet atteint 3202 m d'altitude.

II-3-4- Précipitations solides

La neige est très rare dans les plaines de cette région, mais sur les montagnes la neige est abondante, et pourtant nous n'avons aucune donnée sur les hauteurs de neige précipitée. La limite des neiges persistant jusqu'au début du printemps, se trouve vers 3000 m sur les hautes montagnes comme Kharman-Kouh.

II-4- TEMPERATURE

La température moyenne annuelle de l'air est de 20°C pour la période 1959-1971.

Le mois le plus chaud est le mois de juillet avec 31,4°C, et le mois le plus froid est le mois de janvier avec 8,1°C (tableau II-13).

Tableau n° II-13 - Températures moyennes mensuelles pour la période 1959-1971

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
Moyenne min.	2,0	3,7	7,4	11,6	17,5	21,4	23,5	23,0	19,1	13,6	7,3	2,3	12,7
Moyenne max.	14,1	15,7	22,1	25,1	33,0	37,6	39,4	38,5	34,9	29,2	21,4	15,5	27,2
Moyenne mens.	8,1	10,6	14,9	18,0	25,2	29,8	31,4	31,0	27,0	21,4	14,2	8,7	20,00
Ecarts termiques moyens mensuels	0,6	2,5	4,3	3,1	7,2	4,6	1,6	-0,4	-4	-5,6	-7,2	-5,5	-

Les écarts entre les minima et les maxima absolus sont très considérables, de 49°C avec le minimum de -5,5°C en décembre 1965 et le maximum de 43,5°C en août 1958 (tableau II-14 et fig. II-15).

Tableau II-14 - Ecarts des températures absolues pour la période de 1959-1971

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Min. absolu	-2,8	-2,8	-0,5	4,6	9	14	16,2	17	11	4,8	-1	-5,5
Max. absolu	24	28,8	37	37	39,5	42,5	43	43,5	39,5	36	29,5	22,4
Ecarts	26,8	31,6	37,5	32,4	30,5	28,5	26,8	26,5	28,5	31,2	30,5	27,9

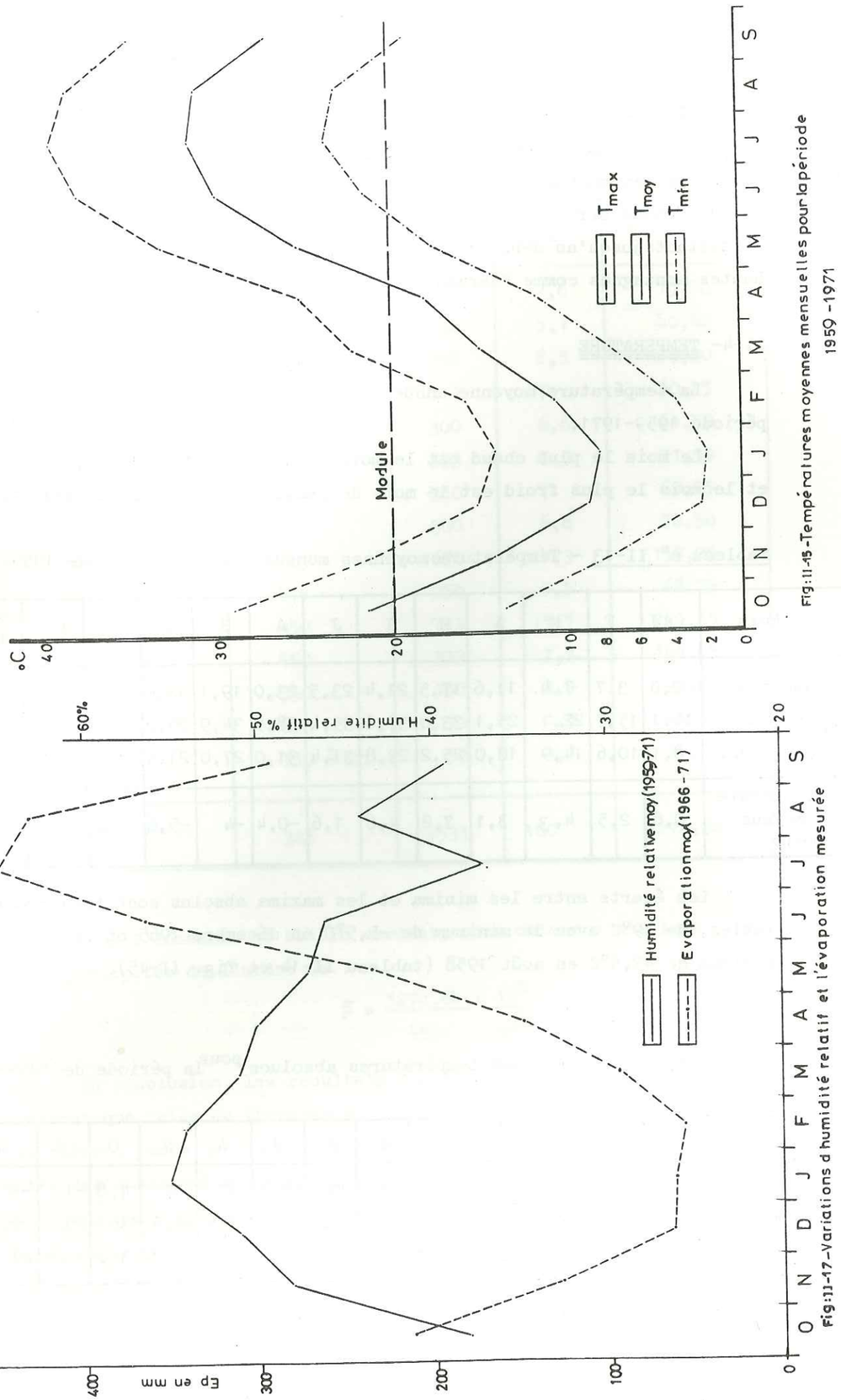


Fig:II-15-Températures moyennes mensuelles pour la période 1959 -1971

Fig:II-17-Variations d'humidité relatif et l'évaporation mesurée

II-4-1- Régime thermique annuel

La courbe des températures moyennes mensuelles est en forme de cloche à peu près symétrique, le sommet de la courbe est représenté par le mois de Juillet. Les plus grands écarts thermiques d'un mois à l'autre s'observent entre Avril et Mai (7°2), Octobre et Novembre (7°2).
La température monte rapidement au printemps et chute en automne, ce qui donne une légère dissymétrie à la courbe.

Les différences de températures moyennes mensuelles entre l'hiver (11,2°) et l'été (29,8°) sont très marquées.

La fraîcheur relative du mois de mars allonge la durée hivernale et raccourcit d'autant le printemps; le printemps commence en Avril ; ce passage entre les deux saisons est souligné par le brusque écart de température entre Avril et Mai. Les chaleurs arrivent vite. Donc le printemps est une saison courte. Cet accroissement rapide de la température accélère la fonte des neiges.

II-4-2- Les gelées

La moyenne des jours où il y a des gelées dans cette région est d'environ 20 jours par an, pendant une période de 4 années, 1968-1971 (Tableau II-16).

Tableau II-16 : Moyenne des jours de gelées pour la période 1967-1970.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle
Moyen. j. de gelées	9	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	20

II-4-3- Humidité

L'humidité relative moyenne mesurée à la station synoptique de Fassa est de 46,6 % pour la période 1959-1971.
Le mois le plus humide est le mois de janvier avec la moyenne d'humidité de 55%, et le mois le moins humide est le mois de juillet avec la moyenne d'humidité de 37 % (fig. II-17). Mais au cours de cette période en 1958, le mois de janvier était le mois le plus humide avec 74 % et en 1968, le mois de juillet était le mois le moins humide avec 15 % (tableau II-18).

Tableau II-18 : Humidité relative moyenne pour la période 1959-1971.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle %
Moy. humidité %	55	54	51	50	47	46	37	44	39	38	48	51	55
Min. absolu	37	34	43	37	27	20	15	19	17	22	26	28	-
Max. absolu	74	67	67	61	66	73	70	67	63	60	69	64	-

II-4-3- Définition du climat de la région (aridité)

Il nous est maintenant possible de définir le type de climat qui règne à Fassa : climat semi-continental à hiver froid, à précipirations hivernales et sècheresse marquée en saison chaude, à bilan hydrique fortement déficitaire.

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

Nous retiendrons l'indice de sècheresse de Gorszinsky pour la station de Fassa :

$$C = \frac{1,3.A}{\text{Sin}\varphi} - 36,3$$

C = pourcentage d'aridité

A = Excés de la température moyenne maximum du mois le plus chaud sur la température moyenne minimum du mois le plus froid qui est égale
39,4 - 2 = 37,4°C

φ = Latitude de la station.

On a donc : C = 64 %

Nous avons également calculé la durée de la sècheresse ou coefficient xérothermique de cette région à partir de la méthode de H. GAUSSENT et BAGNONL qui est de 222 jours par an. La figure II-19 diagramme ombrothermique de la station de Fassa montre :

i = nombre de mois où P égal ou inférieur à 2T ($P \leqslant 2T$)

En conclusion, selon la classification universelle, utilisée ci-dessus,

on s'aperçoit que la région de Fassa est une région semi-aride au point de vue de la climatologie.

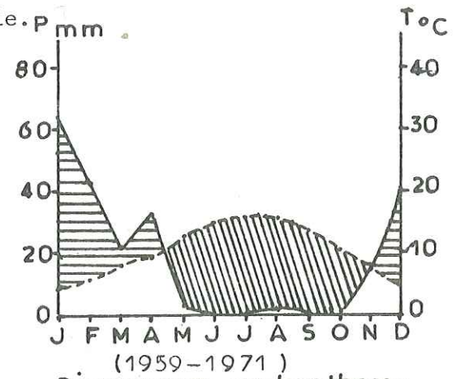


Diagramme ombrothermique de la station de FASSA Fig:II-19

II-5- EVAPORATION

Les résultats obtenus dans les stations du Ministère de l'Energie de la région sont les suivants :

1- Station de Nobandegan à 20 km au Sud de la ville de Fassa, à côté de la rivière Roud-e-Djaàfari ou vasselabad; les valeurs moyennes d'évaporation calculées sur 5 années (1966-71) étaient de 2507 mm (fig. II-20). Les valeurs extrêmes observées étaient : 67 mm pour le mois de janvier et 449 mm pour le mois de juillet (fig. II-17).

2- Station de Roniz-e-Olia, au Nord de Fassa; l'évaporation moyenne annuelle est de 2478 mm et les valeurs extrêmes ont été de 31 mm en janvier et de 407 mm en juillet.

3- Station de Kouchk-Saàdat-Abad, au Sud de Fassa; l'évaporation annuelle est de 3425 mm et les valeurs extrêmes ont été de 93 mm en janvier et de 553 mm en juillet.

4- Station de Djahrom, à 90 km au Sud de Fassa, les valeurs moyennes d'évaporation calculées sur huit années (1964-71) étaient de 2540 mm. Les valeurs extrêmes observées étaient 69 mm pour le mois de janvier et 394 mm pour le mois de juillet.

La valeur moyenne de l'ensemble de ces résultats est de 2775 mm. Si l'on multiplie les chiffres obtenus par un coefficient réductif de 0,8 pour tenir compte des caractéristiques du bac colorado, on obtient une évaporation de 2220 mm.

Ce chiffre est encore très élevé, car il n'y a pas de pluie disponible pour l'évaporation.

Tableau II-21 montre les écarts d'évaporation mensuelle de ces stations.

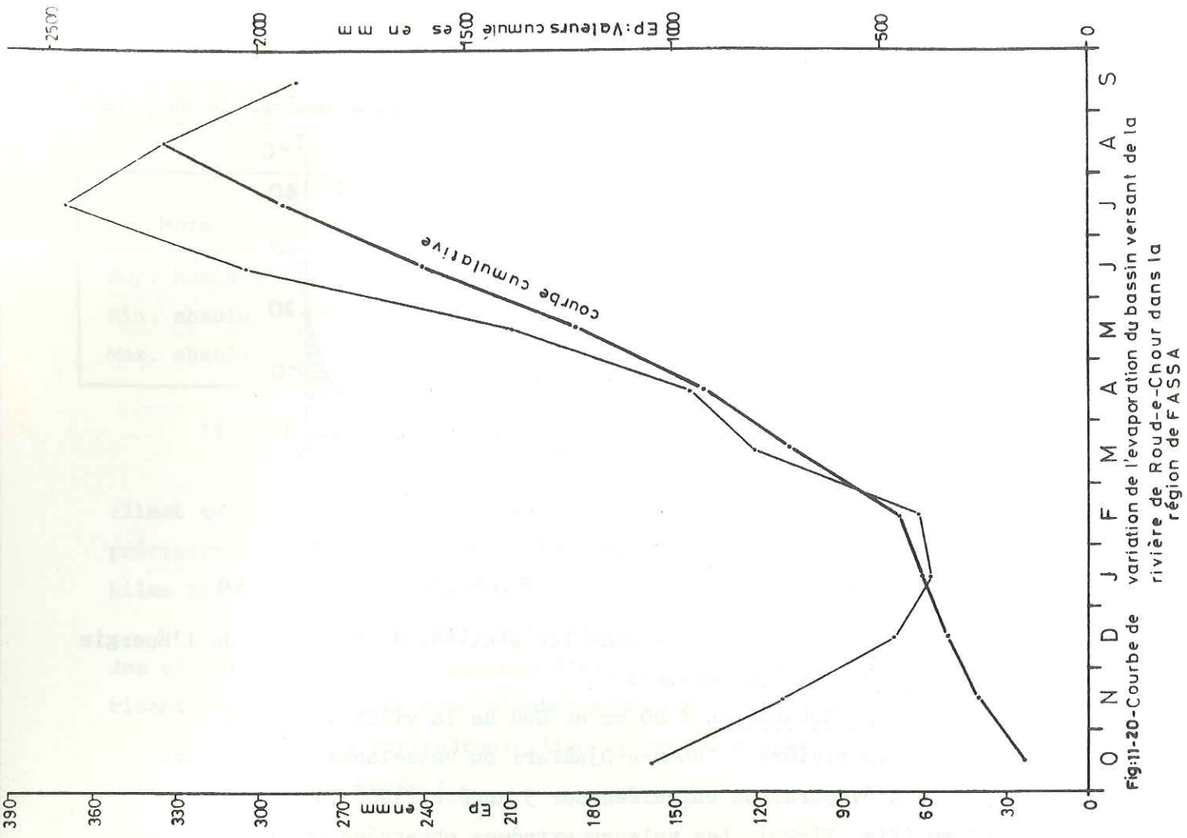


Fig:II-20-Courbe de variation de l'evaporation du bassin versant de la rivière de Roud-e-Chour dans la région de FASSA

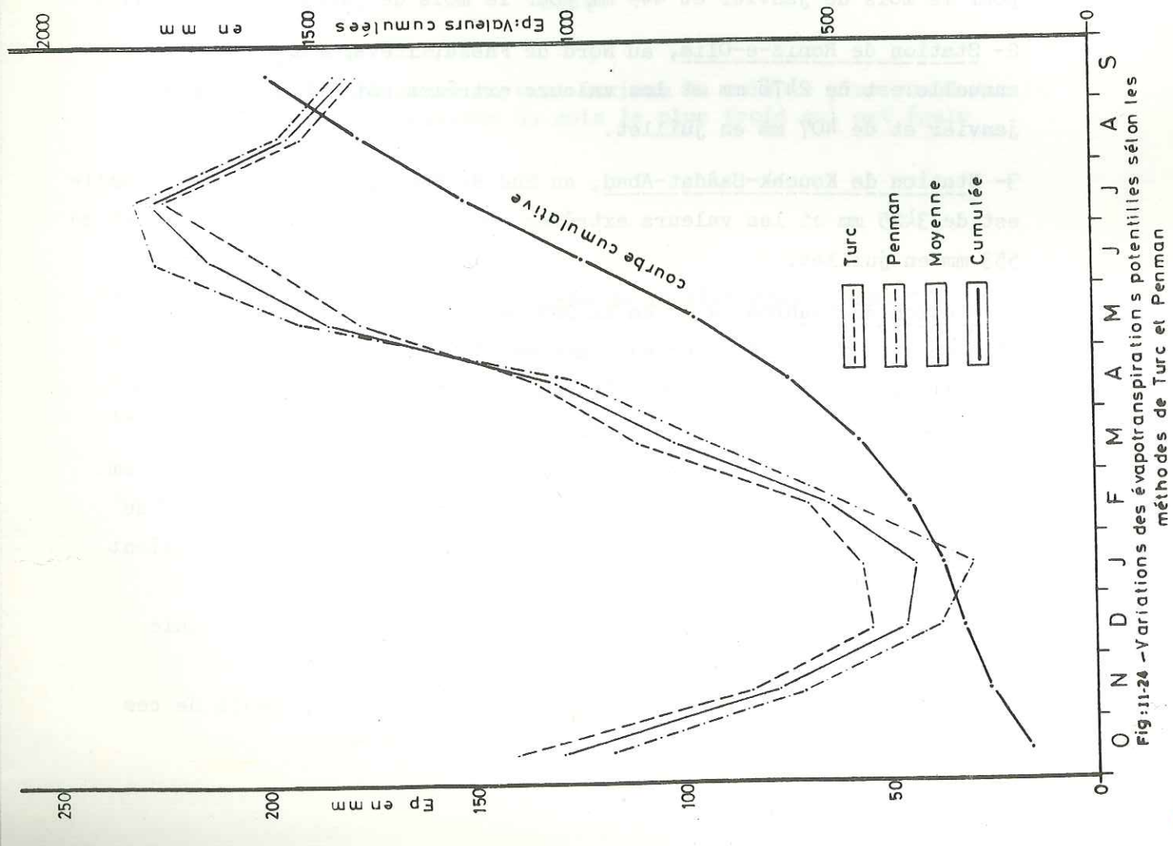


Fig:II-21 -Variations des évapotranspirations potentilles sélon les méthodes de Turc et Penman

Tableau II-21 - Evaporation moyenne mensuelle dans la région pour l'année 1970-71.

Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Annuelle
Evaporation moyenne	157,2	110,6	69,3	56,6	61	120,8	144	207	304	370	334	284	2220

II-6 - EVAPOTRANSPIRATION

Les formules qui permettent de calculer l'évapotranspiration sont très nombreuses. Parmi les méthodes, nous avons choisi les formules de Turc et Coutagne pour évaluer l'évapotranspiration réelle annuelle et les formules de Penman, Turc, et Thornth waite pour calculer l'évapotranspiration potentielle mensuelle.

A- Calcul de l'évapotranspiration réelle annuelle

II-6-1- Selon la méthode de L. TURC

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

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

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

P = Précipitation moyenne annuelle en mm

T = Température moyenne annuelle en °C

Nous avons appliqué cette formule pour la période 1959-1971.
La valeur obtenue avec P = 227 mm, T = 20°C est :

Er = 235 mm

tandis que pour l'année 1963, on a Er = 78,4 mm et pour l'année 1965 est de Er = 442 mm.

II-6-2- Selon la méthode de A. COUTAGNE

L'évapotranspiration réelle est calculée selon la formule suivante qui fait aussi intervenir la température moyenne annuelle T et les précipitations moyennes annuelles P, relevée sur le bassin versant :

$$Er = P - P^2$$

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

P = Précipitation moyenne annuelle en m

T = température moyenne annuelle en °C

Cette formule n'est valable que pour des précipitations comprises entre $\frac{1}{8\lambda}$ et $\frac{1}{2\lambda}$; c'est-à-dire entre 450 et 1800 mm.

L'application de la formule de A. COUTAGNE pour la période 1959-1971 donne :

P = 0,227 m T = 20°C

Er= 213 mm

tandis que les résultats obtenus pour l'année 1963 avec :

P = 0,074 m T = 20,7°C

Er= 73 mm

et pour l'année 1965 avec :

P = 0,452 m T = 19,9°C

Er= 395 mm

Il est donc difficile de se fier entièrement à cette formule dans la région de Fassa, puisque la hauteur des précipitations annuelles ne dépasse pas 450 mm, mais il faut remarquer qu'elle conduit à une bonne concordance avec la formule de Turc.

Nous allons voir que si nous prenons la moyenne des précipitations uniquement pour la période pluvieuse, qui est de l'ordre de 12,4°C, les résultats seront probablement plus proches de la réalité.

Cette moyenne de la période pluvieuse est logiquement plus favorable, car en prenant la moyenne annuelle, les résultats donnent une influence aux valeurs extrêmes de la période sèche pendant laquelle les précipitations sont nulles.

Si la température est de 12,4°C, la valeur de l'E_r moyenne annuelle à partir de la formule de Turc sera de :

Er = 227 mm

et par la méthode de Coutagne sera de :

Er = 137 mm

B - Calcul de l'évapotranspiration potentielle

II-6-3- Selon la méthode de Turc

La formule de Turc permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle mensuelle moyenne en tenant compte de la durée réelle de l'insolation.

Si l'humidité du mois considéré en % est supérieure à 50 %

$$Ep = 0,40 \frac{T}{T + 15} \cdot (Ig + 50)$$

Ep = l'Ep mensuelle moyenne en mm

T = Température moyenne du mois considéré en °C

Ig = la radiation globale moyenne du mois considéré en petites calories par cm2 de surface horizontale et par jour pendant le mois considéré.

Pour février, le coefficient 0,40 est remplacé par 0,37 et si l'humidité du mois considéré est inférieure à 50 % la formule de Turc sera :

$$Ep \text{ mens.} = 0,40 \frac{T}{T + 15} (Ig + 50) \left(1 + \frac{50 + hr}{70} \right)$$

La radiation globale moyenne du mois considéré est calculée par la formule :

$$Ig = IgA \left(0,18 + 0,62 \frac{h}{H}\right)$$

IgA : l'énergie de radiation qui atteindrait le sol si l'atmosphère n'existait pas en petites calories/cm2

$\frac{h}{H}$: l'insolation relative

H : la durée astronomique du jour

h : la durée d'insolation mesurée en principe à l'héliographe Camphell-Stockes.

Les valeurs de IgA et de H dépendent de la latitude et sont données par les tables d'Angot.

L'abaque de M. MLAVEK permet les calculs rapides.

Le tableau II-22 montre les résultats de l'Ep selon la méthode de L. Turc pour la période 1959-1971; il en ressort que l'Ep est de 1610 mm pour une année moyenne correspondant à la période 1959-1971.

Tableau II-22 : Les résultats de l'Ep mensuelle selon la méthode de Turc.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle
T °C	8,1	10,6	14,9	18	25,2	29,8	31,4	31	27	21,4	14,2	8,7	-
hr %	55	54	51	50	47	46	37	44	39	38	48	51	-
Ig cal/cm2	354	408	500	562	627	655	648	590	539	461	363	315	-
Ep mm	57	69	110	134	176	198	223	190	176	140	83	54	1610

II-6-4- Selon la méthode de Penman

L'évapotranspiration potentielle mensuelle 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 milieu.

$$Ep \frac{\Delta H + 0,27\ Ea}{\Delta + 0,27}$$

$$Ea = 0,35\ (e_a - e_d)\ (1 + 98 \times 10^{-4}\ U_2)$$

$$H = R_A(1 - r)\ (0,18 + 0,55\ n/N) - \sigma Ta^4\ (0,56 - 0,092\ e_d)\ (0,1 + 0,9.\ n/N)$$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{\log 6,6}{\lg h}$$

Ep = évapotranspiration potentielle journalière en mm
Ea = évaporation de l'atmosphère en mm
e_a = pression de saturation en vapeur d'eau
e_d = pression de vapeur d'eau moyenne
U_2 = vitesse du vent à l'altitude de 2 m
U_1 = vitesse du vent mesurée
R_A = radiation moyenne mensuelle en mm d'eau/jour
r = coefficient de réflection du terrain
n = nombre des heures ensoleillées par jour
N = nombre des heures possibles ensoleillées par jour
T = température absolue

$$\Delta \simeq \frac{de_a}{dT}$$

Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle mensuelle selon la méthode de Penman pour la période 1959-1971 sont portées sur le tableau II-23 et la figure II-24.

Tableau II-23 : Les résultats de l'Ep mensuelle selon la méthode de Penman.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle
T °C	8,1	10,6	14,9	18,0	25,2	29,8	31,4	31,0	27,0	21,4	14,2	8,7	-
U_2 mil/jour	125	107	118	142	156	154	152	150	138	126	116	104	-
h.r %	55	54	51	50	47	46	37	44	39	38	48	51	-
e_a mm/Hg	3,8	9,7	13,2	15,7	25,8	32,7	36,5	35,6	29,6	19,6	12,6	4,1	-
e_d mm/Hg	2,1	5,2	6,7	8,2	12,1	15,0	13,5	15,3	11,6	7,4	6,5	2,1	-
$e_a - e_d$ mm	1,7	4,5	6,5	7,5	13,7	17,7	23,0	20,3	18,0	12,2	6,1	2,0	-
E_a mm/jour	39	96	136	196	377	480	620	545	460	287	72	42	3350
R_A mm/jour	8,7	10,7	12,8	14,8	16,1	16,6	16,2	15,3	13,5	11,4	9,3	8,1	-
r	12,5	13,0	13,8	14,5	15,9	17,0	17,4	17,1	16,3	15,2	13,4	12,7	-
Δ	0,30	0,35	0,46	0,58	0,80	1	1,10	1,05	0,85	0,62	0,44	0,32	-
n/N	0,84	0,63	0,72	0,61	0,73	0,82	0,80	0,74	0,78	0,90	0,69	0,80	
Ep mm	30	60	93	124	190	225	230	196	182	117	70	38	1555

II-6-5- Selon la méthode de G.W. Thornthwaite

Le calcul de l'évapotranspiration potentielle par cette méthode est basé sur une évaluation empirique. C'est pourquoi il faut utiliser cette méthode avec beaucoup de prudence, mais cependant pour calculer l'Ep, il y a un abaque obtenu à partir de la formule :

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

avec

$$I = \sum_1^{12} i \qquad \text{et} \quad i = (\frac{t}{5})^{1,514}$$

et $\alpha = 0,49239 + 1792.10^{-5}\ I - 771.10^{-7}\ I^2 + 675.10^{-9}\ I^3$ (Thornthwaite)

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

Ep = évapotranspiration potentielle en cm
t = température moyenne mensuelle en °C
I = indice thermique annuel
i = indice thermique mensuel.

Nous avons calculé les indices thermiques à l'aide des tableaux classiques tenant compte de la latitude et de la température. Les résultats obtenus sont portés dans le tableau II-25.

L'évapotranspiration potentielle calculée par cette méthode est de 1121 mm pour une année moyenne correspondant à la période 1959-1971.

II-6-6- Calcul de l'évapotranspiration réelle selon le bilan hydrologique

Nous avons calculé aussi l'évapotranspiration réelle par la méthode de W.C. Thornthwaite et L. Serra en établissant un bilan hydrologique de la région de Fassa. Le calcul du bilan par cette méthode est basé sur l'évaluation empirique de l'évapotranspiration potentielle mensuelle Ep, des précipitations P et de l'évapotranspiration réelle mensuelle, élément inconnu du bilan.

Les résultats fondamentaux sont regroupés dans le tableau II-25.

Les deux facteurs climatologiques : Ep et P sont relativement indépendants et leur variation au cours de l'année est très différente. Quand les précipitations sont supérieures à l'Ep, une certaine quantité d'eau est emmagasinée par le sol jusqu'à saturation et le surplus ruisselle ou s'infiltre profondément, c'est-ce que les hydrologues appellent "l'écoulement". La quantité d'eau emmagasinée par le sol est tenue à la disposition des plantes ou évaporée par la suite, joue un grand rôle dans l'établissement du bilan hydrologique.

La quantité d'eau nécessaire emmagasinée par le sol pour sa saturation varie entre certaines limites qui dépendent de la nature, de la composition lithologique et de l'épaisseur de la couche superficielle du terrain, du climat, de la profondeur du niveau piézométrique et de la première couche acquifère ainsi que la distribution et de l'extension du système radiculaire de la couverture végétale. Thornthwaite admet que le

Tableau II-25 : Bilan hydrologique du bassin versant de Fassa à partir de la méthode de C.W. Thornthwaite

Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Annuelle
T °C	21,4	14,2	8,7	8,1	10,6	14,9	18,0	25,2	29,8	31,4	31,0	27,0	
i	9,04	4,86	2,31	2,08	3,12	5,22	6,95	11,57	14,92	16,15	15,84	12,85	I = 105,09
Ep non corrigée mm	88,0	32,2	11,2	8,9	17,0	37,9	56,5	127,0	162,1	170,7	168,0	139,5	1019
K	0,98	0,90	0,89	0,91	0,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	-
Ep corrigée mm	86	29	10	8	15	39	60	149	188	203	190	144	1121
P moyenne mm	1	16	44	64	43	22	33	3	0	0	1	0	227
P - Ep	-85	-13	34	56	28	-17	-27	-146	-188	-203	-189	-144	-894
Er mm	1	16	44	8	15	39	60	2	0	0	1	0	186
Variation de la réserve d'eau du sol	0	0	0	0	0	17	27	- 56	0	0	0	0	-
Réserve d'eau utile saturation	0	0	34	90	100	83	56	0	0	0	0	0	-
Excédent (water surplus de Thornthwaite)	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	18
Déficit agricole Ep - Er	0	13	0	0	0	0	0	147	188	203	189	144	884
Ecoulement Q (runoff)	0	0	0	0	9	5	3	1	0	0	0	0	18
Coefficient mensuel d'humidité $\frac{P-EP}{EP}$	-0,9	-0,45	3,4	7	1,86	-0,43	-0,45	-0,98	-1	-1	-0,99	-1	-

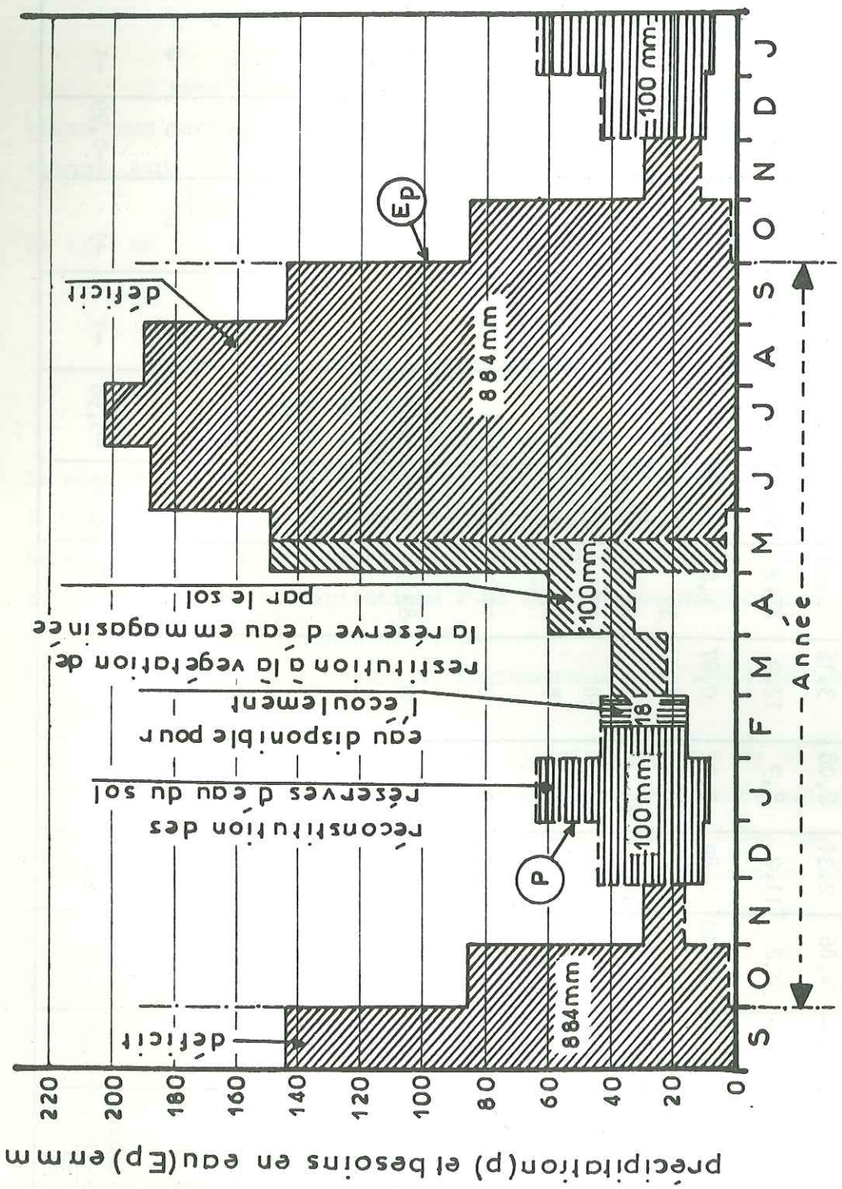


Fig:11-26-Bilan hydrologique moyen annuel de l'eau dans la region de FASSA
(année moyenne 1959-1971)

sol est saturé quand il a absorbé une lame d'eau équivalente à une précipitation de 100 mm. Ce chiffre donne un ordre de grandeur admis par de nombreux agronomes. Gosselin pour la Francecite 200 mm, A. Coutagne à St-Genis-Laval près de Lyon a calculé une variation de 84,7 à 125,9 mm, Fischer pour le bassin de la Waser admet 121 mm, de Montmarin (1953) en Tunisie du Nord, 275 à 285 mm. D'après Hallaire (1953) cette évaluation ne serait qu'une moyenne générale grossière. Cette valeur de la lame d'eau équivalente varie de 50 à 275 et même 300 mm avec les auteurs.

Pour calculer le bilan hydrologique de la région de Fassa, nous avons choisi comme point de départ le mois d'octobre, période où la réserve d'eau du sol est certainement épuisée. Le mois d'octobre est donc le début de l'année hydrologique dans la région de Fassa.

Fin décembre, les précipitations mensuelles moyennes P = 44 mm sont supérieures à l'Ep = 10 mm. La réserve est de 34 mm.

Fin janvier, les précipitations P = 64 mm sont aussi supérieurs à l'Ep = 8 mm, la réserve atteint 90 mm.

Fin février, P = 43 mm et l'Ep = 15 mm, le mois est excédentaire en eau de 28 mm ; cet excédent sert à reconstituer les réserves du sol.

Fin janvier, la réserve était de 90 mm, elle passe donc fin février à 90 + 28 = 118 mm.

Comme la réserve est fixée à 100 mm, on a fin février un excédent de 18 mm. Cet excédent alimente les eaux souterraines.

Nous calculons aussi l'évapotranspiration réelle mensuelle, à partir de cette méthode.

L'évapotranspiration réelle mensuelle étant liée au volume des précipitations, nous pouvons considérer deux cas :

1er cas : la hauteur de précipitation mensuelle est égale ou supérieure à l'évapotranspiration potentielle mensuelle ; l'Er est égale l'Ep.

$P \geqslant Ep$ mm $\qquad E_r = Ep$

2ème cas : si la hauteur des précipitations mensuelles est inférieure à l'évapotranspiration potentielle mensuelle, l'évapotranspiration réelle mensuelle dépasse les précipitations mensuelles et la différence est fournie par les réserves du sol en eaux souterraines jusqu'à leur épuisement. Si la réserve du sol est suffisante pour combler le déficit des précipitations, l'Er mensuelle est égale à l'Ep mensuelle. Si au contraire la réserve du sol est insuffisante, l'Er mensuelle est liée aux précipitations mensuelles. La réserve du sol épuisé, le déficit constitue le "déficit agricole".

Pour la région de Fassa, donc l'Er est égale à 186 mm soit 82 % des précipitations pour l'année hydrologique dans la période 1959-1971.
Les autres éléments du bilan, écoulement et déficit d'écoulement sont calculés en prenant comme point de départ le premier mois de l'année où l'excédent entre les précipitations mensuelles et l'évapotranspiration réelle mensuelle, ajouté à la réserve d'eau du sol du mois précédent, dépasse 100 mm (fig. II-26).
Les totaux annuels exprimés en hauteur d'eau donnent les résultats suivants :

- Hauteur des précipitations annuelles moyennes : 227 mm
- Evapotranspiration potentielle annuelle moyenne: 1121 mm
- Evapotranspiration réelle annuelle moyenne : 186 mm
- Déficit agricole annuel moyen : 884 mm
- Ecoulement annuel moyen : 18 mm
- Excédent (water surplus) annuel moyen : 18 mm
- Déficit d'écoulement annuel moyen (P-Q) : 209 mm

Nous remarquons que l'écoulement annuel moyen est égal au water surplus annuel moyen. Le déficit d'écoulement annuel moyen et l'évapotranspiration réelle annuelle moyenne atteignent presque les mêmes valeurs.

II-6-7- Conclusion

Les différentes méthodes de calcul de l'évapotranspiration aboutissent à diverses valeurs pour la région de Fassa. Mais la méthode de A. Coutagne paraît être la plus proche de la réalité. On trouve également que la méthode de G.W. Thornthwaite donne des résultats favorables pour cette région, c'est pourquoi, avec les données de la station synoptique de Fassa, on a établi un bilan hydrologique pour la période 1959-1971. Dans tous les cas; on est amené à admettre que la valeur de l'évapotranspiration réelle sur la plaine de cette région est égale 75-85 % des précipitations annuelles.

II-7 - RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le régime pluviométrique de la région de Fassa montre que les pluies abondantes sont réparties sur une durée de 90 à 120 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 souvent 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 Roud-e-Chour,(1) dans laquelle l'eau s'écoule pendant toute l'année; cet oued alimente par drainage les eaux souterraines de la plaine de Gharabeigoun à partir du village Nassir abad qui se situe au Sud de cette plaine. Le bassin versant total de cette rivière est de l'ordre de 4531 km2; le cours principal se dirige vers le sud. Elle reçoit aussi un système d'oueds qui descendent des Kouh-è-Toudadj, Binda et Kolah-ghazi (fig. I-2).

a- Oued de Abnarak ou Djafar abad

Il draine un bassin versant de 218 km2, sur le massif bordant à l'ouest la plaine de Fassa, qui s'appelle Kouh-é-Kolah-ghazi.(2) Il aboutit à la rivière Roud-è-Chour à Tang-è-Khomar.(3)

b- Oued de Dobaneh

Il draine un bassin versant de 610 km2 sur les montagnes Kharman-Kouh et Toudadj au Nord et au Nord-Ouest de la région traverse la plaine de Roniz et aboutit à l'oued de Akbarabad à Tang-è-Karam.

c- Oued de Akbar-abad

Il draine le versant Nord et Nord-Est de Kharman-Kouh et le massif bordant Fassa à l'Est, sur une superficie de 822 km2, traverse Tang-è-Karam et aboutit à l'oued de Chostégan.

1- Roud = oued = rivière
2- Kouh = montagne
3- Tang = défilé

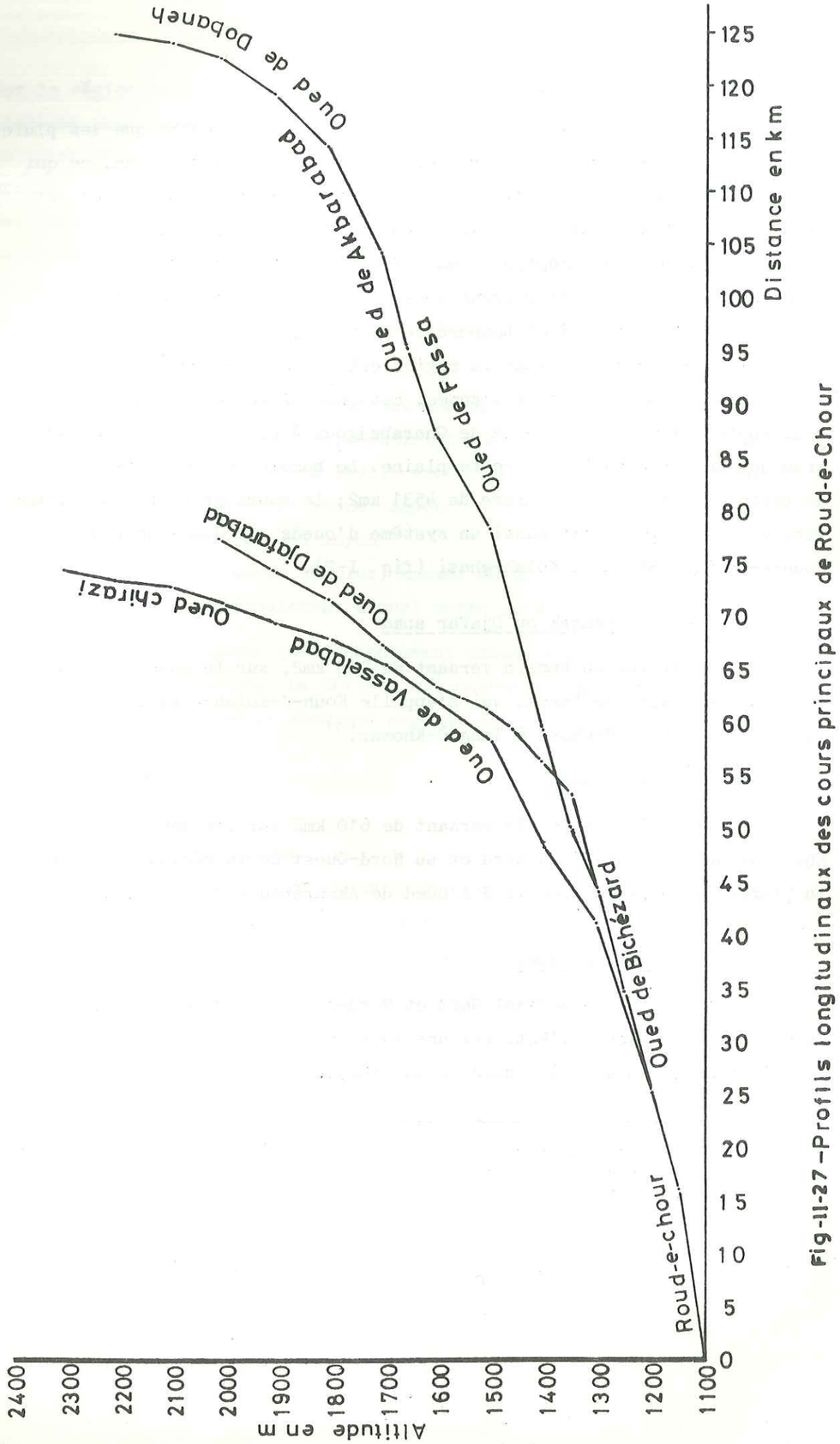


Fig-II-27-Profils longitudinaux des cours principaux de Roud-e-Chour

d- Oued de Vassel-abad

Il draine le bassin versant de la plaine de Gharabolagh, c'est-à-dire, les montagnes de Kouh-e-Toudadj au Nord et Bizda au Sud de la plaine, sur une superficie de 1016 km2. Il traverse enfin Tang-e-Saadr-abad ,aboutit au sud de la plaine de Gharabeigoun à la rivière Roud-e-Chour qui traverse toute la plaine par la station hydrométrique de Tamchir et aboutit à la rivière de Ghara-Aghadj à Ghotb-abad.

Il faut ajouter que la rivière Roud-e-Chour draine l'aquifère à partir du village de Nassir-abad. La figure II-27 montre les profils longitudinaux des oueds, que l'on a tracé à l'aide de la carte topographique.

Comme la station hydrométrique de Tamchir est récente on n'a pas assez de données pour calculer la lame d'eau écoulée en surface dans le bassin versant de la région de Fassa. Cependant, on essayera plus loin de préciser la valeur de cette part dans le calcul du bilan hydrologique.

Régime de Roud-e-Chour à la station de Tamchir

Le débit permanent qui coule en cette station est de l'ordre de 221 l/s soit $6,98 \cdot 10^6$ m3/an dont $5,9 \cdot 10^6$ m3/an soit 187 l/s correspond aux torronts et le reste $1,08 \cdot 10^6$ m3/an correspond au drainage des eaux souterraines.

Les écoulements annuels extrêmes présentent des écarts : $2,23 \cdot 10^6$ m3 en 1970 et $14,4 \cdot 10^6$ m3 en 1968

Il faut ajouter que les données de la station de Ghotb-abad située d'environ 10 km plus loin que notre station nous ont permis de calculer les écoulements de Roud-e-Chour, ayant 8 mois d'observation à la station de Tamchir.

II-8- BILAN HYDROLOGIQUE

II-8-1- Bilan hydrologique de la plaine

La formule classique du bilan hydrologique est :

$$P = E + R + I$$

P = Précipitation moyenne annuelle en mm

E = Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm

R = Ruissellement moyen annuel en mm

I = Infiltration moyenne annuelle en mm

Le calcul du bilan hydrologique de la plaine est basé sur les résultats de la station synoptique de Fassa et de la station hydrométrique de Tamchir.

- Précipitation moyenne annuelle

Pour le calcul du bilan hydrologique, nous avons choisi la valeur des précipitations moyennes annuelles calculée par la méthode du gradient altimétrique qui est :

$$P = 239 \text{ mm}$$

- Evapotranspiration réelle moyenne annuelle

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, on prend la méthode de G.W. Thornthwaite. Selon cette méthode, on a une valeur de l'Er :

Er = 186 mm soit 82 % des précipitations

D'après les valeurs de P et Er la lame d'eau infiltrée et ruisselée est :

$$P - Er = (R + I)$$

$$239 - 186 = 53 \text{ mm}$$

donc $R + I = 53$ mm

- Ruissellement moyen annuel

Comme nous avons déjà indiqué, la valeur du ruissellement moyen annuel du bassin versant à partir des mesures des débits à la station de Tamchir est de :

$R = 5,9 \cdot 10^6$ m3 soit 1 % de P

pour l'ensemble du versant.

- Infiltration moyenne annuelle

D'après la valeur du ruissellement obtenue en mesurant les débits à la sortie du bassin versant, nous arrivons à une valeur de 51 mm de l'infiltration ; c'est-à-dire à 21,3 % des précipitations et 96 % de (R + I). Il faut ajouter que cette valeur comprend la réinfiltration effectuée pendant le ruissellement.

Donc : I = 51 mm soit 21,3 % de P

II-8-2- Bilan hydrologique sur les reliefs

- Précipitations

La valeur des précipitations sur les reliefs qui est calculée par la méthode de gradient altimétrique est de 369 mm.

- Infiltration

Pour la valeur de l'infiltration, on a comparé les débits des sources et l'eau précipitée sur les surfaces d'alimentation. La valeur obtenue est de 98 mm soit 26,5 % des précipitations.

- Ruissellement

Si l'on calcule la valeur du ruissellement par la formule de BERKALOF-TIXERONT, on obtient :

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

avec

$P = 0,369$ m

$E = 1,121$ m

d'où

$R = 13$ soit 3,5 % des P

- Evapotranspiration

En remplaçant chacun des termes de l'équation du bilan :

$$P = Er + R + I$$

avec

$P = 369$ mm

$R = 17$ mm

$I = 98$ mm

on obtient une valeur de :

$Er = 258$ mm

c'est-à-dire égale à 70 % des précipitations.

II-8-3 - Bilan hydrologique du bassin versant

Si l'on applique ces données aux deux secteurs principaux de la région :

secteur des plaines de Fassa, de Gharabolagh, de Gharabegoun et secteur des montagnes qui les entourent, on obtient l'équation suivante :

P = plaine m = montagne

$$(P_p + P_m) = (E_p + E_m) + (R_p + R_m) + (I_p + I_m)$$

$$(447+982)\ 10^6 = \left[(348+686)\ 10^6\right] + \left[(6+35)\ 10^6\right] + \left[(95+261)\ 10^6\right]$$

$$(1429 \cdot 10^6) = (1034 \cdot 10^6) + (41 \cdot 10^6) + (356 \cdot 10^6)$$

315 mm 228 mm 9 mm 78 mm

100 % = 72 % + 3 % + 25 %

II-8-4- Conclusion

L'établissement du bilan hydrologique par les différentes méthodes, nous a permis d'admettre que la valeur d'infiltration est comprise entre 20 et 30 % et la valeur du ruissellement est comprise entre 2 et 5 %, et enfin la valeur de l'évapotranspiration est comprise entre 70 et 80 % des précipitations annuelles.

o o

o

II 9- CONCLUSIONS GENERALES DU CHAPITRE

Dans le bassin versant de Fassa, nous constatons une répartition plus élevée des précipitations sur les versant montagneux que sur les plaines.

Le ruissellement sur les montagnes est également plus fort que sur les plaines. Par contre l'évapotranspiration est plus faible que sur les plaines.

Quant à l'infiltration, bien qu'apparemment très faible sur les plaines, elle y atteint tout de même 21 % des précipitations. L'infiltration dans les plaines se trouve accrue par l'infiltration des eaux des rivières qui amènent des débits importants provenant du ruissellement sur les montagnes.

Sur ces dernières, le taux d'infiltration atteint 25 % en moyenne et selon les zones, doit être compris entre 20 et 30 % de la lame d'eau précipitée.

En conclusion, l'étude de l'hydrologie du bassin versant de Fassa nousmontre que, malgré son caractère semi-aride, la région étudiée possède du fait du fort coefficient d'infiltration des eaux de précipitation ou de ruissellement des possibilités importantes d'existence de réserves souterraines dans la mesure où les formations géologiques qui constituent tant le substratum que la couverture récente de cette région présenteront une lithologie et une structure tectonique favorables.

L'évapotranspiration qui réduit modérément les quantités d'eau disponibles au moment des précipitations qui sont surtout hivernales ne peut influer sur le volume des réserves souterraines que dans la mesure où celles-ci seront proches de la surface et là encore, ce sont les conditions géologiques qui jouent un rôle prépondérant.

Ce sont enfin les conditions géologiques locales que nous allons étudier qui pourront amener une modification des propriétés physico-chimiques des eaux infiltrées.

CHAPITRE III

SITUATION GEOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA REGION DE FASSA

- Introduction
- Stratigraphie
- Tectonique
- Paléogéographie
- Caractéristiques hydrogéologiques des diverses formations
- Conclusion

CHAPITRE III

GEOLOGIE DE LA REGION DE FASSA

INTRODUCTION

Le bassin versant de Fassa se situe dans la zone plissée du Zagros qui est une zone bordière comprise entre la plate-forme arabique au Sud-Ouest et la zone de chevauchement du Zagros au Nord-Est.

La stratigraphie et l'évolution tectonique de ce secteur sont directement déterminées par cette position de telle sorte que les sédiments y sont très épais, mais que les zones de sédimentation se déplacent au cours des temps géologiques sous l'influence des déformations qui ont peu à peu abouti à la formation de la chaîne.

Dans le bassin versant de Fassa les sédiments les plus anciens sont représentés dans les dômes de sel qui seraient d'âge infracambrien.

Les formations du secondaire qui sont peu développées n'occupent qu'une faible partie de la surface de la région.

Les sédiments du Tertiaire, par contre sont très développés. Ils sont calcaires et souvent marneux ou représentés par des calcaires marneux, des niveaux gypsifères et des conglomérats.

III-1- STRATIGRAPHIE

III-1-1- Infracambrien (D.S.)

On attribue classiquement à l'Infracambrien les formations évaporitiques qui forment dans la région de Fassa, comme en bien des points du Sud de l'Iran des "dômes de sel". (G.M. Less en 1924 et J.V. Harison 1930). Ces formations qui comprennent des évaporites : gypses, anhydrite, sel gemme appartiennent à la série de l'Hormoz qui a été datée par les méthodes palynologiques.

Dans le bassin versant de Fassa, on connaît quatre de ces dômes de sel :

- le premier et le deuxième à l'Ouest de la ville de Fassa, à la montagne de Kouh-è-Kolahghazi mesurent 3,5 x 9,5 km et 2,5 x 9,5 km (fig. II-1) ;

- le troisième a situé au N.W. de la plaine de Gharabe i goun mesure 0,5 x 2,5 km ;

- et le quatrième situé au Sud de la région de Fassa, c'est-à-dire au S.W. de la plaine de Gharabei goun mesure 5 x 7,5 km.

Les contacts sont brutaux entre les structures diapyriques allongées N.S. et les couches sédimentaires. On n'aperçoit aucun lambeau de formations plus anciennes entre les éléments évaporitiques et les couches sédimentaires.

Les conditions d'apparition des "dômes de sel" et l'absence d'écailles de terrains primaires à leur périphérie permettent de se demander si les évaporites rencontrées correspondent bien à celles qui se sont déposées sur une vaste plateforme peu profonde ayant persisté du Précambrien à la fin du Cambrien en donnant des couches très épaisses dans tout le Sud de l'Iran ou s'il s'agit d'évaporites sédimentées à une époque plus récente tel que le Carbonifère ou le Permo-Trias dans des secteurs où la Paléogéographie est encore mal connue.

Ces évaporites de la fin du Primaire auraient pu résulter d'une sédimentation en bordure de mer, mais peut-être simplement pourraient parvenir du remaniement avec resédimentation dans des cuvettes fermées des évaporites de l'Infracambrien de même qu'à l'heure actuelle se redéposent sur des épaisseurs variables dans le bassin de Fassa des évaporites qui proviennent du lessivage des couches solubles des dômes de sel ou du Miocènes qui, pour ces dernières pourraient aussi être des évaporites de deuxième ou troisième génération.

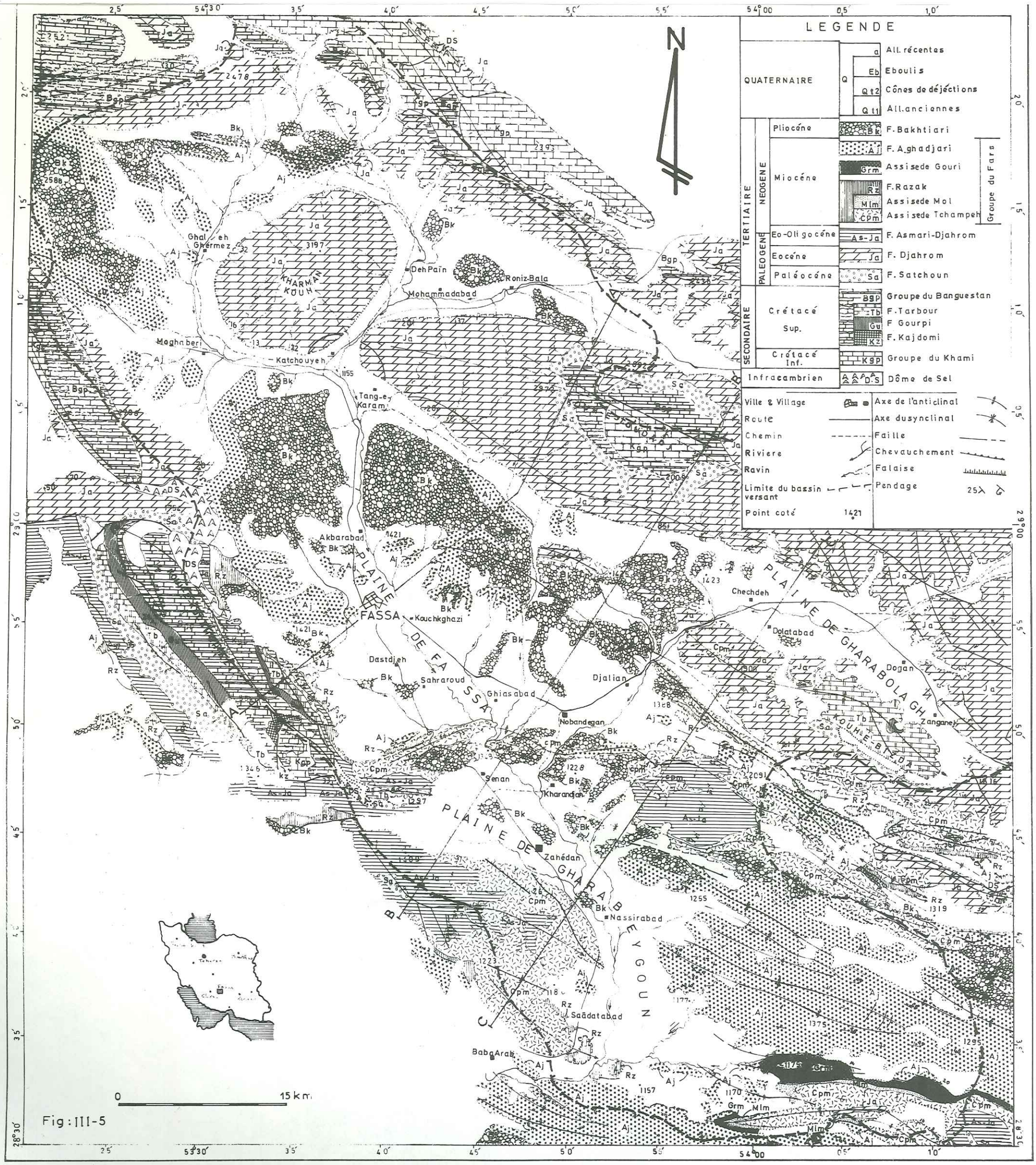
III-1-2- ERE SECONDAIRE

III-1-2-1- Crétacé

III 1-2-1-1- Conditions de sédimentation

Les conditions de sédimentation sont favorables au dépôt de calcaires au Crétacé.

A cause des transgressions et des régressions successives de la mer, on remarque cependant de nombreuses variations de faciès des sédiments dans lesquels on peut définir des cycles sédimentaires.


LEGENDE
QUATERNAIRE
Q
a All. récentes
Eb Eboulis
Q t2 Cônes de déjections
Q t1 All.anciennes
TERTIAIRE
NEOGENE
Pliocène
Bk F. Bakhtiari
Aj F. Aghadjari
Miocène
Grm Assise de Gouri
Rz F. Razak
Mlm Assise de Mol
Cpm Assise de Tchampeh
Groupe du Fars
PALEOGENE
Eo-Oligocène
As-Ja F. Asmari-Djahrom
Eocène
Ja F. Djahrom
Paléocène
Sa F. Satchoun
SECONDAIRE
Crétacé Sup.
Bgp Groupe du Banguestan
Tb F. Tarbour
Gu F Gourpi
Kz F. Kajdomi
Crétacé Inf.
Kgp Groupe du Khami
Infracambrien
DS Dôme de Sel
Ville & Village
Route
Chemin
Riviere
Ravin
Limite du bassin versant
Point coté 1421
Axe de l'anticlinal
Axe dusynclinal
Faille
Chevauchement
Falaise
Pendage 25
N
KHARMAN KOUH
PLAINE DE FASSA
PLAINE DE GHARABOLAGH
BIDEYGOUN
Ghaleh Ghermez
Deh Païn
Roniz-Bala
Mohammadabad
Maghaberi
Katchouyeh
Tang-e Karam
Akbarabad
Kouchkghazi
Dastdjeh
Sahraroud
Ghiasabad
Nobandegan
Senan
Kharandjan
Zahédan
Nassirabad
Saādatabad
Baba Arab
Chechdeh
Dolatabad
Djalian
Dogan
Zanganeh
0 15 km
Fig : III-5

Tous les sédiments qu'on trouve dans le Zagros, au Crétacé inférieur constituent la partie supérieure du groupe Khami (Néocomien) et au Crétacé moyen du groupe Banguestan (entre l'Aptien et l'Albien). Le groupe Khami est constitué de trois formations Fahliyan, Gadvan et Darian.

Le groupe Banguestan est constitué de quatre formations : Kajdomi, Sarvak, Surgah et Ilam.

Dans la région du Fars, on trouve seulement les formations Kajdomi, Sarvak et Ilam, mais dans le bassin de Fassa, on a une épaisseur très faible qui n'est que de quelques mètres dans certaines zones de la formation Ilam, qui est l'équivalent de la partie inférieure de la formation Gourpi (fig. III-2).

Dans la région du Fars, les sédiments néritiques de la formation Sarvak correspondent au Cénomanien. A la fin de cet étage, la mer régresse de nouveau. Dans cette zone, au Turonien et au Coniaien, il n'y a pas de sédimentation, et après cette lacune stratigraphique et une phase d'érosion, on trouve les sédiments marneux avec de rares couches calcaires de la formation Gourpi.

A la fin du Campanien, dans la partie Est et Nord du bassin de Fassa, la partie supérieure de cette formation passe à des calcaires peu profonds, récifaux avec Rudistes de la formation Tarbour qui monte jusqu'au milieu du Maestrichtien.

A la fin de cet étage, on a encore une régression et en raison de celle-ci entre Crétacé (secondaire) et tertiaire, il y a une lacune stratigraphique importante. Cette lacune existe au Nord et à l'Ouest du bassin de Fassa où se trouvent les formations de secondaire.

III-1-2-1-2- Crétacé inférieur

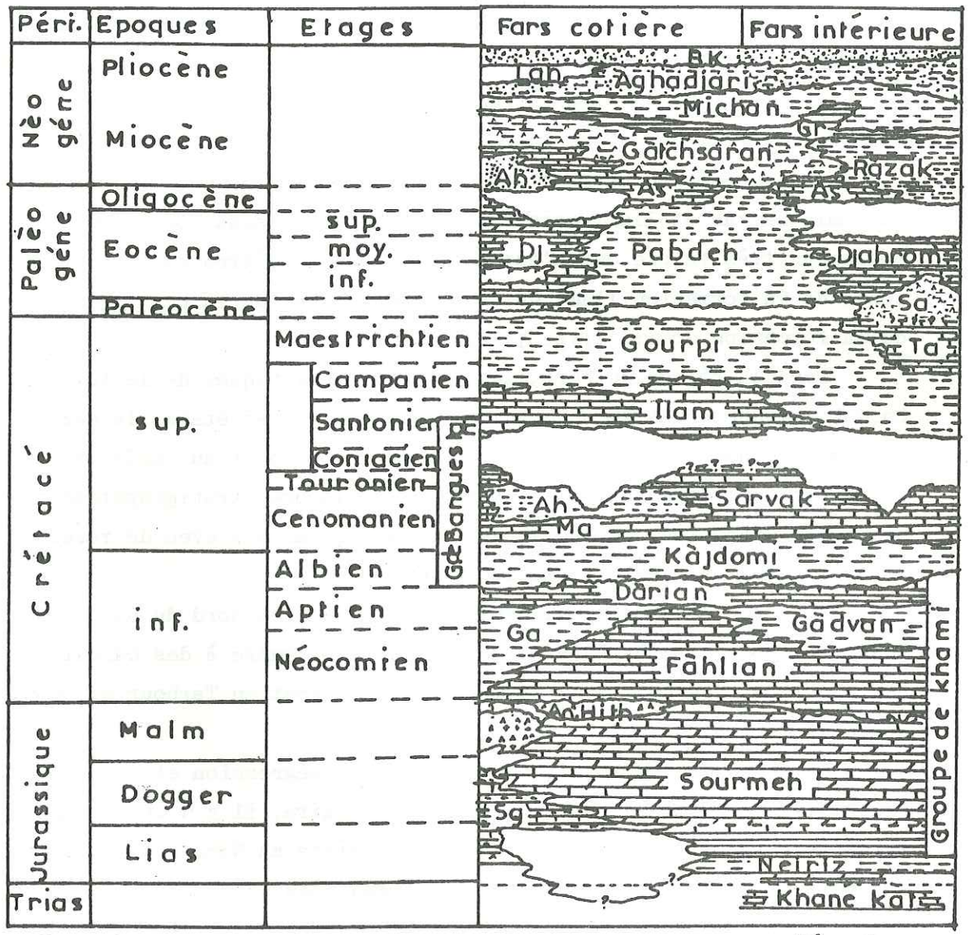
Groupe Khami (Kgp)

. Formation de Fahliyan

Cette formation est constituée de calcaires massifs qui se trouvent dans la montagne Kouh-é-Kolahghazi à l'Ouest de la ville de Fassa avec une puissance d'environ 360 mètres.

Le contact à la base avec les dolomies de la formation de Sourmeh et le contact au sommet avec les marnes et les calcaires marneux bien lités de Gadvan sont concordants.

Colonne géologique du FARS



d'aprés James et Wynd

Fig:III-2

. Formation de Gadvan

Cette formation comprend des alternances d'argiles, de calcaires et de marnes vertes et brunes qui se trouvent au Nord et à l'Ouest de la région.

La coupe-type de cette formation est à 42 km au N.E. de Chiraz avec une épaisseur d'environ 100 mètres.

. Formation de Darian

Elle est constituée de calcaires bruns et de calcaires oolitiques avec orbitolines. La coupe-type de cette formation est à 40 km au NE de Chiraz, près du village Darjan où elle a une épaisseur d'environ 285 mètres.

III-1-2-1-3- Crétacé moyen

Groupe Banguestan (Bgp)

. Formation de Kajdomi (Kz)

Cette formation est constituée d'alternances de calcaires et d'argiles brunes à orbitolines et globigérines. La coupe-type de cette formation est à Gatchsaran (Tang-è-Gorgdar) au S.W. de l'Iran avec une épaisseur d'environ 120 m. On la trouve sur la montagne à l'ouest de Fassa.

. Formation de Sarvak

Elle est constituée de calcaires marneux fins nodulaires (silex rouge) que l'on trouve au Nord et à l'Ouest de la région.

Les microfossiles connus dans cette formation sont :

Oligosteginides ; Rotalipora sp ; Ticinella sp. ; Orbitolina sp. (très rare).

La coupe-type de cette formation se situe au défilé de Sarvak, dans la partie centrale du flanc sud de la montagne de Banguestan où elle a une puissance de 800 m qui comprend 250 m de calcaires marneux fins gris nodulaires associés à des couches minces de marnes grises à petites ammonites , 120 m de Craie et Calcaires massifs , 400 m de calcaires bruns et massifs avec des fragments de Rudistes et en fin, la partie supérieure de cette formation est constituée de 40 mètres de calcaires ferrugineux.

L'âge de cette formation étant donné les microfossiles reconnus est Albien jusqu'à Turonien.

III-1-2-1-4 - Crétacé supérieur

. Formation de Gourpi (Gu)

Elle est constituée d'argiles bleues avec alternances de lits de calcaires marneux. On peut la voir sur la montagne de Kouh-è-Kolahghazi à l'Ouest de Fassa.

Cette formation repose en discordance sur la formation Sarvak.

La puissance de cette formation est d'environ 250 mètres dans la montagne de Kouh-è-Kolahghazi.

Les microfossiles de cette formation sont :

Globotruncana concavata ; Glt elenata ; Glt stuarti ; Glb contusa et Glb calcarata.

Ces microfossiles donnent à cette formation un âge Santonien - Maestrichtien dans la région du Fars. La coupe-type de ces sédiments est étudiée au défilé de Pabdeh au S.W. de la montagne de Pabdeh, au Nord du Champ pétrolifère de Lali (épaisseur 350 m).

. Formation de Tarbour (Tb)

Cette formation est constituée de calcaires massifs contenant des cristaux d'anhydrite avec une épaisseur d'environ 580 m à l'Ouest de la ville de Fassa sur la montagne Kouh-è-Kolahghazi et au Nord de la région.

Cette formation repose sur la formation Gourpi en parfaite concordance. Dans les sédiments de Tarbour, on a des fossiles néritiques, des microfossiles pélagiques accompagnés de coquilles de mollusques et rudistes et des algues. Les microfossiles de cette formation sont :

Omphalocyclus macoporus ; Siderolites calcitrapoides ; Orbitoïdes media et Dicyclina sp., qui correspondent à un âge Campanien supérieur jusqu'à Maestrichtien.

III-1-3- ERE TERTIAIRE

III-1-3-1- Conditions de sédimentation

En général, les faciès liés au début de l'ère tertiaire dans la région du Fars (Fars de bordure) après une lacune stratigraphique, constituent la formation Pabdeh, tandis que dans la province intérieure du Fars ils passent à des sédiments marneux et marno-calcaires et à des gypses de la formation Satchoun. Sur ces sédiments on a la formation Djahrom . On peut dire qu'on a eu encore un changement de niveau et d'extension de l'eau, par suite de la transgression de la mer dans cette région. On remarque que la formation Djahrom est aussi équivalente de la formation Padbeh.

Les mouvements orogéniques, au sud de l'Iran étaient actifs à l'ère tertiaire. Le bassin sédimentaire de l'Iran méridional a été divisé en plusieurs bassins séparés, durant la deuxième moitié de l'ère tertiaire. C'est pourquoi, dans la région intérieure du Fars qui comprend également la région de Fassa, on a une lacune stratigraphique entre les formation Djahrom et Asmari qui correspond à une régression de la mer. Pour cette raison, on trouve de temps en temps la formation Razak sur les sédiments de Djahrom.

Après la sédimentation de l'Asmari, à l'Oligocène et au début du Miocène, on trouve des dépôts évaporitiques, car après les mouvements orogéniques et la régression, on avait un bassin sédimentaire fermé. On trouve donc les sédiments évaporitiques avec couches de gypse de la formation Razak. Au Miocène moyen, par suite de la subsidence régionale et de la transgression de la mer, la sédimentation évapotitique cesse et on trouve des sédiments marneux, accompagnés des couches de calcaires de la formation Michan .

A la fin du Miocène, la mer régresse à nouveau, et de ce fait, au Miocène supérieur on trouve des grès et microconglomérats de la la formation Aghadjari.

Au Pliocène, des mouvements orogéniques très forts affectent tous les bassins du Zagros qui sont plissés. A cause de ce plissement, on a une discordance très nette entre la formation Aghadjari et le conglomérat Bakhtiari d'origine fluviatile qui est un sédiment post-orogénique.

III-1-3-2 - Paléocène

. Formation de Satchoun (Sa)

Comme il a été déjà indiqué, cette formation n'existe que dans la province intérieure du Fars. Elle est constituée de gypses, marnes et dolomies. Les sédiments de cette formation se trouvent dans toute la région étudiée, du Nord de la montagne Toudadj jusqu'au sud, c'est-à-dire presque dans tout le bassin versant.

Les microfossiles de cette formation sont : Omphalocyclus macroporus ; Loftusia sp. ; Siderolites sp. qui lui confèrent un âge fin Maestrichtien-Eocène inférieur.

La partie inférieure de la formation Djahrom est liée au Paléocène, car on y trouve les microfossiles : Miscellanea sp. ; Glomalveolina sp. ; Nummulites globosus.

La coupe-type de cette formation est à 5 km au Nord du village Satchoun et à 250 km au N.W de Chiraz. C'est une formation évaporitique dénommée : gypse-infra-nummulitique. La partie supérieure de cette formation est équivalente de la partie inférieure des formations Djahrom et Pabdeh.

III-1-3-3 - Eocène

. Formation de Djahrom (Dj)

La coupe-type de cette formation est située à Tang-Ab, au bord de la montagne Djahron à 90 km au sud de la région étudiée.

A la base de cette formation, on a presque 30 mètres de dolomies massives brunes puis 160 m de dolomies fines et ensuite au sommet on a 270 m de calcaires dolomitiques avec beaucoup de microfossiles.

Cette formation est bien développée dans le bassin versant de Fassa, particulièrement au Nord et au Nord-Ouest de la région sur les montagnes Kharman-Kouh et Kouh-é-Toudadj. Il y a beaucoup de fossiles, particulièrement des nummulites, de telle sorte qu'on peut les appeler "les calcaires nummulitiques".

Le caractère bien lité de cette formation donne une géomorphologie spéciale. L'intersection des bancs avec la surface topographique donne des courbes fermées, bien visibles sur photos aériennes.

Les microfossiles de ces sédiments sont : Miscellanea sp. ; Nummulites globulus ; Opertorbitolites sp. ; Somalina sp. ; Alveolina oblonga ; Orbitolites Complanatus ; Nummulites beaumonti et Nummulites alturicus.

Etant donné les fossiles de la coupe-type, l'âge de cette formation est Paléocène-Eocène moyen.

Les sédiments du sommet de la formation Djahrom contiennent des fossiles liés à l'Eocène supérieur, comme Nummulites fabianii ; Champanina sp. et Pellatispira sp. De façon générale, on peut dire que la formation Djahrom est liée au Paléocène et à l'Eocène supérieur.

III-1-3-4 - Oligo-Miocène

. Formation d'Asmari-Djahrom (As-Dj)

Cette formation a été dénommée : calcaires Euphrate, calcaires Khamir et calcaires Kalhor.

La coupe-type de ces sédiments se situe au défilé Guel-Torch sur le flanc S.W de l'anticlinal de la montagne Asmari, qui a été étudiée pour la première fois par R.K. Richardson, puis Thomas en 1950.

Les sédiments de cette formations sont constitués de calcaires fossilifères, poreux, résistants, souvent à matrice de calcite microcristalline de couleur crème. Ces sédiments sont développés dans toute la région.

Au point de vue biostratigraphique, cette formation se divise en trois parties, et chaque partie contient beaucoup de microfossiles qui sont :

. sédimentation inférieure : (Oligocène)
Nummulites intermedius ; N. vascus ; Peneroplis thomasi

. sédimentation moyenne : (Miocène inférieur)
Peneroplis evalutus ; Neandropsina arabensis

. sédimentation supérieure : (Miocène inférieur)
Neoalveolina melo Curdica ; Meandropsina iranica.

De façon générale, cette formation est liée à l'Oligocène - Miocène inférieur. Ces sédiments reposent en discordance cartographique sur la formation Djahrom.

Il faut ajouter, comme l'a montré L.E. Ricou, qu'il y a eu migration des zones de sédimentation dans la bordure du Zagros entre l'Eocène et l'Oligocène, ce qui se traduit par un diachronisme des faciès. Sur les montagnes au Sud de la région de Fassa, on n'a pas pu distinguer les deux formations qui sont désignées sous le nom d'Asmari-Djahrom.

III-1-3-5- Miocène inférieur

. Formation de Razak (Rz)

Cette formation est constituée de marnes rouges, vertes et grises avec des couches gypseuses très visibles et des calcaires.

Ces sédiments sont en concordance parfaite entre les calcaires résistants de la formation Asmari au-dessous et les calcaires de Michan au-dessus.

On ne trouve ces sédiments que sur les bordures des montagnes Kouh-é-Kolahghazi et Bizda et au sud de la région étudiée.

Les microfossiles de cette formation sont : Rotadis ; Charophyta ; Neoalveolina melo curdica ; Dentritina rangi.

La coupe-type s'observe sur le flanc Nord de la montagne Djahrom, à 37 km au N.W. de la ville de Djahrom, c'est-à-dire à peu près 50 km au Sud de la région étudiée.

III-1-3-6 - Miocène (Groupe du Fars)

Dans le sud de l'Iran, le Miocène est représenté par le groupe du Fars, qui comporte trois formations (selon l'étude de Pilgrim, 1908) et repose en concordance sur la formation Asmari.

Ces trois formations sont : Gatchsaran, Michan et Aghadjari.

III-1-3-6-1- Fars inférieur

. Formation de Gatchsaran

Comme on l'a déjà indiqué, dans cette région, la formation de Razak est équivalente de celle de Gatchsaran. Celle-ci comprend sept assises dans la région sud-est de l'Iran (selon l'étude de Pilgrim en 1908 dans le Khouzestan) n'en contient plus que trois dans la

région du Fars (selon l'étude de L.E.T. Parker) et deux dans la région étudiée. Ces deux assises sont connues sous les noms de l'éssise de Tchampeh et de l'assise de Mol.

. Assise de Tchampeh (Cpm)

Elle est constituée de marnes grises et rouges avec des alternances de lits de calcaires gypsifères et aussi de dolomies nodulaires avec une épaisseur d'environ 100 m.

Les microfossiles de ces sédiments sont : Miogypsina sp. ; Necalvéolina melo cardica, Bryoza.

Le développement de cette assise dans le sud de la région étudiée est fréquent.

. Assise de Mol (Mlm)

Ses sédiments sont des marnes avec des alternances de lits fins calcaires gypsifères rouges et gris avec une épaisseur d'environ 50 m. Elle est remarquable à cause de sa couleur dans la région du Fars.

Les microfossiles de ces sédiments sont :
Neoalvéolina melo Curdica ; Meandropsina arabensis et Peneroplis farsensis.

La coupe-type est située à la partie centrale du flanc sud de la montagne Gatchsaran et également sur la montagne Namaki au S.E. de l'Iran.

III-1-3-6-2- Fars moyen

. Formation de Michan

. Assise de Gouri (Grm)

La seule formation connue de la formation de Michan est l'assise Gouri. Elle est constituée de calcaires fossilifères de couleur crème avec des alternances de lits fins gris marneux. L'épaisseur de ces sédiments est d'environ 100 m. La coupe-type de cette formation s'observe à 29 km au S.E. de la ville de Lar et à 18 km à l'est et au SE du village de Nimeh à l'est de la montagne de Gatch.

Le contact à la base avec les sédiments de l'assise de Mol est concordant. Les fossiles de cette formation sont :

Globigerinoides trilob a, et G. tribola,
Sacculifera. L'âge de cette assise est Miocène inférieur jusqu'à Miocène moyen.

On l'a trouvé au sud de la plaine de Fassa et à l'Est de la plaine de Gharabeigoun.

III-1-3-6-3 - Fars supérieur

. Formation d'Aghadjari (Aj)

Cette formation est développée au N.W. à l'Ouest et particulièrement au sud de la région étudiée. Elle est en concordance sur la formation de Michan.

Les sédiments de cette formation sont constitués de grès altérés de couleur gris et marron clair et aussi de marnes gypsifères de couleur rouge.

La coupe-type de cette formation se situe le long de la route d'Omidieh aux puits de pétrole de la région d'Aghadjari et comprend une épaisseur de 600 - 3000 mètres dans les différentes régions.

Les microfossiles de cette formation sont : Elphidium hanerinum ; Rotalia beccarii. Ces microfossiles confèrent à cette formation un âge Miocène supérieur-pliocène.

III-1-3-7 - Pliocène

- Formation Bakhtiari (Bk)

Les sédiments de Bakhtiari sont constitués de conglomérats résistants contenant particulièrement des galets de roches siliceuses et de calcaires nummulitiques de couleur claire ; avec un ciment calcaire ou siliceux qui reposent en discordance angulaire sur les formations d'Aghadjari. La formation Bakhtiari est une formation postorogénique consécutive au démantèlement de la chaîne naissante du Zagros, pendant les mouvements alpins.

On trouve cette formation dans toute la région étudiée, particulièrement au Nord et à l'Est de la plaine de Fassa où elle est bien développée.

Le nom de cette formation vient de la tribu de Bakhtiari répandue dans la région du Fars et du Khouzestan.

La coupe-type se situe dans le défilé de Landre, au Nord de Masdjed-Soleyman au S.E. de l'Iran.

III-1-4- Ere quaternaire

- Les formations de couverture

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

III-1-4-1- Les alluvions anciennes (Qt_1)

Ces alluvions couvrent une partie des plaines de la région de Fassa. On les aperçoit souvent en bordure des plaines, à la limite des parties rocheuses des montagnes et des limons des plaines.

Ces alluvions sont formées par des graviers et sables avec une forte proportion de matériaux fins. La nature lithologique de ces alluvions dans la région de Fassa, varie suivant la nature des roches du versant montagneux.

En profondeur, les alluvions sont formées par une alternance de limons argileux ou finement sableux, de sables et graviers, et parfois d'éléments grossiers (selon des profils des puits et des sondages mécaniques). Elles sont également parfois cimentées et à première vue, ressemblent aux conglomérats de Bakhtiari, mais la différence entre les deux formations est le degré d'arrondi. Les alluvions sont moins arrondies que la formation Bakhtiari.

III-1-4-2- Les alluvions récentes (Qt_2)

Elles sont très développées dansla région de Fassa et sont formées d'un mélange de graviers, de sables et d'argiles. La granulométrie de ces alluvions devient de plus en plus fine d'amont en aval. Les alluvions les plus grossières, donc les plus perméables se trouvent apparemment au Nord et en amont des plaines.

Vers le sud de chaque plaine de la région de Fassa, les alluvions récentes sont à faciès de plus en plus fin.

Les épaisseurs des alluvions dans la région sont très variables. Elles pourraient atteindre, selon les données fournies par les sondages et la géophysique électrique, 110 mètres.

III-1-4-3- Les cônes de déjections (Qt_1)

Les cônes de déjections et leurs épandages sont très développés dans la région de Fassa. On les voit très souvent en bordure des montagnes, particulièrement en bordure de la formation Bakhtiari. 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'étalant loin dans la plaine.

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

Il y a beaucoup de puits semi-profonds avec des débits considérables dans ces formations. On note aussi que les canaux des ghanates coupent toujours dans cette région les cônes de déjection qu'ils drainent partiellement.

III-1-4-4- Les éboulis (Q_1)

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, les calcaires marneux, avec une morphologie plus molle , ne donnent que des débris fins. Dans l'état actuel, il semble que le ruissellement est insufisant pour transporter les produits d'érosion, malgré cela, on peut les rencontrer au pied des falaises des montagnes de Kharman-Kouh et Toudadj.

III-1-4-5- Les limons (Q)

Les matériaux fins et les limons sont déposés sur une surface très étendue dans la partie centrale des plaines de cette région. Ils sont très fins et parfois sales, ils proviennent d'épandages de crues. Les limons sont limités autour des plaines par des alluvions et des cônes de déjection.

III -2 - TECTONIQUE

III-2-1- Structure générale du sud de l'Iran

Le système méridional où la chaîne du Zagros, est allongée selon la direction NW-SE commence à la frontière de la Turquie au NW et se poursuit jusque près de la ville de Kerman au SE de l'Iran (fig. III-3).

La direction des plis de cette chaîne est généralement NW-SE. La structure de la chaîne du Zagros est liée aux mouvements orogéniques de la fin du Crétacé et aux mouvements plus forts de la fin du Tertiaire. Le sens des compressions tectoniques fortes est dirigé de l'Iran central vers le bouclier arabe et on a dans cette zone un resserrement et un déversement des plis.

III-2-2- Classification de la zone du Zagros

Généralement, on peut dire que la zone du Zagros, au point de vue tectonique, comporte deux parties :

1°) La zone plissée du Zagros

La première partie de la zone plissée du Zagros est la zone pétrolière du Khouzestan au SW de l'Iran et Karkouk en Irak. Dans cette partie, les plissements sont réguliers et simples; on a à peu près toujours les sédiments Mio-Pliocène en surface, qui recouvrent des calcaires de la formation Asmari qui sont riches en pétrole.

Si on avance vers le centre de l'Iran, les compressions augmentent. Dans cette zone, on peut voir des plis verticaux et inverses, à cause de la proximité de la zone de chevauchement du Zagros.

Le bassin versant de Fassa où se situe notre étude hydrogéologique est situé dans cette partie du Zagros.

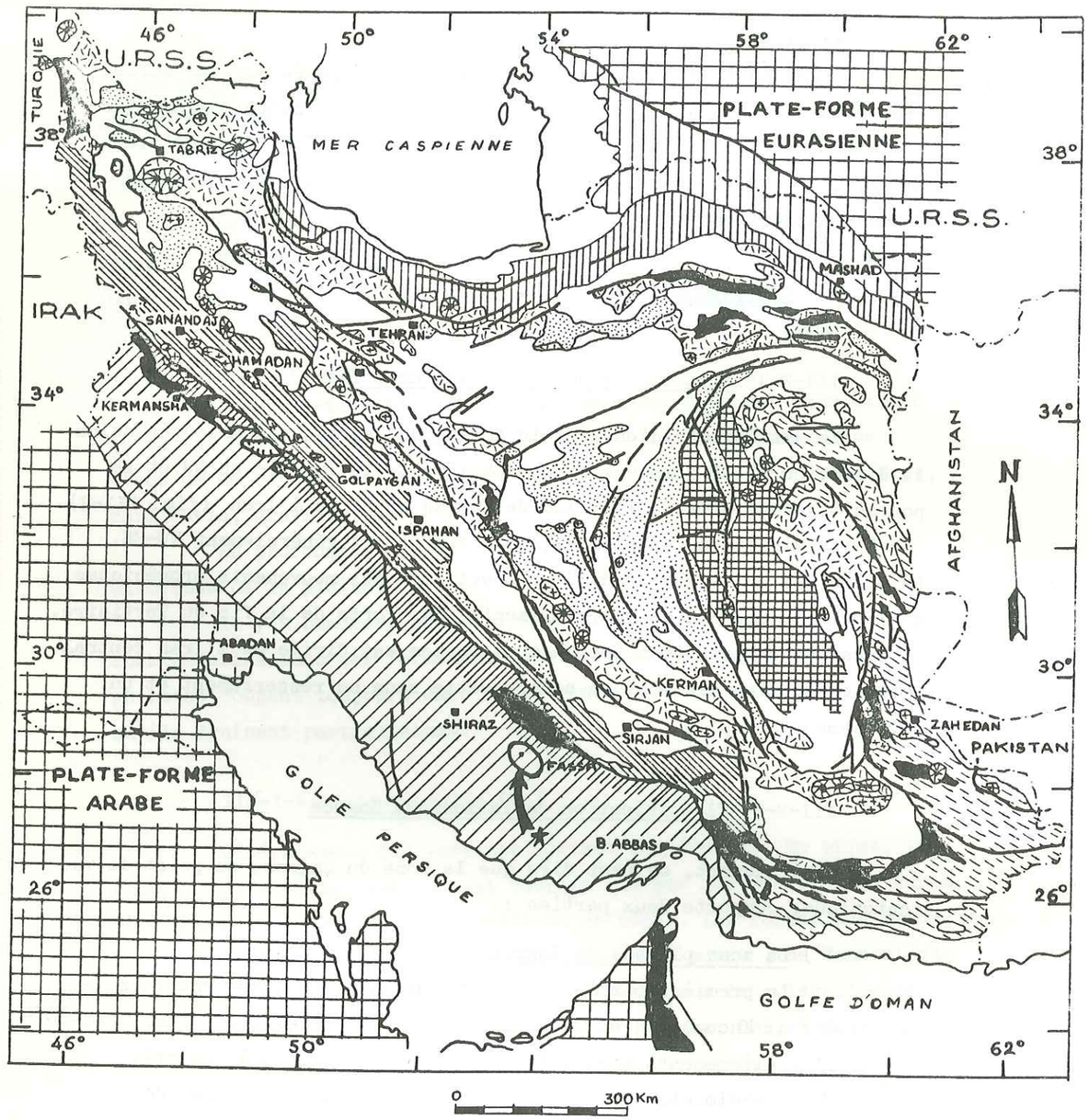


Fig III-3 - Carte tectonique schématique

2°) La zone de chevauchement du Zagros

La deuxième partie de la zone plissée du Zagros est la zone du chevauchement du Zagros. Dans cette partie, il y a beaucoup de charriages et de fractures. Pour cette raison, on ne peut pas retrouver facilement les pentes et directions générales des plis.

Dans cette partie, on peut voir aussi les effets d'un métamorphisme régional. Dans les montagnes Kolikoch, sur la route de Chiraz-Isfahan, environ 250 km au Nord de la région étudiée, on peut voir remarquablement une zone métamorphique.

La zone du Zagros correspond à une ligne de chevauchement du bouclier de l'Iran Central sur le sillon du Zagros, par une grande faille inverse.

Au point de vue paléogéographique, on suppose que cette zone du Zagros était liée à la plus profonde partie du géosynclinal au secondaire et au début du Tertiaire. Les eaux du géosynclinal ont été repoussées progressivement au cours des temps géologiques du NE vers le SW pour prendre la position actuelle du Golfe Persique.

Les sédiments de ce géosynclinal sont des marnes fossilifères (Globigerina), radiolarites et ophiolites et les flyschs.

La zone du Zagros a été influencée par tous les mouvements orogéniques du Trias au Pliocène. On l'appelle zone de chevauchement du Zagros.

Ce chevauchement est entièrement rectiligne et c'est une fracture très profonde et ancienne qui sépare les plate-formes Arabique et Iranienne.

III-2-3- Tectonique du bassin versant de Fassa

Comme on l'a déjà indiqué, la zone étudiée est située dans la chaîne du Zagros et au point de vue tectonique est donc évidemment liée à la zone plissée de cette chaîne (Zagros).

Les plissements dans cette partie sont tellement intenses que l'on voit les couches anciennes en surface. Par exemple, on peut voir au NE et à l'Ouest de la ville de Fassa au centre des montagnes Toudadj et Kolahghazi et également à l'extrême Nord de la région étudiée, vers le lac Bakhtegan, les sédiments du Crétacé moyen, former des plis réguliers avec des pendages entre 35 et 60 degrés et des directions NW-SE ainsi que des chevauchements et des failles.

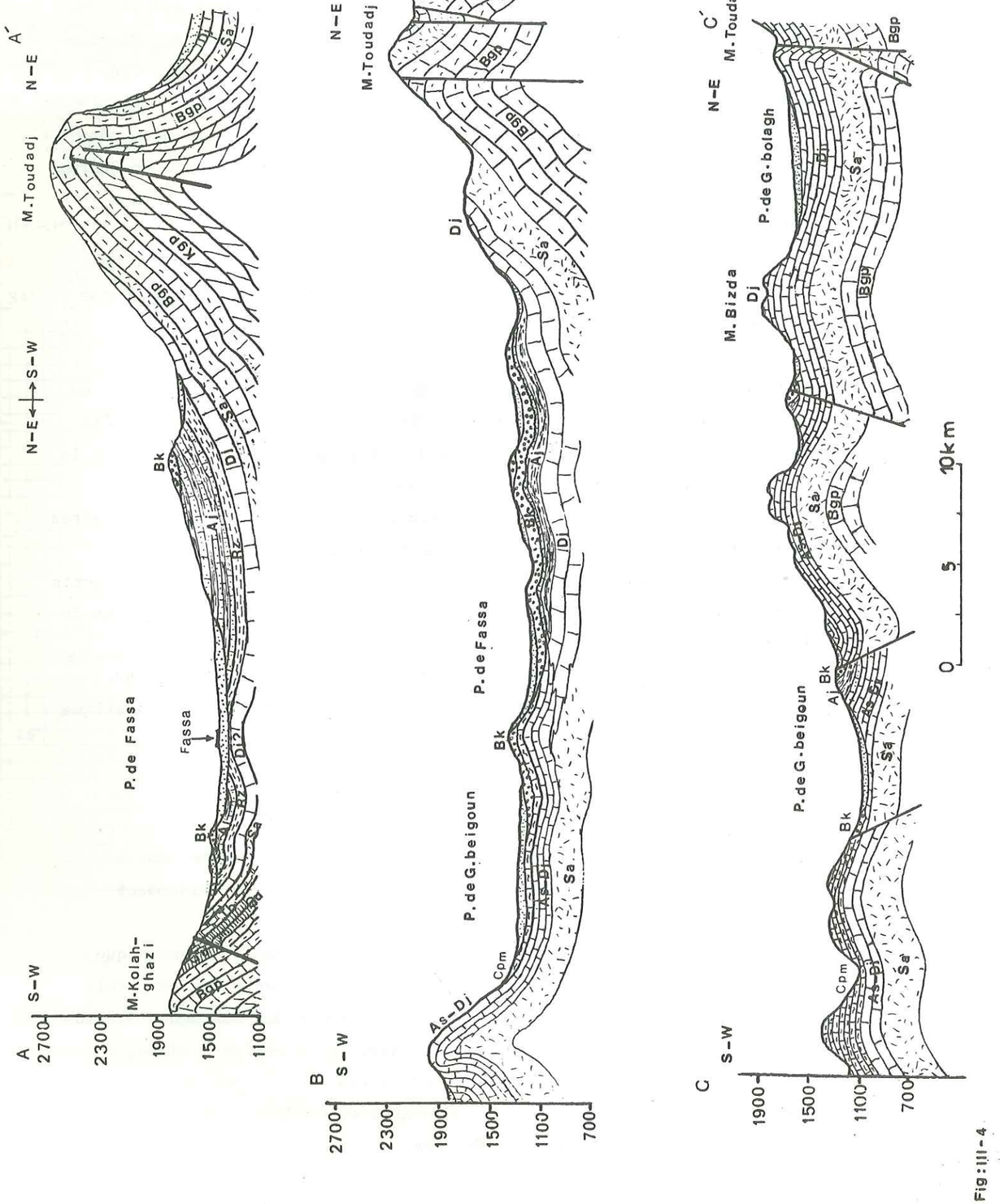


Fig:III-4

Dans cette région, on ne voit pas d'intrusions de massifs ignés ou magmatiques dans les sédiments, mais autour des dômes de sel, on peut trouver des fragments des roches basiques.

De façon générale, le système de plissement de la chaîne du Zagros est un système Appalachien et Jurassien, c'est-à-dire que la plupart des anticlinaux forment des reliefs et au contraire les synclinaux forment les fonds de cuvettes.

III-3- PALEOGEOGRAPHIE

Au point de vue paléogéographique, la région du bassin versant de Fassa montre que le développement des sédiments du Tertiaire est limité au Nord de la région du lac Bakhtégan dans laquelle il n'existe pas de sédiments du Tertiaire. On peut donc dire que la partie centrale du bassin du lac Bakhtégan a émergé après les mouvements orogéniques de la fin du Crétacé. Au Paléocène-Miocène, dans cette zone on n'a pas eu de sédimentation par suite d'une régressio; on y trouve les sédiments post-orogéniques de Bakhtiari, qui correspondent à des dépôts d'origine fluviatile.

Au cours des ères secondaire et Tertiaire, dans le bassin versant de Fassa, la sédimentation est liée aux changements d'extension de la mer, liés eux-mêmes aux mouvements tectoniques. Par exemple, la mer profonde de l'Eocène disparaît au Miocène. Les sédiments évaporitiques du Miocène indiquent la présence d'un bassin sédimentaire fermé à cette période.

De façon générale, on peut dire que lebassin versant de Fassa a émergé à la fin du Miocène par suite des mouvements orogéniques très forts du Pliocène.

III-4 CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES DIVERSES FORMATIONS

Les formations de calcaires et les dolomies à cause de nombreuses fractures en général, 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.

III-4-1- Les calcaires de l'Eocène (F. de Djahrom)

On rencontre principalement ces calcaires dans le massif de Kharman-Kouh et dans la plus grande partie de Kouh-é-Toudadj. Ils ont été intensément fissurés au cours des divers mouvements tectoniques qui les ont affectés.

Ces formations sont donc très fissurés et les diaclases recoupent les plans de stratification, créant ainsi des possibilités de circulation des eaux 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 ces calcaires 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 ces calcaires affleurent sur des 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.

La superficie de ces formations dans la région est d'environ 477 km2.L'ensemble du débit des sources et des ghanates alimentées par ces calcaires au mois de juillet 1970 (mois le plus sec) était de 661 l/s. Par conséquent, le débit spécifique de cette formation était de 1,4 l/s/km2.

Si le débit ci-dessus est le débit permanent de cette formation dans le bassin versant de Fassa, on peut donc dire que la lame d'eau de pluie infiltrée dans cette formation serait de l'ordre de 45 mm/an soit $21 \cdot 10^6$ m3.

En conséquence, en tenant compte des débits assez considérables des sources et des ghanates alimentées par ces calcaires au cours du tarissement, on peut se rendre compte de l'intérêt de ces calcaires.

Les sources et les ghanates alimentées par ces calcaires sont reportées dans le tableau suivant :

Tableau III-5 : Localisation des ghanates et des sources alimentées par les calcaires de As-Dj et de Dj.

Ordre	NOM	LOCALISATION	DATE	DEBIT l/s
1	S. * Ghamp-e-Atachk deh	Katchouyeh	16. 7.1970	65
2	Gh * Dachté chib	Chamsabad	16. 7.1971	45
3	Gh. Dachté Olya	Roniz Olya	17. 7.1971	35
4	Gh. Olya-meymouni	" "	"	18
5	Gh. Farah abad	" "	"	5
6	Gh. Douhak	Chamsabad	16. 7.1971	14
7	Gh. Atabaki	"	"	7
8	Gh. Sadeghabad	"	"	11
9	Gh. Katchouyeh	Katchouyeh	16. 7.1970	12
10	S. Madjd	Akbarabad	26.10.1970	58
11	S Tchehel-Tchechmeh	Tang-e-Karam	16. 7.1970	70
12	S Sarvak	Sarvak	2.11.1970	6
13	Gh Chamsabad	Chamsabad	16. 7.1970	50
14	Gh. Abbide	Tang-e-Karam	17. 7.1970	22
15	Gh. Aosseyn abad	" "	"	25
16	Gh. Bala bide	" "	"	28
17	Gh. vakil abad	" "	"	55
18	Ghaderabad	Ghaderabad	"	58
19	Gh. Salehabad	Salehabad	29. 7.1970	65
20	S. Morghak	Roniz	11. 7.1970	12
	TOTAUX	-	-	661

* S = source Gh . Ghanate

III-4-2- Les calcaires de l'Oligo-Miocène (F. de Asmari-Djahrom)

Du point de vue de la fracturation, ces formations sont similaires à celles de Djahrom, mais les argiles de décomposition qui remplissent parfois des diaclases sont le signe de circulations anciennes d'eau; ces dernières ont également profité des interlits eux aussi colmatés par ces argiles. En raison de ce colmatage argileux, on peut affirmer que la perméabilité diminue dans l'ensemble de ces calcaires. Cependant, en tenant compte du débit spécifique moyen lié à ces calcaires dans la région de Chiraz (bassin versant du Moharlu , étudié par l'Institut d'Hydrologie de l'Iran) au Nord Ouest du lac Moharlu , au cours du tarissement qui était de l'ordre de 1,5 l/s/km2, on peut donc calculer pour ceux de la région de Fassa la lame d'eau tombée sur ces calcaires qui serait de 47 mm/an, soit $11 \cdot 10^6$ m3/an.

Les débits des sources, des ghanates et également des puits creusés à côté des calcaires qui les alimentent sont assez considérables.

La superficie de cette formation dans le bassin représenté est de 231 km2 environ.

III-4-3- Les calcaires du Crétacé (Kgp et Bgp)

La superficie occupée par ces calcaires dans le bassin est d'environ 258 km2. On peut les rencontrer dans la partie septentrionale de la plaine de Roniz située au Nord de la région étudiée et aussi dans la partie orientale de la montagne Toudadj et également dans la montagne Kolahghazi située à l'ouest de la ville de Fassa.

Ils sont également diaclasés, mais à côté de ces formations, il n'y a pas de signe de sources très importantes. Toutes ces formations dans cette région constituent un réservoir de capacité limitée ; par contre, dans la partie septentrionale du Zagros, elles ont un caractère karstique prononcé.

III-4-4- Les formations de conglomérats

Elles 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, s'il a été diaclasé.

La perméabilité des conglomérats, qui ne sont pas très cimentés n'est pas négligeable, mais la valeur de cette perméabilité reste faible et très inférieure à celle des alluvions quaternaires non cimentées qui les surmontent.

III-4-5- Les alluvions et les cones de déjection

Elles ont essentiellement une perméabilité en fonction de leur 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 les dépôts du 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. On y trouve des galets, graviers et des sables. La perméabilité également est la plus forte dans les alluvions des vallées anciennes, où la prospection géophysique a mis en évidence d'anciens lits de rivière, recouverts par des alluvions récentes dont on parlera plus loin .

Les perméabilités des cônes de déjection vont en croissant quand on se rapproche de la montagne, en raison du classement qui affecte en moyenne les matériaux déposés par les torrents.

III-4-6- Les formations imperméables

En admettant qu'il n'existe pratiquement pas de terrains imperméables, on peut imaginer que tous les terrains qui ont une perméabilité très faible, sont imperméables ; ils sont donc :

- Les roches cohérentes non fissurées et à faible porosité, calcaires compacts.

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

III-5- RESUME

Dans l'ensemble des formations stratigraphiques représentées dans la région de Fassa, les formations perméables sont :

. Les calcaires de l'Eocène et l'Oligo-Miocène (F. de Djahrom et Asmari-Djahrom) ;

. Les alluvions et les cônes de déjection, et à moindre degré les conglomérats de Bakhtiari.

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

o o
o

III-6- CONCLUSIONS GENERALES DU CHAPITRE

L'étude géologique, stratigraphie, tectonique et hydrogéologique des diverses formations du bassin versant de Fassa montre que les seules formations présentant un grand intérêt hydrogéologique sont les calcaires des formations Djahrom et Asmari-Djahrom, du fait de leur grande épaisseur, de leur état de fracturation et de leur extension considérable particulièrement au N et NE, tant à l'affleurement qu'en profondeur dans toute la région.

A l'exception des conglomérats de Bakhtiari, toutes les autres formations du substratum ne présentent pas de possibilités de ressources en eaux intéressantes, soit en raison de leur imperméabilité, soit en raison de leurs teneurs en sulfates ou autres sels.

Dans l'ensemble des calcaires du Crétacé, il y a bien quelques possibilités aquifères mais les conditionstopographiques et également les caractères de la fracturation qui limitent la capacité de l' aquifère ne permettent pas d'exploitation.

La tectonique cassante qui est venue se surimposer au système de plis de cette partie du Zagros joue également un rôle essentiel dans la localisation des zones d'infiltration et de circulation des eaux.

Par ailleurs, la connaissance de l'évolution de la sédimentation dans la région en fonction des phénomènes tectoniques permet de comprendre les variations de faciès que l'on peut voir au sein de la masse des calcaires Djahrom et Asmari-Djahrom.

Ce sont les éléments provenant des formations du substratum que nous retrouvons dans les sédiments qui constituent le remplissage des plaines de comblement. Nous verrons un peu plus loin l'importance de l'ensemble alluvial du point de vue du caractère hydrogéologique.

o o
o

CHAPITRE IV

ETUDE GENERALE DES ALLUVIONS PAR PROSPECTION GEOPHYSIQUE

- Introduction
- Interprétation des résultats à partir des coupes des profils de sondage électrique
- Interprétation des cartes
- Conclusion

CHAPITRE IV

ETUDE GENERALE DES ALLUVIONS PAR PROSPECTION GEOPHYSIQUE

INTRODUCTION

Il s'agit essentiellement d'étudier les alluvions qui constituent le principal réservoir aquifère, de déterminer leur épaisseur, leur résistivité, la nature de leur substratum de mettre en évidence l'ancien lit de la rivière et en outre de déterminer la profondeur des calcaires dans certaines zones voisines des affleurements.

La campagne a été effectuée par la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.) et le groupe des ingénieurs Conseils ABKAV.

Les travaux sur le terrain se sont étalés sur deux périodes :

la première du 12 octobre au 22 novembre 1970 ;

la deuxième du 9 octobre au 22 novembre 1971.

Pour cette étude ont été exécutés 265 sondages électriques (S.E.) dont les longueurs de ligne AB d'envoi de courant sont égales :

AB $\leqslant$ 1000 m pour 99 S.E.

AB = 1500 m pour 68 S.E.

AB = 2000 m pour 98 S.E.

Il faut ajouter que pour l'altimètrie on a donné à la ville de Fassa la cote de + 1375 m.

Il faut également dire que quelques sondages électriques réalisés à proximité des formations et des forages ont permis d'étalonner et d'évaluer à partir des diagraphies électriques la résistivité des diverses formations.

La distance entre les profils varie de 2 à 3 km et on a essayé de les réaliser perpendiculairement au relief topographique.

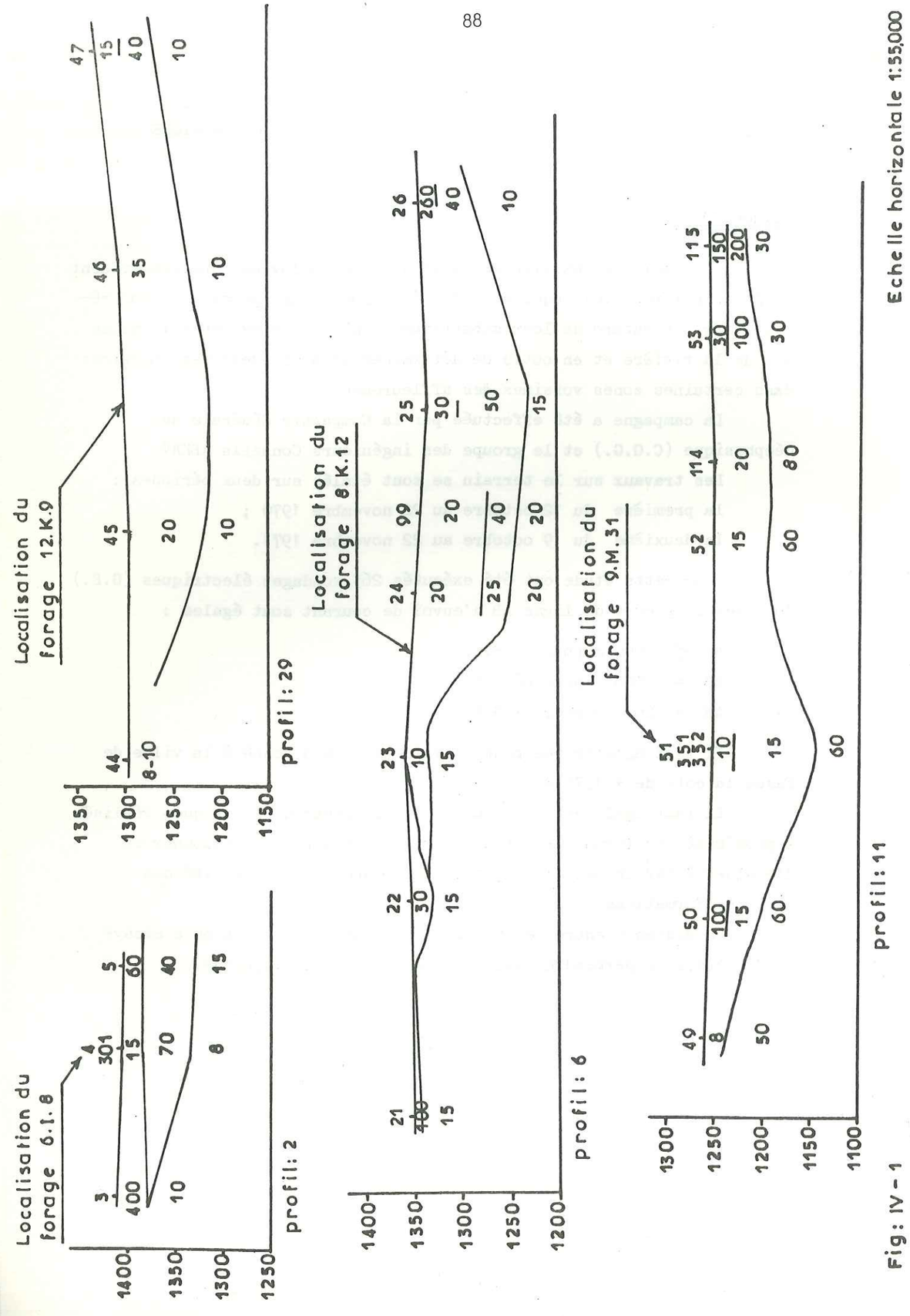


Fig: IV - 1

IV-1- INTERPRETATION DES RESULTATS OBTENUS DANS LES PLAINES DE FASSA ET DE GHARABEIGOUN

IV-1-1- Interprétation des résultats à partir des profils de résistivités dans la plaine de Fassa

Les résultats sont obtenus par les coupes 1 à 10 ; 5 bis ; 28 ; 29 et 30.

Des forages ont été exécutés en amont du profil 2 (S.E. 301 et 302), dans Fassa près du S.E. 308, près du profil 6 (S.E. 305 et 356), près du S.E. 312 et au S.E. 314. Tous ces forages ont pratiquement confirmé l'interprétation initiale (fig. IV-1).

A l'exception du profil 1 et des profils 9 et 10, le substratum de la plaine est constitué uniformément par les formations conductrices miocènes à 7-20 ohm.m (voir fig. IV-7).

Le recouvrement a des résistivités variables de 10 à 80 ohm.m (alluvions humides). Les résistivités sont en général plus élevées à l'emplacement des vallées fossiles, où l'épaisseur des alluvions est d'une centaine de mètres. La figure IV-2 montre quelques types de S.E. obtenus.

Sur le profil 1, le substratum est constitué de conglomérats et il n'est pas possible de les différencier des alluvions.

Au profil 9, le recouvrement est constitué sur 50 m de formations conductrices 10-15 ohm.m. Au S.E. 109, le substratum à 100 ohm.m correspond aux calcaires marneux qui affleurent sur la rive droite. Aux S.E. 110 et 111, les formations à 20 ohm.m pourraient correspondre soit à des alluvions, soit aux conglomérats de Bakhtiari qui affleurent en rive gauche. Au profil 10, le substratum à 40-60 ohm.m correspond à des conglomérats. Au S.E. 113, les alluvions à 100 ohm.m ont une épaisseur d'une quarantaine de mètres.

IV-1-2- Interprétation des résultats à partir des profils de résistivités dans la plaine de Gharabeigoun

Les résultats sont obtenus par les coupes 11 à 19 et 31 à 38.

Des forages ont été exécutés en amont du profil 11 (S.E. 51 ; 351 et 352), profil 34 (S.E. 348) et au S.E. 118. Ils ont presque confirmé l'interprétation initiale (fig. IV-1 et 3).

Fig: IV-2 - Types de S.E. dans la plaine de Fassa

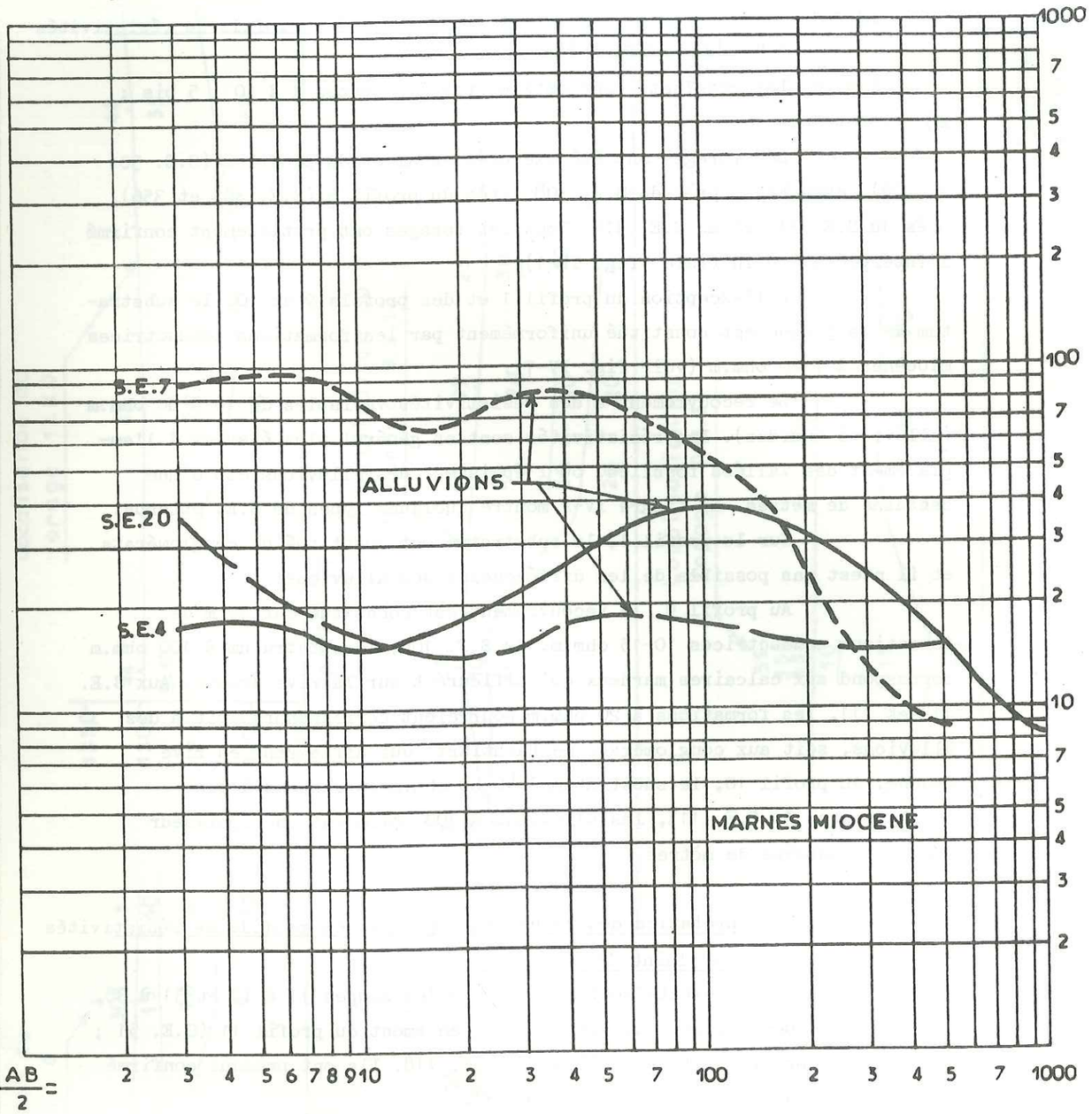
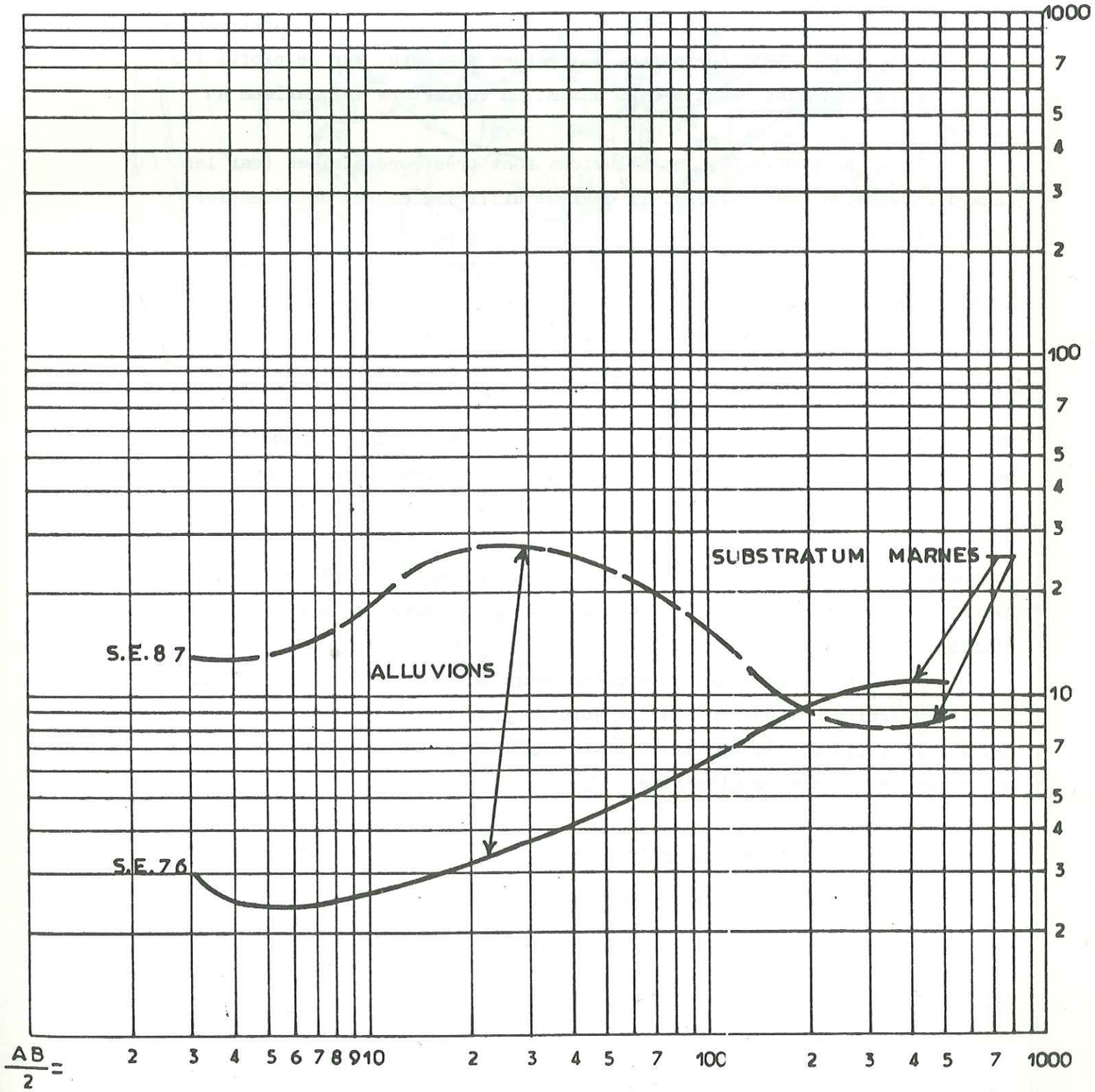


Fig : Iv-4 -Types de S.E. dans la plaine de Gharabeigoun



Au profil 11, le recouvrement a des résistivités de 15 à 20 ohm.m sauf aux S.E. 53 et 115 où les résistivités sont de 100 à 200 ohm. m. Le substratum résistant (30 à 80 ohm.m) correspond probablement aux conglomérats.

Sur les profils 12 (S.E. 61 et 62) ; 33 et 34 le substratum conducteur à 6-15 ohm.m correspond aux marnes miocènes. Sur le profil 13, on peut suivre un substratum à 8-20 ohm.m. La couverture est maximum au S.E. 66.

Au profil 14, les alluvions sont très conductrices (car les eaux d'imbibition sont salées). Il devient difficile de les différencier de leur substratum.

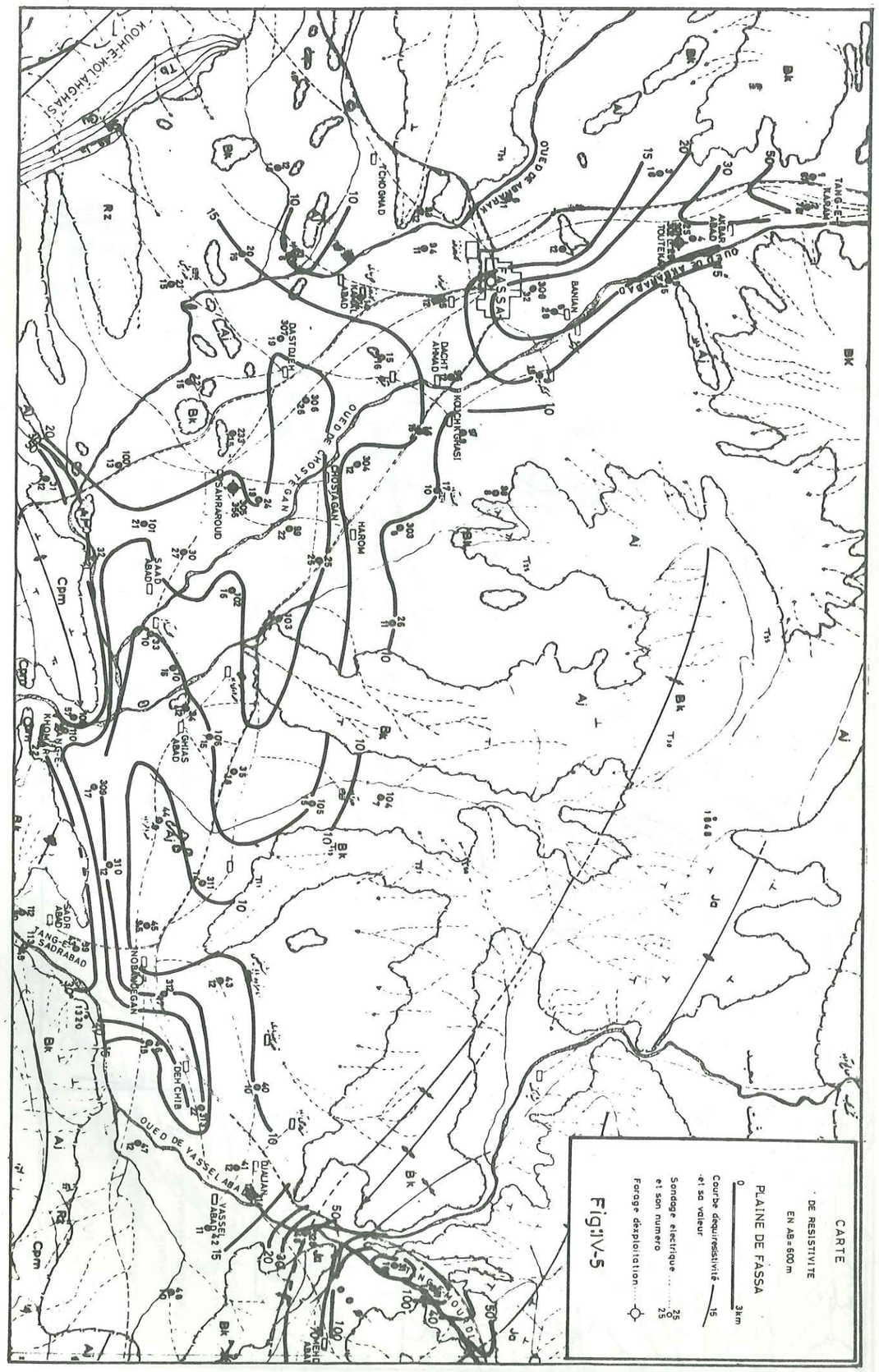
Sur les profils 31 et 32, le substratum a des résistivités de 35-60 ohm.m et correspond vraisemblablement à des conglomérats.

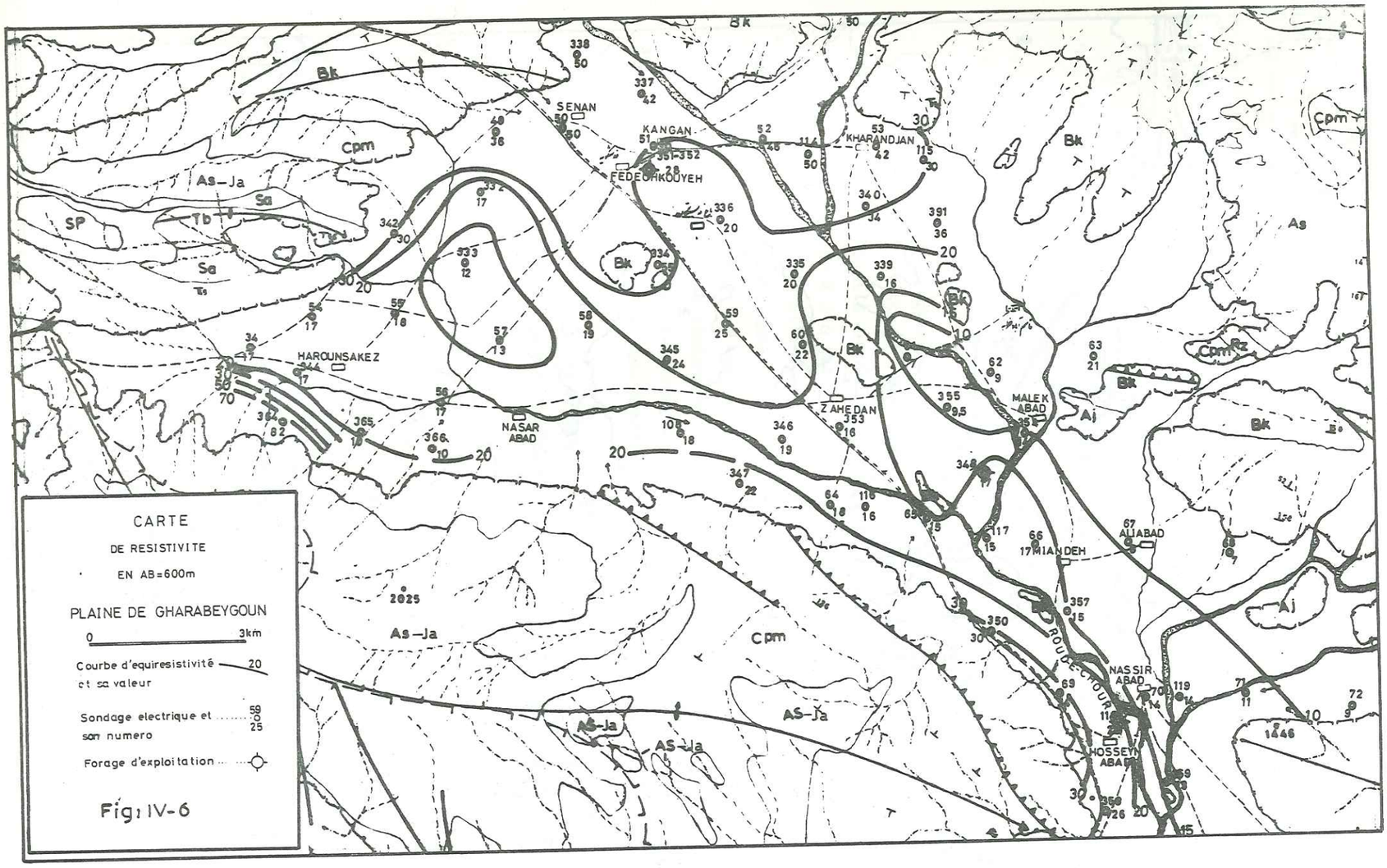
Les S.E. 55, 57 et 58 (profil 12) avaient été initialement interprétés comme étant à deux terrains (dans la première période de l'étude) : conducteur à 3-6 ohm.m reposant sur un horizon à 15-25 ohm.m. Les diagrammes en effet diffèrent peu des diagrammes deux terrains, mais il semble plus rationnel de les interpréter comme des sondages à trois terrains, le deuxième terrain étant résistant. Il est évident que pour ce type de S.E., la résistance transversale R.T. ne peut être calculée avec une bonne précision. La figure IV-4 montre quelques exemples de sondage électriques obtenus dans cette zone de la région étudiée.

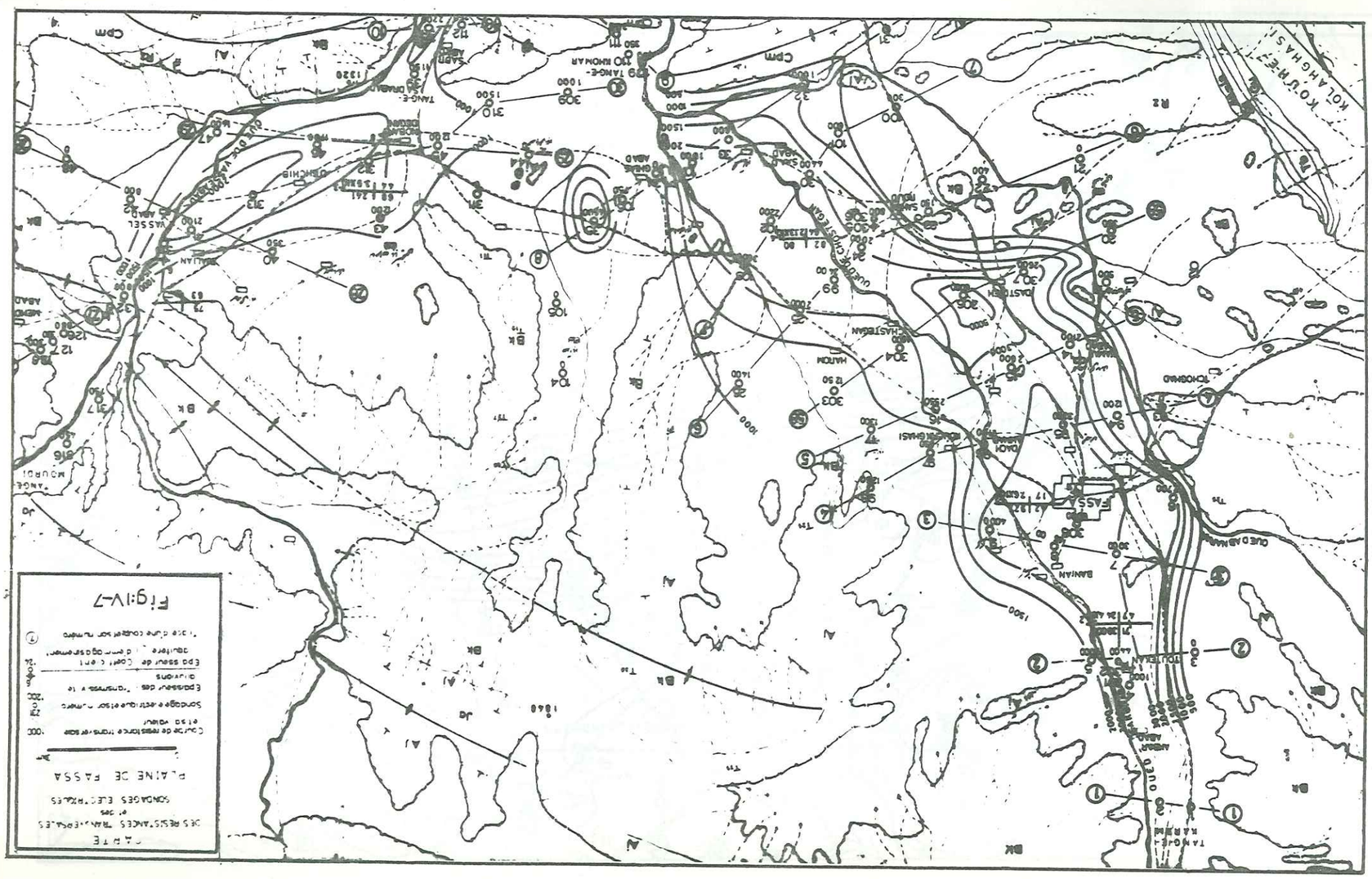
Le substratum est Miocène entre le profil 12 et les affleurements calcaires situés au Sud. Au Nord du profil 12, le substratum a des résistivités de l'ordre de 40 à 100 ohm.m et pourrait correspondre à des calcaires ou des conglomérats.

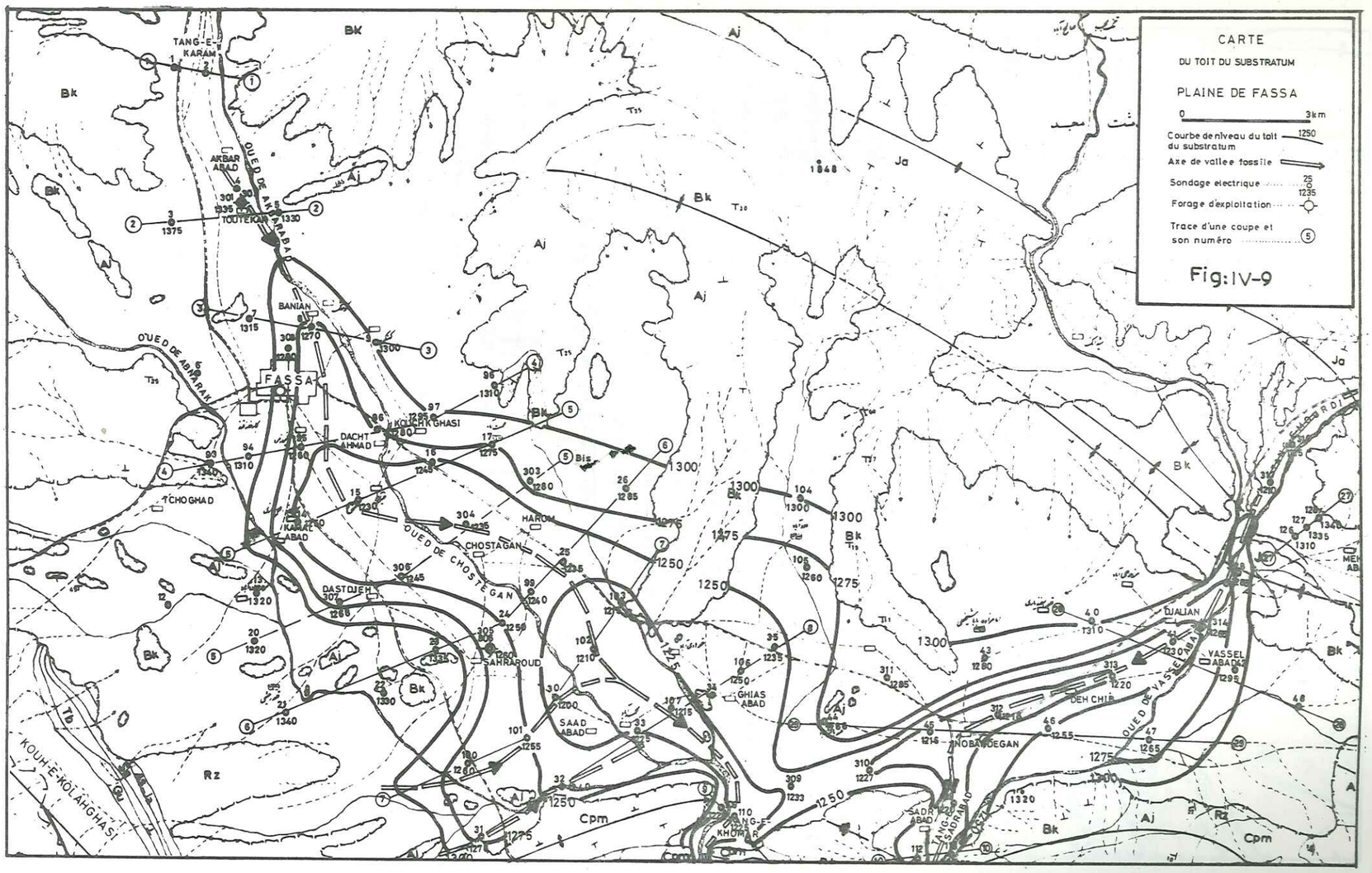
IV-1-3- Interprétation de la carte des résistivités (AB = 600 m)

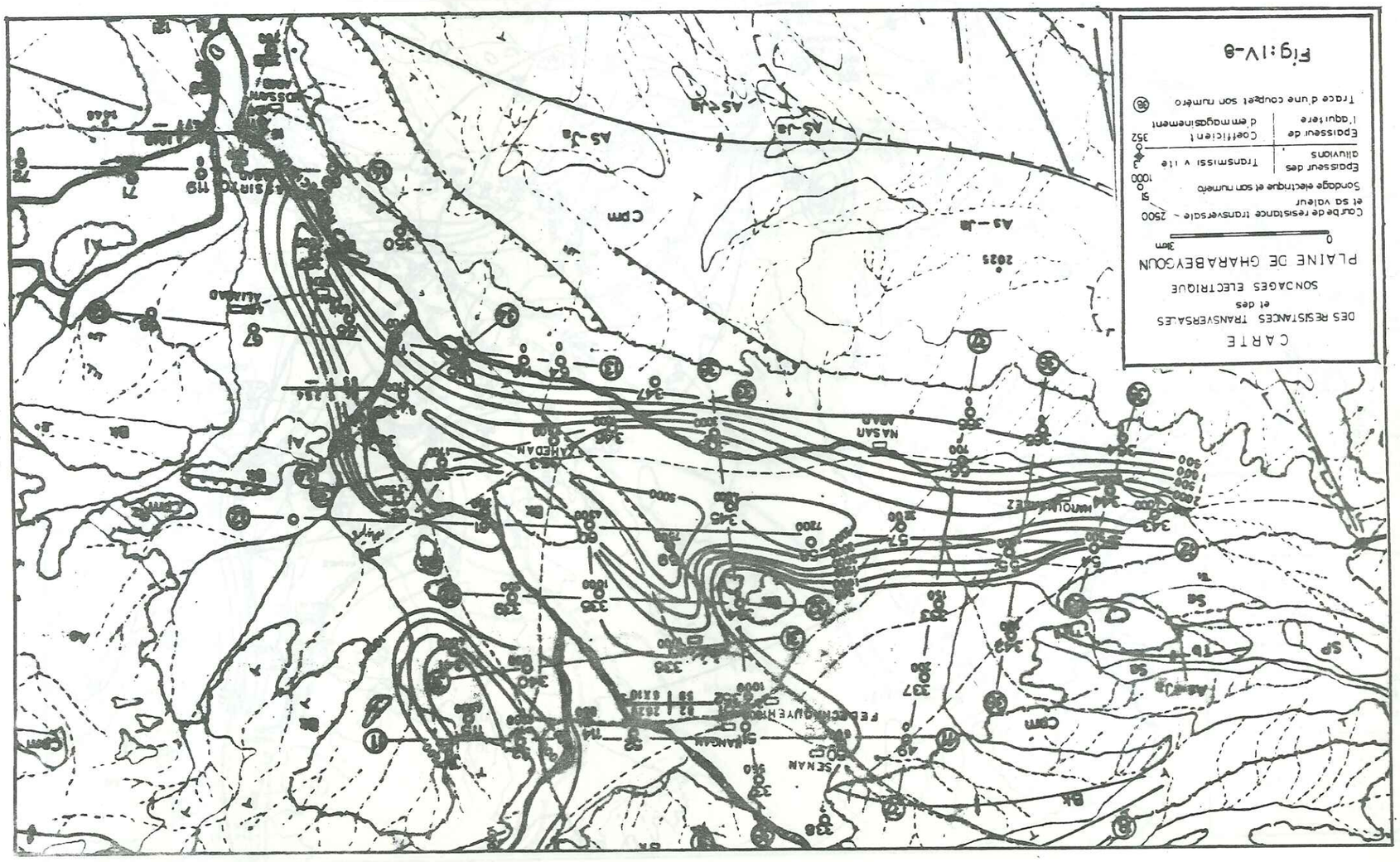
Les résistivités apparentes sont généralement comprises entre 6 et 30 ohm.m. Etant donné que les alluvions sont peu épaisses, ces cartes donnent surtout une indication sur les résistivités du substratum. Les zones à résistivité plus élevée (plus de 15 ohm.m) sont celles où le substratum est constitué de conglomérats (fig. IV-5, IV-6).




CARTE
DE RESISTIVITE
EN AB=600m
PLAINE DE GHARABEYGOUN
0 3km
Courbe d'equiresistivité et sa valeur 20
Sondage electrique et son numero 59 25
Forage d'exploitation
Fig: IV-6
Bk
Cpm
As-Ja
Sa
SP
Tb
Aj
As
Rz
SENAN
KANGAN
FEDEGHKOUYEH
KHARANDJAN
HAROUNSAKEZ
NASAR ABAD
ZAHEDAN
MALEK ABAD
MIANDEH
ALIABAD
NASSIR ABAD
HOSSEYN ABAD
ROUTE ELECTRIQUE


CARTE
DES RESISTANCES TRANSVERSALES
ET DES
SONDAGES ELECTRIQUES
PLAINE DE FASSA
Fig:IV-7


CARTE
DU TOIT DU SUBSTRATUM
PLAINE DE FASSA
0
3km
Courbe de niveau du toit du substratum
1250
Axe de vallee fossile
Sondage electrique
25
1235
Forage d'exploitation
Trace d'une coupe et son numéro
5
Fig: IV-9
FASSA
TANG-E-KARAM
ARBAR ABAD
TOUTEKAN
BANIAN
DACHT AHMAD
KOUCHK GHASI
TCHOGHAD
KABAR ABAD
CHOSTAGAN
HAROM
DASTDJERD
SAHRAROUD
SAAD ABAD
GHIAS ABAD
DJALIAN
VASSEL ABAD
DEH CHIB
NOBANDEGAN
SADR ABAD
KOUH-E-KOLAHGHASI
OUED DE ABRARAH
OUED DE CHOSTEGAN
OUED DE VASSEL ABAD
Bk
Aj
Ja
Rz
Cpm
Tb
Ta


CARTE
DES RESISTANCES TRANSVERSALES
et des
SONDAGES ELECTRIQUE
PLAINE DE GHARABEYSOUN
0
3km
Courbe de resistance transversale - 2500
et sa valeur
Sondage electrique et son numero
Epaisseur des alluvions
Transmissi v ite
Coefficient d'emmagasinement
Trace d'une coupe et son numéro
Fig: IV-8
FEREIDOUNEHIR
SEKAN
RANGAN
KAHDAN
NASAN
HAMOUNI-E-SEISTAN
Cpm
As-Ja

IV-1-4- Interprétation de la carte des résistances transversales R.T.

Sur ces cartes on note que les résitances transversales sont les plus élevées à l'emplacement des vallées fossiles où l'épaisseur des alluvions est maximum.

On note aussi deux zones à fortes R.T., la première aux S.E. 35 et 106 dans la plaine de Fassa et la deuxième en amont qui correspond à la plaine de Gharabeigoun aux S.E. 53 ; 115 ; 60 et 66.

Il faut signaler toutefois qu'il est très difficile de différencier les alluvions de leur substratum. Dans les zones à forte R.T., comme au S.E. 60, une partie du recouvrement est constitué de conglomérats.

Dans les autres zones, au contraire, on a calculé la R.T. seulement pour la partie conductricue du recouvrement, alors qu'une partie des alluvions pourrait s'identifier à la partie supérieure du substratum (fig. IV-7 et IV-8).

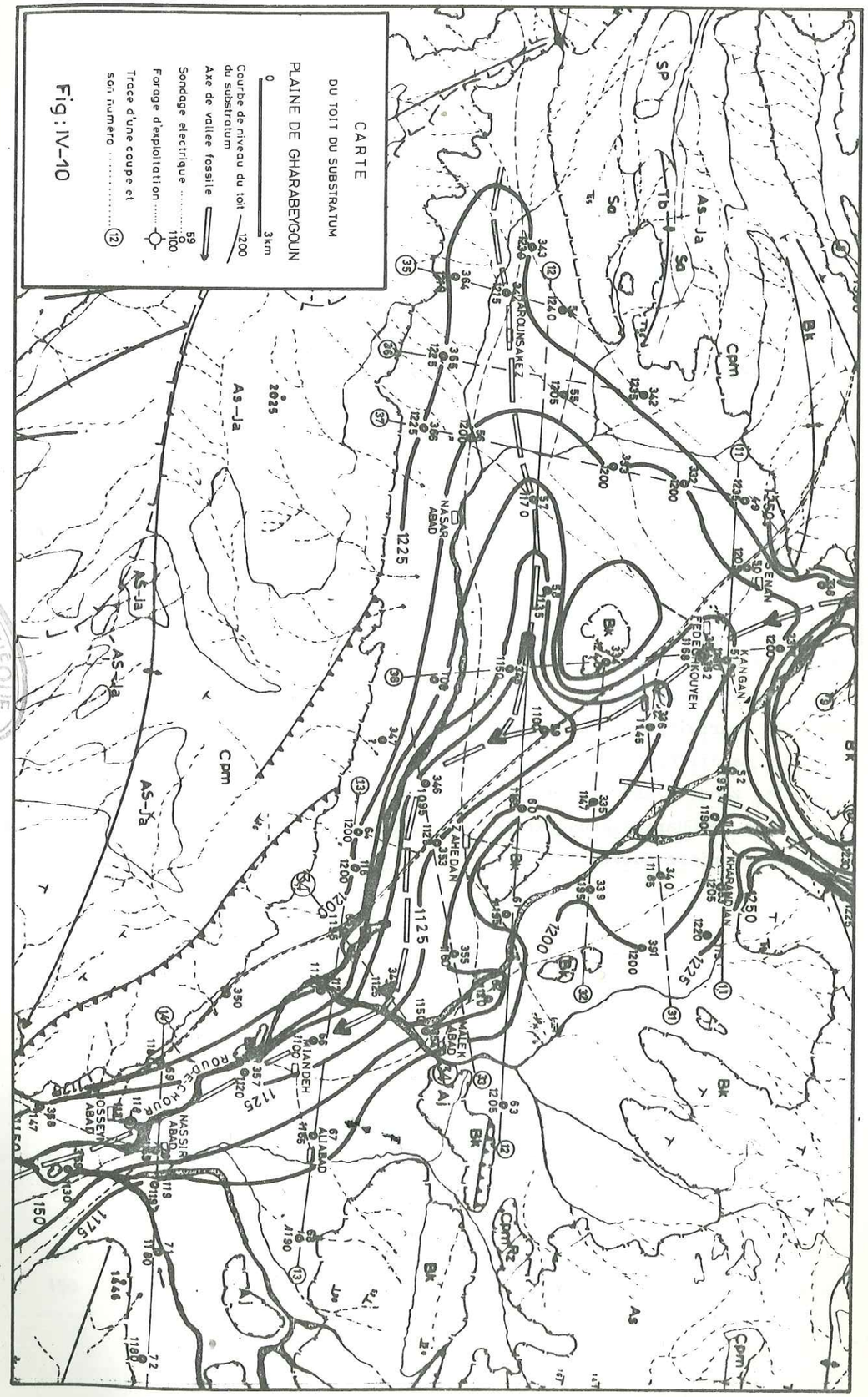
IV-1-5- Interprétation de la carte du substratum

Cette carte donne en cote absolue le toit du premier horizon résistant, c'est-à-dire le toit du substratum des alluvions.

Comme dans certaines parties de l'étude, une partie des alluvions s'identifie à la partie supérieure du substratum marneux ou conglomératique, on n'a pas pu différencier sur les diagrammes des sondages électriques le recouvrement du substratum. Comme on l'a déjà indiqué au S.E. 60, une partie du recouvrement est constitué de conglomérats.

La carte du substratum de Fassa (fig. IV-9) met en évidence une première vallée fossile axée sur les sondages électriques 4 ; 8 ; 95 ; 15 ; 304 ; 25 ; 102 ; 107 et 110, ainsi qu'une deuxième vallée fossile qui est l'exutoire de la plaine de Gharabolagh, axée sur les sondages électriques, 316 ; 328 ; 314 ; 41 ; 313; 312 ; 39 et 113. Il existe en outre deux petites vallées secondaires, la première passant aux sondages électriques, 100 ; 101 et 30, la deuxième aux sondages électriques, 31 ; 32 et 33, qui toutes deux se jettent dans la première vallée principale. Il semble exister un seuil vers les sondages électriques 44 et 309 au Nord de l'affleurement de la formation Bakhtiari .

La carte du substratum de Gharabeigoun (fig. IV-10) met en évidence deux vallées principales anciennes : l'une passant aux sondages



BIBLIOTHÈQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

052 084564 9

électriques 51, 59 et 346 et l'autre aux S.E. 114 et éventuellement 335, 60 et 353. Ces vallées se réunissent en une seule dont l'axe se situe à l'emplacement des sondages électriques, 348, 66, 357 et 118.

Une petite vallée fossile secondaire vient du S.E., 344; 57 et 58 pour confluer avec la vallée principale un peu au sud du S.E. 59 (voir fig. IV-10).

IV-1-6- Conclusion :

Dans la plaine de Fassa, le substratum sauf aux sondages électriques 1 et 2, est constitué par les marnes miocènes. Les possibilités aquifères des alluvions pourraient être testées dans l'axe de la première vallée fossile dont on a parlé plus haut. Les vallées secondaires ne semblent pas présenter d'intérêt hydrogéologique.

Dans la plaine de Gharabeigoun, les alluvions aquifères contiennent des eaux chargées en sel et il est assez délicat de différencier, alluvions, conglomérats et marnes miocènes. Les deux vallées principales que l'on a signalé ci-dessus, après le passage dans les affleurements de calcaire et de néogène se réunissent en une nouvelle vallée fossile. Les eaux étant salées, il n'est pas conseillé d'exploiter cette zone mais on pourrait toutefois la tester.

La différenciation entre alluvions et néogène pourrait être précisée dans les zones d'exutoire de la plaine de Fassa et dans la partie aval de la plaine de Gharabeigoun par les forages d'exploitation. Nous en reparlerons dans le chapitre suivant.

IV-2 INTERPRETATION DES RESULTATS OBTENUS DANS LA PLAINE DE GHARABOLAGH

IV-2-1- Interprétation des résultats à partir des profils de résistivités dans la plaine de Gharabolagh

Les résultats principaux sont obtenus par les coupes 20 à 26, 21 bis, 22 bis, 24 bis et 25 bis.

Sur les coupes 20 à 23, existent vers le sud des formations à 15-35 ohm.m qu'on attribue au miocène. Dans cette partie, l'épaisseur des alluvions serait très réduite. L'horizon profond à 100 ohm.m ou plus, que l'on voit sur toutes ces coupes, correspondrait aux calcaires. Vers le Nord (S.E. 225 ; 227 ; 330 ; 221 etc...) la prospection électrique montre que les alluvions reposeraient directement sur les calcaires. Ceci semble exact au sondage électrique 221 (le forage de reconnaissance 17.J.45 a trouvé les calcaires vers 93 m (voir fig. IV-3) mais ne l'est pas aux S.E. 324 et 363 exécutés près du forage 17.J.46, où les calcaires n'ont pas été atteints (voir fig. IV-11).

La prospection électrique serait en défaut du fait de la faible épaisseur des marnes conductrices situées entre les alluvions et les calcaires.

Sur les coupes 24 à 26, en bordure sud de laplaine, on ne voit pas d'horizon profond résistant malgré la proximité d'affleurements de calcaires Eocène (formations de Djahrom). On voit au contraire, aux sondages électriques 216, 322, 211, 323 et 204 un substratum à 15 ohm.m correspondant vraisemblablement aux marnes miocènes qui existeraient ainsi en continuité sur toute la partie sud de la plaine entre les profils 20 à 26. Ceci confirmerait en outre l'existence d'un pli couché des calcaires. On note le même phénomène au sondage électrique 212 en bordure nord de la plaine.

Au milieu de la plaine (sondages électriques 213 à 215 ; 318 et 321 ; 207 et 208), on trouve l'horizon résistant (calcaires).

En bordure de la plaine, le remplissage est électriquement résistant (sondages électriques 212, 319, 205, 206, 216, 322 et 210) et les fortes résistivités laissent à penser que le recouvrement peut être constitué au moins en partie de conglomérats. Au sondage électrique 203, il n'est pas possible de différencier les alluvions de l'horizon résistant sous-jacent, les résistivités étant semblables (100 à 150 ohm.m). La figure IV-11 montre quelques types de sondages électriques.

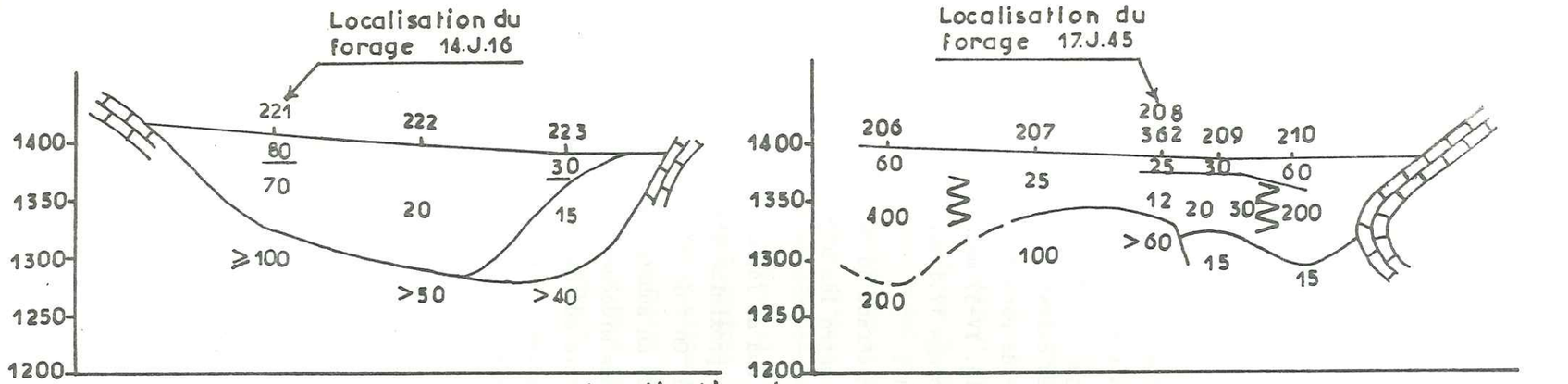


Fig: IV-3

Echelle horizontale 1:55,000
Echelle verticale 1:5,000

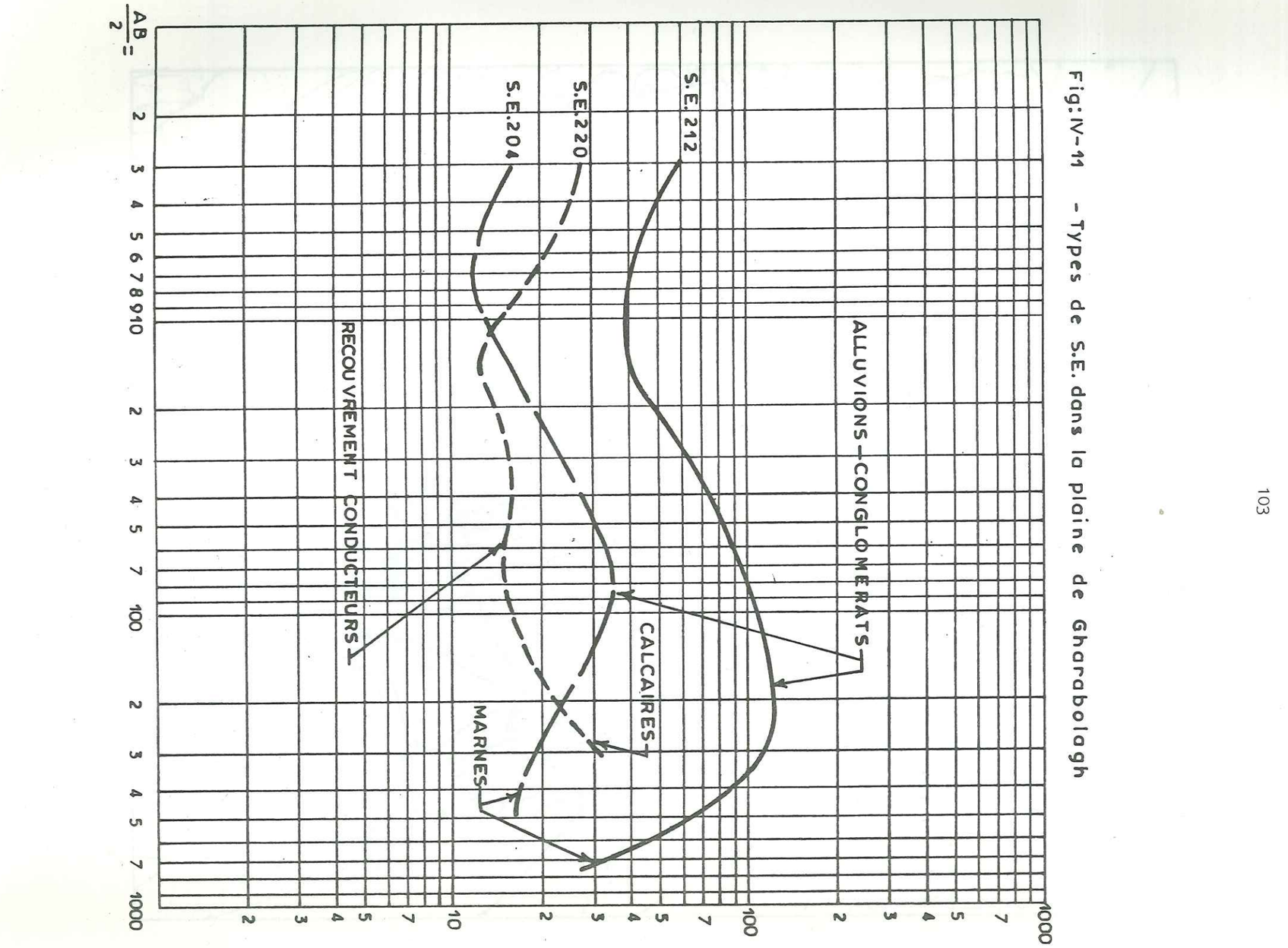
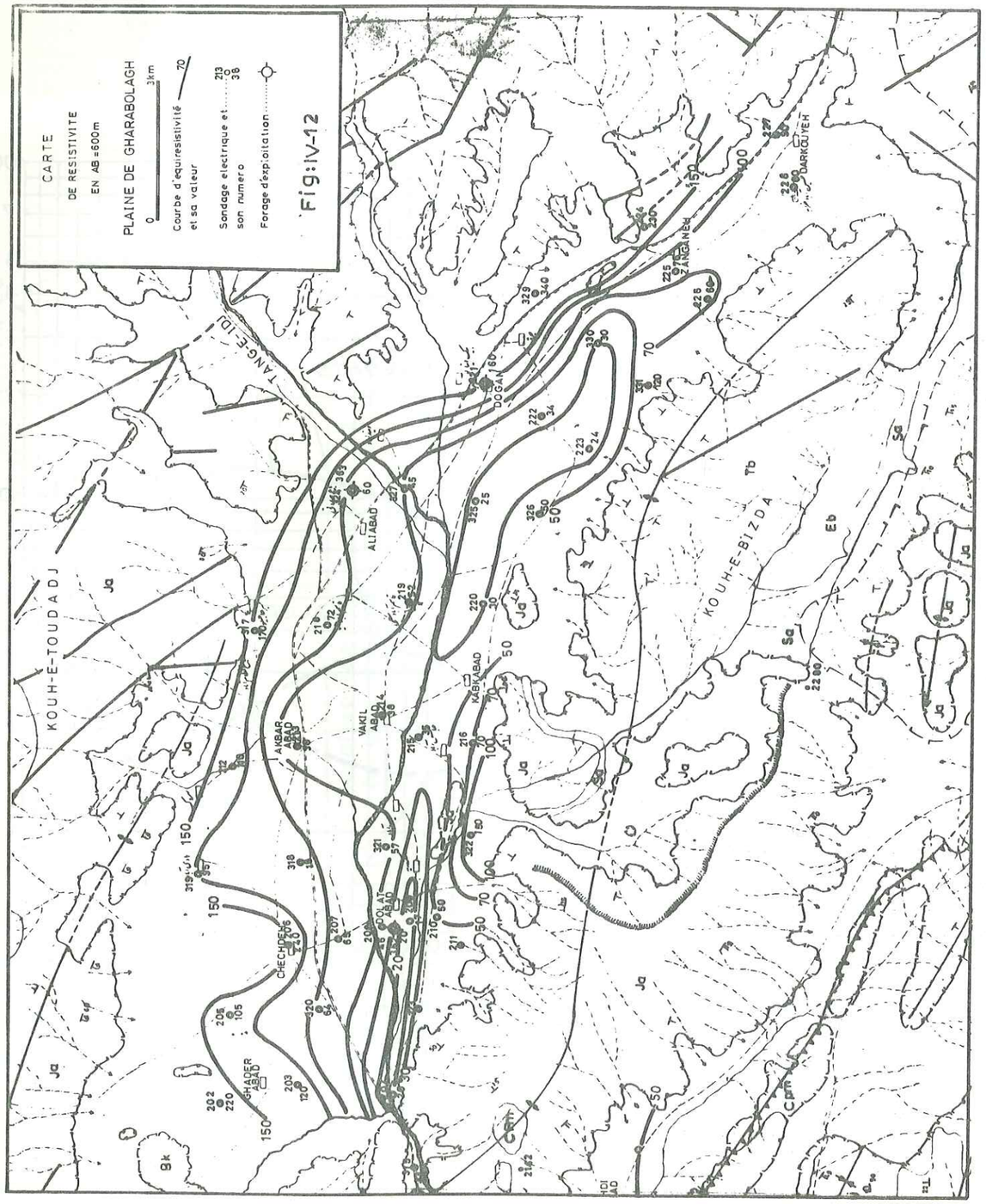


Fig: IV-11 - Types de S.E. dans la plaine de Gharabolagh



IV-2-2- Interprétation de la carte de résistivité (AB = 600 m)

La profondeur d'investigation est de l'ordre de 150 m. Cette carte met en évidence les zones les plus résistantes du recouvrement dont on a parlé plus haut et les zones plus conductrices où le remplissage pourraît être constitué de miocène (voir fig. IV-12).

La faible résistivité apparente observée au sondage électrique 204 est dûe au fait qu'en aval, l'épaisseur des alluvions est plus réduite (environ 40 m).

IV-2-3- Interprétation de la carte des résistances transversales R.T.

Comme on ne sait pas exactement quelle est la limite entre alluvions et conglomérats (F. Bakhtiari), la résistance transversale a été calculée pour l'ensemble du remplissage situé sous le niveau statique.

Les résistances transversales varient de 0 à 42 000 ohm.m2 (voir fig. IV-13).

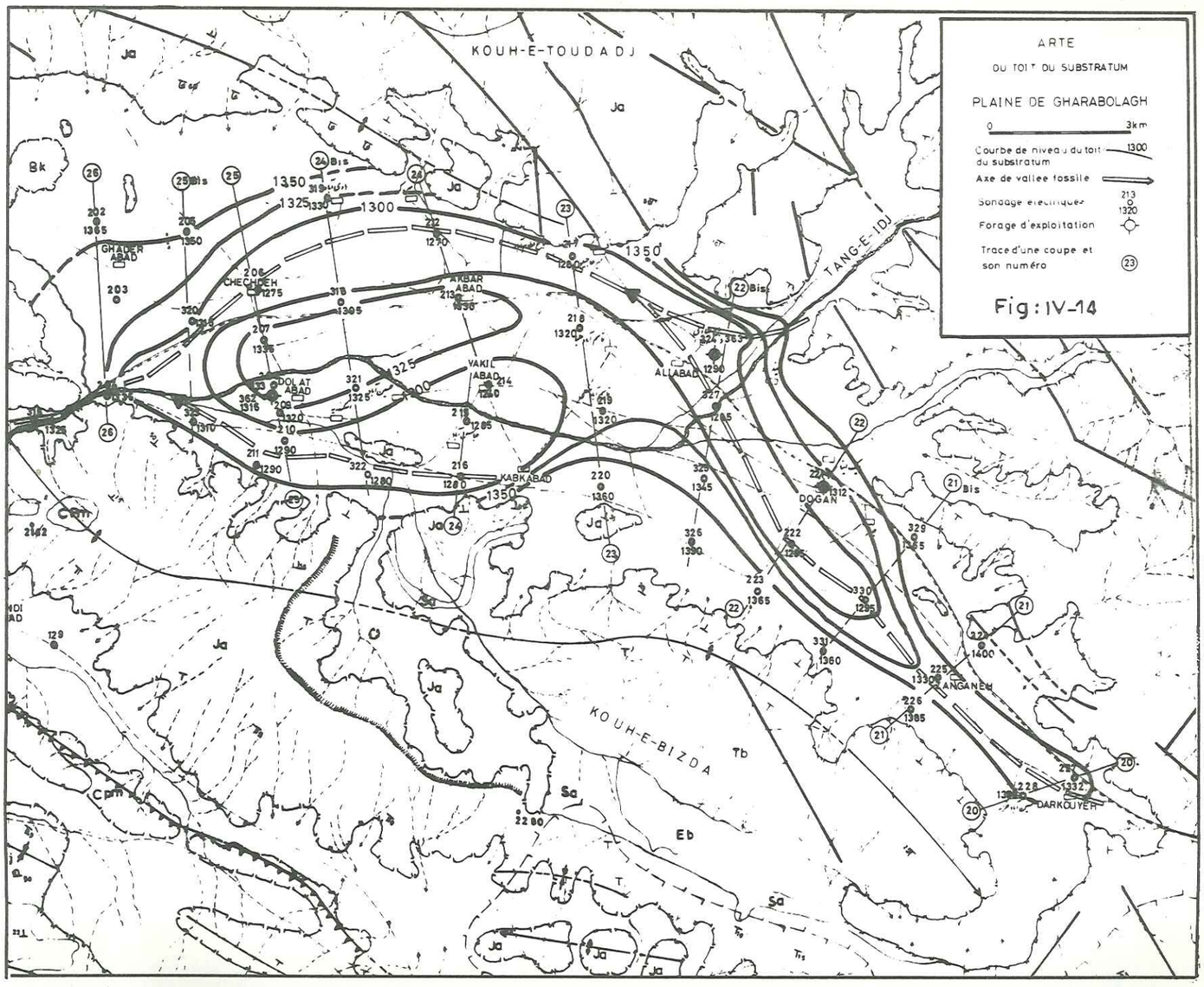
Dans les zones à résistance transversale élevée, aux S.E. 217, 212, 206, 216 et 210, le remplissage est électriquement résistant (une centaine de mètres environ). C'est là qu'il est conseillé d'implanter les forages.

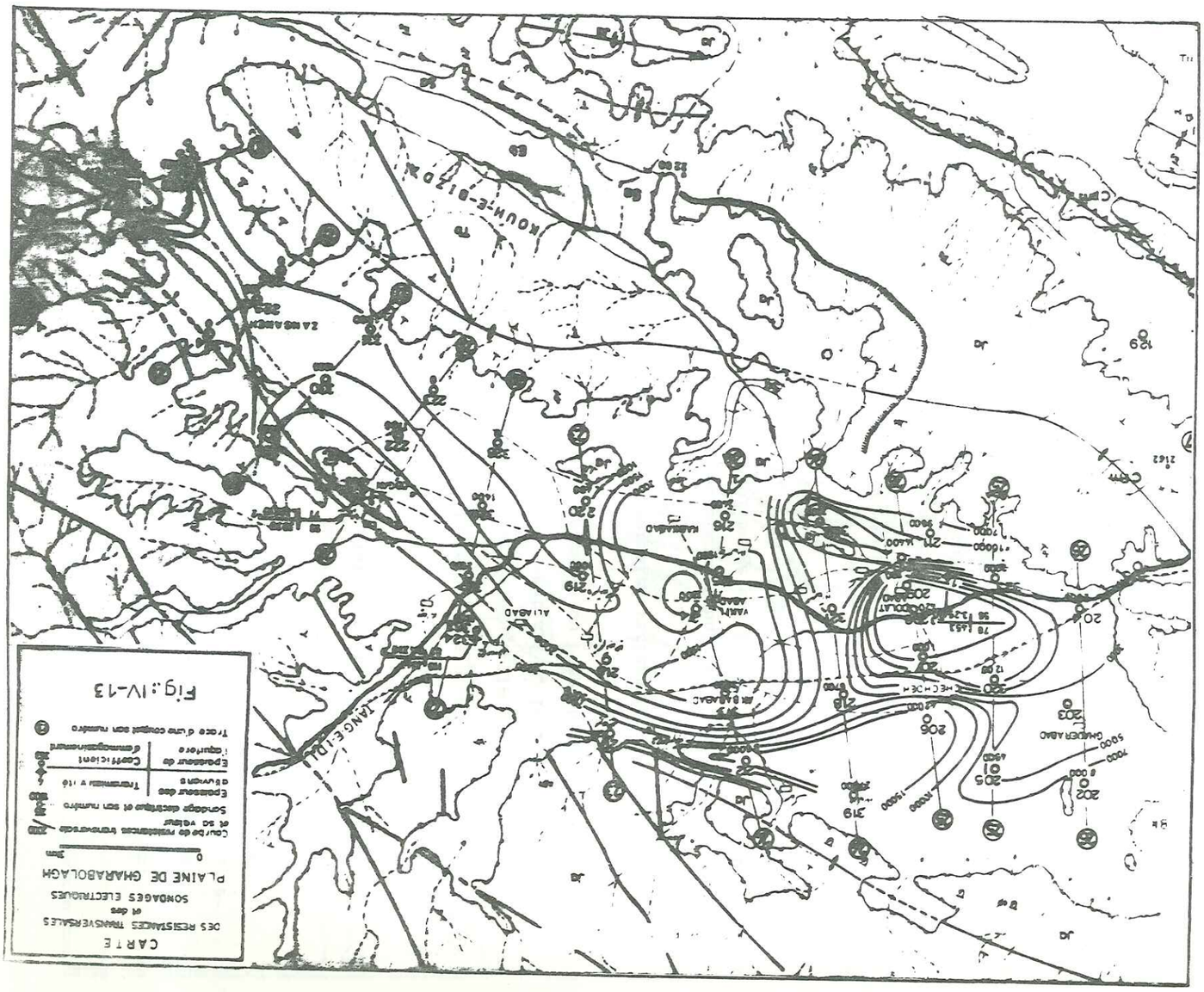
IV-2-4- Interprétation de la carte du substratum

La carte du substratum de cette plaine, (fig. IV-14) met en évidence deux dépressions du toit du substratum.

La première au nord est axée sur les sondages électriques 227, 225, 330, 222, 327, 217, 212, 206, 320 et 204, la deuxième au sud est axée sur les sondages électriques 216, 322, 211 et 323 et se jette dans la première vallée principale.

Rappelons que le substratum est constitué par les calcaires sauf en bordure sud aux S.E. 204, 210, 216 et en bordure nord au S.E. 212 où il est formé de marnes conductrices.


KOUH-E-TOUDADJ
TANG-E-IDJ
KOUH-E-BIZDA
GHADER ABAD
CHECHDEH
AKBAR ABAD
DOLAT ABAD
VAKIL ABAD
KARKABAD
ALLABAD
DOGAN
ZANGANEH
DARKOUYEH
PLAINE DE GHARABOLAGH
0 3km
Courbe de niveau du toit du substratum 1300
Axe de vallée fossile
Sondage électrique 213 1320
Forage d'exploitation
Trace d'une coupe et son numéro (23)
Fig : IV-14


KOUH-E-BIZDA
TANG-E-IDJ
KARKABAD
ALLABAD
PLAINE DE GHARABOLAGH
Fig : IV-13

IV-2-5- CONCLUSION

Dans la plaine de Gharabolagh ainsi que nous l'avons déjà indiqué, deux vallées fossiles principales ont été mises en évidence.

Le remplissage de ces vallées est résistant. Il peut s'agir d'alluvions très grossières et localement de conglomérats. Entre ces deux vallées, le remplissage est plus conducteur, donc probablement plus argileux. Aux sondages électriques 204, 209, 210 et 216 (en bordure au Sud) ainsi qu'au S.E. 212, le substratum est formé de marnes miocènes, alors que les calcaires affleurant en bordure sont en position de pli couché. Ailleurs le substratum est formé par ces mêmes calcaires.

o o

o

CHAPITRE V

LES FORAGES DE RECONNAISSANCE SUR LES ALLUVIONS DU BASSIN VERSANT ET LES ESSAIS DE POMPAGE

- Introduction
- Ouvrage de sondage
- Lithologie des échantillons
- Les essais de pompage
- Conclusion

CHAPITRE V

LES FORAGES DE RECONNAISSANCE SUR LES ALLUVIONS DU BASSIN VERSANT ET LES ESSAIS DE POMPAGE

INTRODUCTION

Pendant deux ans le groupe d'hydrogéologie du Ministère de l'Energie a entrepris la réalisation d'une dizaine de forages dans la région étudiée.

Ces forages ont en général environ 100 m de profondeur. A côté de chacun de ces forages on a fait aussi 10 sondages témoins (forages d'observation).

Dans ce chapitre, nous donnons en détail toutes les caractéristiques de ces forages. La situation des sondages est montrée sur les cartes (VII-1, VII-2 et VII-3). La plupart des sondages ont été effectués pour la reconnaissance du niveau des aquifères, de l'épaisseur des alluvions et n'ont pas été utilisés pour l'irrigation. Ils nous ont permis l'interprétation des profils géophysiques en tenant compte des profondeurs du substratum et de l'épaisseur des alluvions.

Sur tous ces forages on a aussi fait des essais de pompage (tableau V-1). Tous les sondages sont forés grâce à une soudeuse à percussion.

A - LES FORAGES SUR LES ALLUVIONS DE LA PLAINE DE FASSA

V-1- FORAGE DE RECONNAISSANCE 6-I-8 (Toutakan)

V-1-1- Ouvrage de sondage

Ce sondage est situé sur le profil n° 2 de sondage électrique à 4 km au Nord de la ville de Fassa à côté du village de Toutakan.

V-1-2- Les travaux de sondage

. Diamètre de sondage : 24 m en 400 mm ; 68 en 350 mm

. Diamètre de tubage : 48 m en 350 mm non crépinés et 24 m en 300 mm (crépinés télescopiques sur 4 m).

Le contact de l'eau s'est fait à 25 mètres et a atteint 20 m à la fin du sondage.

V-1-3- Lithologie des échantillons de forage

Les différents éléments lithologiques observés au moment du forage étaient :

0 - 15 m argiles et sables fins avec des passages silteux
15 - 26 m argiles, sables grossiers et graviers
26 - 29 m sables fins propres
29 - 37 m galets ronds et graviers
37 - 47 m sables fins et grossiers avec graviers
47 - 68 m galets ronds, graviers et au fond du sable.

La profondeur totale de ce puits est de 92 m. Le substratum constitué d'argiles et marnes est atteint à 68 m, on a donc dû reboucher le fond du puits sur 24 m.

V-1-4- Les essais de pompage

. Développement et nettoyage

Le niveau de l'eau était à 20 m avant le pompage. On a fait 46,5 heures de pompage grâce à une pompe de 15 étages et de 150 mm de diamètre placée à 48 m de profondeur et entraîné par un moteur diesel de 150 ch. vap (H.P.) pour nettoyer le forage avec des débits différents dont le maximum était 146 m3/h (40 l/s environ). Pendant ces travaux le niveau de l'eau a atteint 23,24 m donc le rabattement obtenu était 3,24 m, soit un débit spécifique de 45 m3/h/m.

. Essai de rabattement

Au bout de ce développement, on a arrêté le pompage pour faire des essais de pompage. Après 24 heures, on avait atteint le niveau 22,46 m. Ensuite, on a commencé l'essai de rabattement, avec le débit à peu près constant de 103 m2/h (29 l/s). On a continué le pompage pendant 4350 mn et le niveau de l'eau est arrivé à 24,17 m (niveau dynamique). Le rabattement est donc de 1,71 m.

Le débit spécifique d'après cet essai est de 60 m3/h/m.

. Essai de remontée

Tout de suite après avoir fini l'essai de rabattement, on a mesuré la remontée du niveau de l'eau pendant 1500 mn. Le niveau de l'eau est arrivé à 22,52 m, soit 0,06 m plus bas que le niveau de l'eau avant l'essai de rabattement.

. Les mesures simultanées dans le piézomètre

(Toutes les caractéristiques des piézomètres sont rapportées dans le tableau V-2).

Pendant l'essai de pompage sur le forage ci-dessus, on a mesuré simultanément le rabattement et la remontée du niveau de l'eau dans le piézomètre, qui a été foré à 30 m au Nord de ce forage. On a donc les résultats suivant :

	N.S. m	N.D. m	Δ m
Rabattement :	23,31	23,55	$2,4 \cdot 10^{-1}$
Remontée :	23,36	23,55	$1,9 \cdot 10^{-1}$

. Essai de rabattement par paliers

Pour déterminer le débit maximum et également les coefficients B et C qui dépendent de la perméabilité et des résistances à l'écoulement à travers les crépines et dans le tubage, pendant 2880 mn on a fait un essai de rabattement par paliers. Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau V-3 : Essai de rabattement par paliers (forage 6.I.8)

Palier de Pompage	t/mn	Q m3/h	N. D. m	Δ m	q/Δ m3/h/m	C Q m	Perte de charge B Q^2 m	Δ m
1er	1100	85	23.84	1,38	61	0,765	0,662	1,427
2ème	1200	102	24.20	1,74	58	0,918	0,954	1,872
3ème	1300	109	24.60	2,14	51	0,981	1,089	2,070
4ème	1400	120	25.00	2,54	47	1,080	1,320	2,400
5ème	1500	134	25.30	2,84	47	1,206	1,646	2,852
6ème	1600	146	25.70	3,24	45	1,314	1,945	3,259

d'où :

$B = 9,17 \cdot 10^{-5}$

$C = 9 \cdot 10^{-3}$

La formule du puits est donc :

$$\Delta = 9 \cdot 10^{-3} Q + 9,17 \cdot 10^{-5} Q^2$$

V-1-5- Droites rabattement - débit et débit spécifique

On a établi les droites en fonction du débit et du débit spécifique. La première nous montre que l'on n'est pas arrivé au débit critique, car la capacité de la nappe était supérieure au pompage et la deuxième nous montre que le débit spécifique diminue par rapport au rabattement (fig. V-4).

V-2- FORAGE DE RECONNAISSANCE 7.J.35 (Parc public de Fassa)

V-2-1- Ouvrage de sondage

Ce sondage a été implanté entre les profils n° 3 et 4 de sondage électrique, dans le parc public de la ville de Fassa.

V-2-2- Les travaux de sondage

Diamètre de sondage : 59 m en 400mm et 13 m en 350 mm.

Diamètre et caractéristiques du tubage : 24 m en 350 mm non crépines et 46,3 m en 300 mm (crépines télescopiques sur 4 m).

Ce sondage de 72 m de profondeur a atteint le substratum à 66 m, on a donc rebouché le fond du sondage sur 6 m.

Le contact avec l'eau s'est fait à 25 m et a atteint 24,3 m à la fin du sondage.

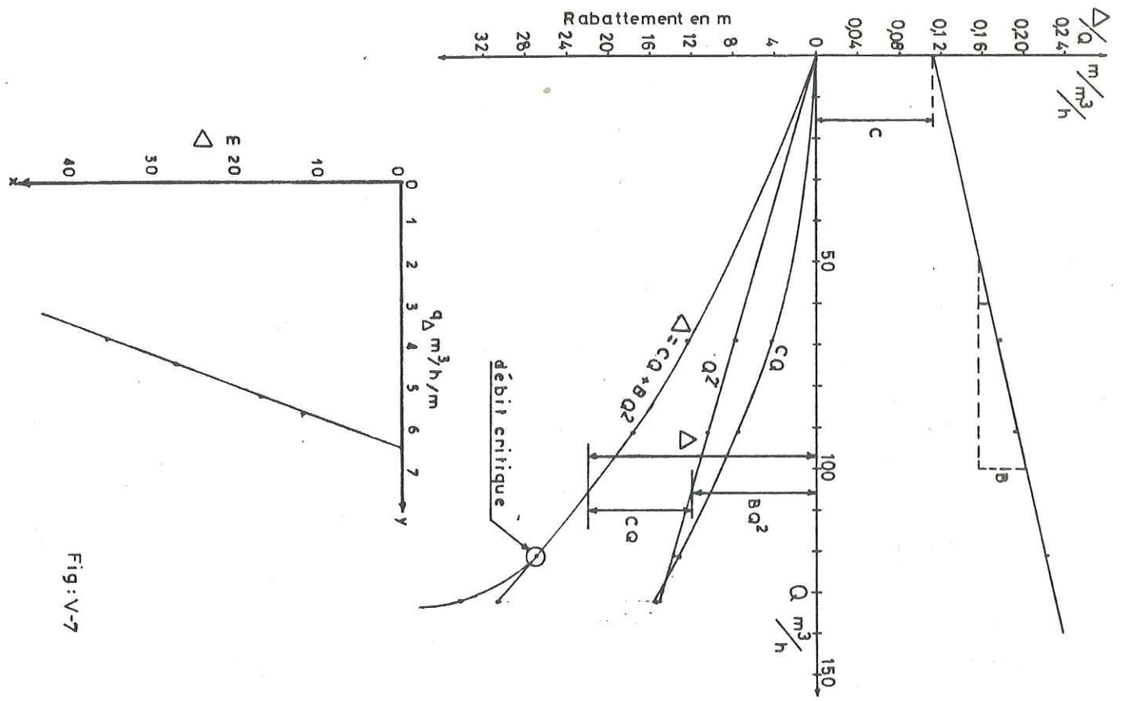


Fig:V-7

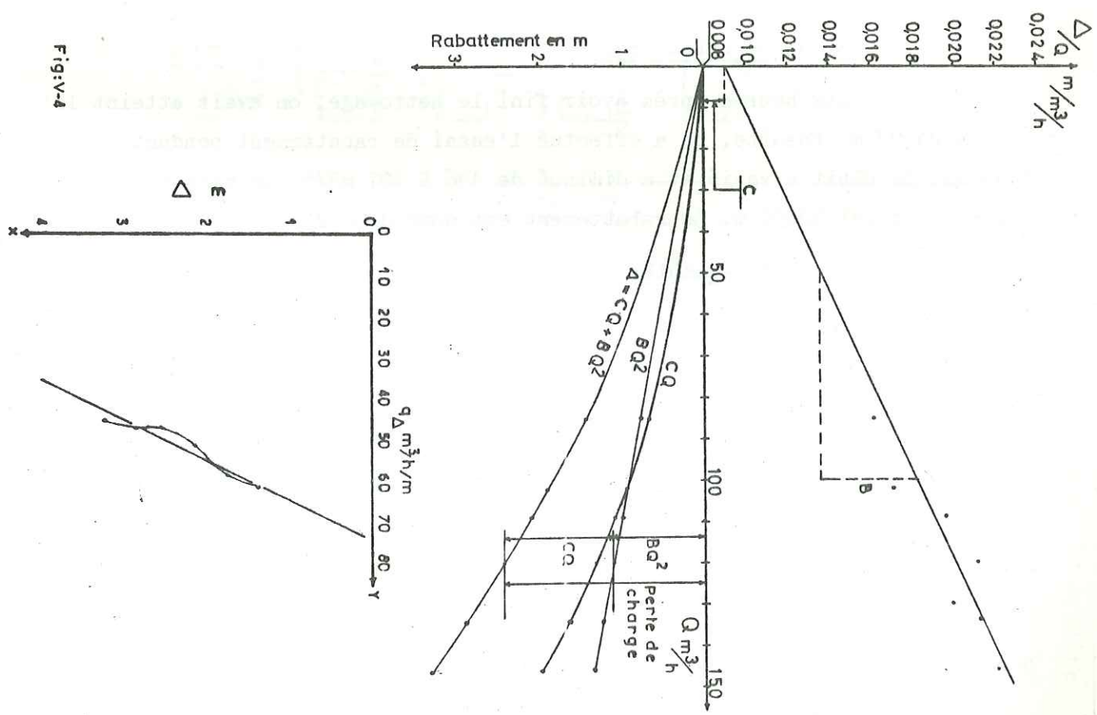


Fig:V-4

V-2-3- Lithologie des échantillons de forage

Les différents éléments lithologiques observés au moment du forage étaient (fig. V-5) :

0 - 12	argile silteuse, sableuse et graveleuse
12 - 18	argile sableuse ; galets et un peu d'argile
18 - 21	argile graveleuse et galets
21 - 36	sable fin et grossier graveleux et galets et un peu d'argile
36 - 42	argile sableuse et graveleuse et galets
42 - 48	argile silteuse
48 - 66	argile silteuse, sableuse et graveleuse.

V-2-4- Les essais de pompage

On a placé la pompe à la profondeur de 49 m. Le niveau statique avant le pompage était à 23,83 m dans le forage et à 24,19 m dans le piézomètre.

. Développement

Le nettoyage du forage a été effectué pendant 45 heures sans interruption grâce à une pompe de 200 mm de diamètre équipée d'un moteur diésel de 150 ch. vap (H.P.).

. Essai de rabattement

Dix heures après avoir fini le nettoyage, on avait atteint le niveau 24,27 m. Ensuite, on a effectué l'essai de rabattement pendant 3740 mn. Le débit a varié et a diminué de 136 à 107 m3/h. Le niveau de l'eau a atteint 32,50 m. Le rabattement est donc de 8,23 m.

. Essai de remontée

Immédiatement après arrêt de pompage on a mesuré la remontée du niveau de l'eau pendant 1560 mn. Le dernier niveau était 24,310 m, soit 0,04 m plus bas que le niveau de l'eau avant le rabattement.

Il faut ajouter qu'on a mesuré simultanément le rabattement et la remontée dans le piézomètre ; on a donc les résultats suivants :

	N.S.	N.D.	Δ
	m	m	m
Rabattement	25,075	26,130	1,055
Remontée	25,345	26,130	0,785

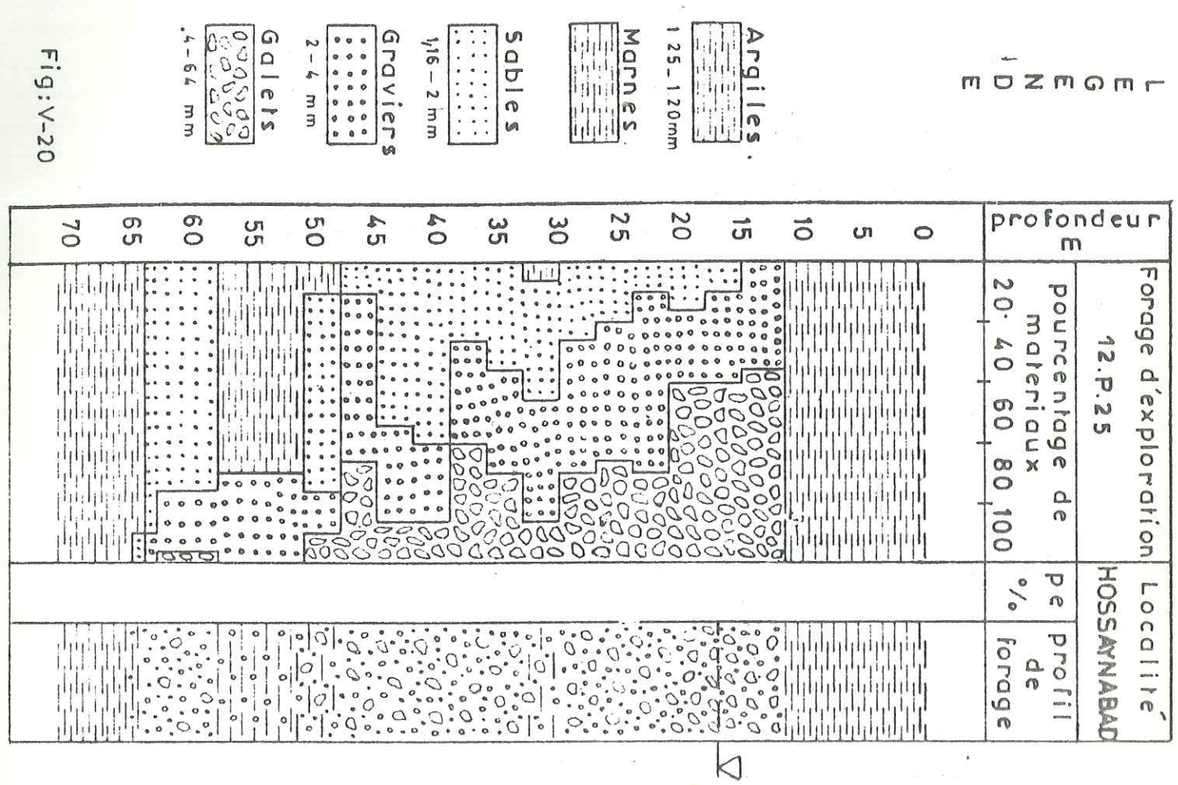


Fig:V-20

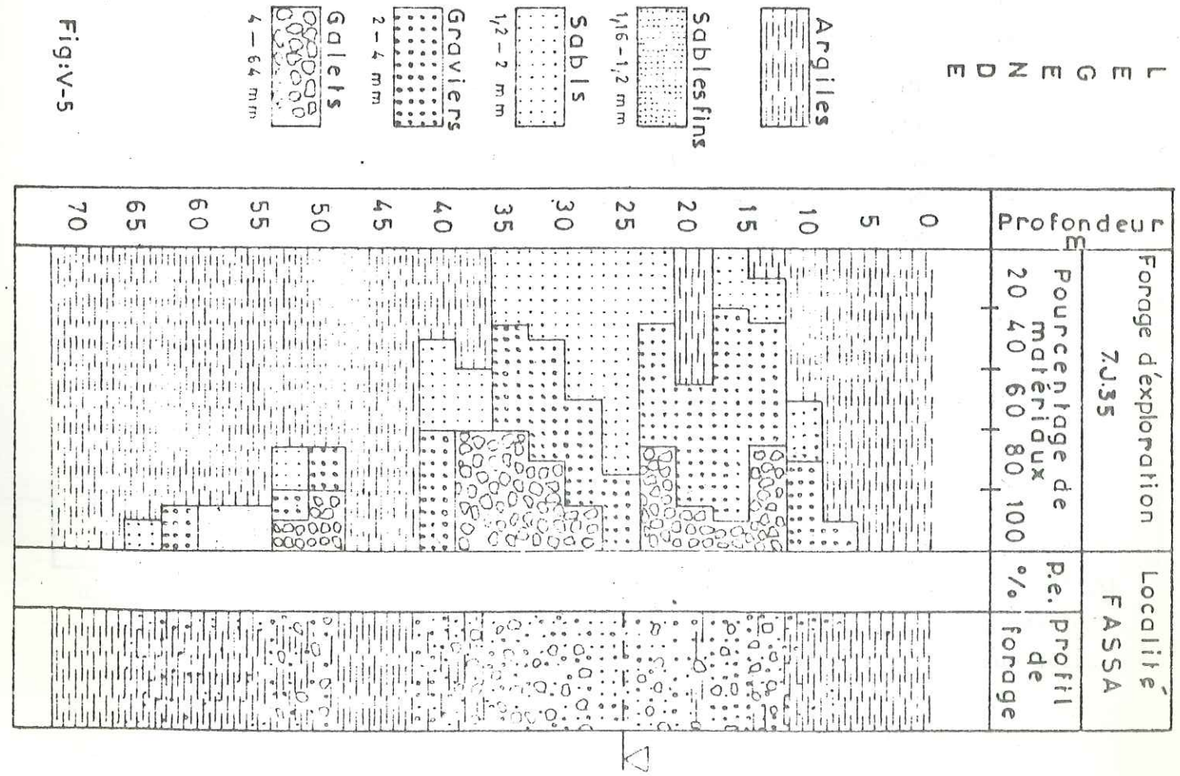


Fig:V-5

V-3- FORAGE DE RECONNAISSANCE 8.K.12 (Sahraroud)

V-3-1- Ouvrage de sondage

Il est situé sur le profil n° 6 de sondage électrique à 7 km au Sud de la ville de Fassa, près du village de Sahraroud, dans la plaine de Fassa.

V-3-2- Les travaux de sondage

Il a été foré par une sondeuse à percussion. Diamètre de sondage : 54 m en 400 mm et 47 m en 350 mm. Diamètre de tubage : 18 m en 350 mm non crépinés, et 75 m en 300 mm (Crépines télescopiques sur 6 m).

Ce sondage de 101 m de profondeur a atteint le substratum à 87 m ; on a donc rebouché le fond du sondage sur 14 m.

Le contact de l'eau s'est fait à 18 m et a atteint 6 m à la fin du sondage.

V-3-3- Lithologie des échantillons de forage

Les différents éléments lithologiques observés au moment du forage étaient :

0	- 36,5	argile avec un peu de sable fin, silt et argile silteuse
36,5	- 54	galets grossiers et fins, gravier et sable grossier
54	- 70	argile, silt et sable grossier
70	- 75	gravier, galets et sable grossier
75	- 77,5	argile peu graveleuse
77,5	- 81	argile silteuse
81	- 86	argile peu graveleuse
86	- 87	argile peu graveleuse et galets.

V-3-4- Les essais de pompage

On a placé la pompe à la profondeur de 72 m. Le niveau statique était à 6,81 m dans le forage et 6,51 m dans le piézomètre.

. Développement

Pour nettoyer le forage, on a pompé 48 h sans arrêt jusqu'au débit maximum de la capacité de la pompe.

Le débit critique de ce forage est à peu près 145 m3/h (40 l/s), et le niveau de l'eau est descendu jusqu'aux environs de la pompe, c'est-à-dire que le rabattement obtenu était à peu près de 72 m.

. Essai de rabattement

44 heures après la fin du développement du forage, le niveau de l'eau a atteint 10,77 m. On a donc commencé l'essai de rabattement avec un débit variant de 113 à 78,5 m3/h pendant 2880 mn. Le niveau de l'eau est arrivé à 27,20 m. Le rabattement est donc de 16,43 mètres.

. Essai de remontée

Après 2880 mn d'arrêt de pompage, le niveau de l'eau est arrivé à 10,88m, soit 0,11m plus bas que le niveau de l'eau avant l'essai de rabattement.

. Les mesures simultanées dans le piézomètre

On mesurait simultanément le rabattement et la remontée dans le piézomètre situé à proximité (30 m à l'Ouest) du forage, pour connaître l'influence du pompage. On a donc les résultats suivants :

	N.S. m	N.D. m	Δ m
Rabattement	11,04	21,93	10,89
Remontée	11,38	21,93	10,55

. Essai de rabattement par paliers

Les résultats obtenus sont fournis dans le tableau suivant :

Tableau V-6 : Essais de rabattement par paliers (forage 8.K.12)

Paliers de Pompage	t/mn	Q m3/h	N.D. m	Δ m	q/Δ m3/h/m	C.Q. m	BQ^2 m	Durée de Pompage mn
1er	750	69	23,10	12,22	5,6	7,866	4,284	270
2ème	900	91	28,44	17,56	5,2	10,374	7,452	240
3ème	1050	121	38,18	27,30	4,4	13,794	13,176	180
4ème	1200	132	46,00	35,12	3,8	15,048	15,681	130

d'où : $B = 9 \cdot 10^{-4}$

$C = 1,14 \cdot 10^{-1}$

La formule du puits est donc : $\Delta = 1,14 \cdot 10^{-1} Q + 9 \cdot 10^{-4} Q^2$

V-3-5- Droite rabattement - débit et débit spécifique

L'étude de la courbe caractéristique, ou courbe rabattement-débit permet de distinguer le point critique à partir duquel la pente de la courbe augmente considérablement tandis que le rapport débit-rabattement diminue rapidement avec l'épuisement. Le débit critique pour ce forage est d'environ 120 m3/h, et la droite Δ en fonction de q/Δ nous montre un épuisement régulier (fig. V-7).

V-4- FORAGE DE RECONNAISSANCE 11.L.8 (Nobandegan)

V-4-1- Ouvrage de sondage

Ce forage est situé sur les profils n° 29 et 30 de sondage électrique à environ 19 km au S.E. de la ville de Fassa, à côté du village de Nobandegan.

V-4-2- Les travaux de sondage

Diamètre de sondage : 75 m en 400 mm

Diamètre et caractéristique du tubage : 25 m en 350 mm non crépinés et 48,4 m en 300 mm (crépines télescopiques sur 4,4 m).

Sa profondeur a été de 75 m ; à 69 m, on a atteint le substratum, et on a rebouché le fond du forage sur 6 mètres.

Le contact de l'eau s'est fait à 24 m et a atteint 23 m à la fin du sondage.

V-4-3- Lithologie des échantillons de sondage

Les alternances lithologiques observées dans ce forage étaient :

0 - 27	argile silteuse
27 - 30	argile silteuse, graveleuse et galets
30 - 33	argile silteuse
33 - 39	argile silteuse et galets
39 - 45	argile silteuse
45 - 49	argile silteuse, très peu de graviers et galets
49 - 63	sable et graviers grossiers et fins, galets avec un peu d'argile
63 - 69	argile sableuse et graviers et très peu de galets.

V-4-4- Les essais de pompage

On a mis la pompe à la profondeur de 60 m. Le niveau statique au moment du pompage était de 23,62 m dans le forage et de 23,62 m dans le piézomètre.

. Essai de rabattement et de remontée

Après 24 heures de nettoyage du forage, on a déterminé le débit critique de 36 m3/h, et puis on a arrêté le pompage pendant 20 h pour effectuer les autres essais, les résultats sont dans le tableau suivant :

Tableau V-8 : Essai de rabattement et de remontée (forage 11.L.8)

Essai de Pompages		N. S. m	N. D. m	Δ m	Q m3/h	Durée de Pompage mm	Remarques
Forage	Rabat	23,35	45,00	21,65	62-31	2100	-
	Remon	23,42	45,00	21,58	-	1560	- 0,07 m
Piezo.	Rabat	24,025	25,010	0,985	62-31	2100	-
	Remon	24,095	25,010	0,915	-	1560	- 0,07 m

V-5- FORAGE DE RECONNAISSANCE 12.K.9 (Djalian)

Il est situé sur le profil n° 28 de sondage électrique à 25 km au Sud-Est de la ville de Fassa près du village de Djalian. Dans ce sondage de 92 m de profondeur, on n'a pas eu suffisamment d'eau à pomper en raison de l'existance de sédiments évaporitiques du Miocène au voisinage.

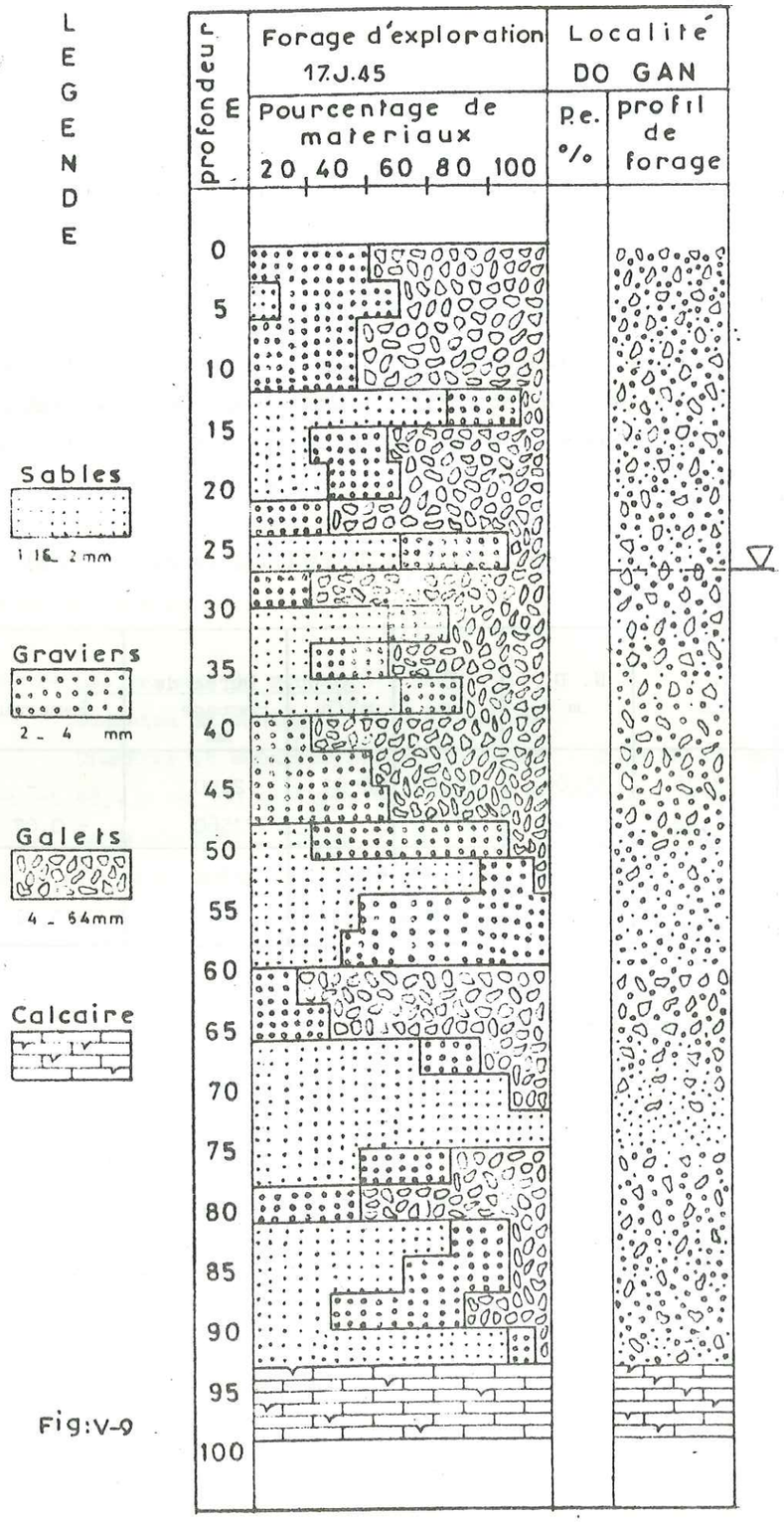


Fig:V-9

B - LES FORAGES SUR LES ALLUVIONS DE LA PLAINE DE GHARABOLAGH

V-6- FORAGE DE RECONNAISSANCE 17.J.45 (Dogan)

V-6-1- Ouvrage de sondage

Il est situé sur le profil n° 22 de sondage électrique, à environ 58 km à l'Ouest de la ville de Fassa, près du village de Dogan.

V-6-2- Les travaux de sondage

Diamètre de sondage : 28 m en 400 mm et 60,5 m en 350 mm

Diamètre et caractéristique du tubage : 26 m en 350 mm non crépinés et 77 m en 300 mm (crépines télescopiques sur 4,5 m).

La profondeur de forage est 98,5 m ; on a atteint le substratum calcaire à 93 m.

Le contact de l'eau s'est fait à 27 m, et a atteint 24,60 m à la fin du sondage.

V-6-3- Lithologie des échantillons de forage

Les variations lithologiques ne sont pas nombreuses, puisque jusqu'au fond les éléments sont à peu près homogènes avec très peu de différence (fig. V-9).

V-6-4- Les essais de pompage

On a placé la pompe à la profondeur de 78 m.

. Développement

Le nettoyage de forage a été effectué pendant 38 heures grâce à une pompe de 200 mm de diamètre.

. Essai de rabattement et de remontée

On a commencé l'essai de rabattement 36 heures après la fin du nettoyage ; et pendant les 2880 minutes de pompage avec un débit presque constant, on est arrivé aux résultats qui sont rapportés dans le tableau suivant :

Tableau V-10 : Essai de rabattement et de remontée (forage 17.J.45)

Essai de Pompage		N. S. m	N.D. m	Δ m	Q m3/h	q/Δ m3/h/m	Durée d'essai mn	Remarques
Forage	Rabat	24,86	34,86	10,00	209	21	2880	-
	Remon	24,88	34,86	9,98	-	-	2430	- 0,02 m
Piézo	Rabat	25,42	26,04	0,62	-	-	2880	-
	Remon	25,47	26,04	0,57	-	-	2430	- 0,05 m

. Essai de rabattement par paliers

Pendant les 1020 minutes d'essai de rabattement par paliers de débit, les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau V-11 : Essai de rabattement par paliers (forage 17.J.45)

Paliers de Pompage	t/mn	Q m3/h	N.D. m	Δ m	q/Δ m3/h/m	C Q m	B Q^2 m	Durée de pompage
1er	800	55	26,50	1,62	34	0,907	0,460	240
2ème	1000	133	29,58	4,70	28	2,194	2,688	240
3ème	1200	186	33,10	8,22	23	3,069	5,258	180
4ème	1400	232	36,80	11,92	19	3,828	8,181	180
5ème	1500	251	39,50	14,62	17	4,158	9,652	180
6ème	1600	289	70 ?	45 ?	6 ?	4,768	12,695	?

d'où : $B = 1{,}52 \cdot 10^{-4}$

$C = 1{,}65 \cdot 10^{-2}$

La formule du puits est donc : $\Delta = 1{,}65 \cdot 10^{-2} Q + 1{,}52 \cdot 10^{-4} Q^2$

A cause de l'écoulement à la partie supérieure, les mesures successives du niveau de l'eau ont été impossibles ; malgré cela, on a finalement pu mesurer un seul niveau de rabattement, qui était d'environ 45 m.

V-6-5- Droite rabattement-débit et débit spécifique

La courbe caractéristique rabattement-débit nous a permis de distinguer le débit critique qui est de l'ordre de 230 m3/h (fig. V-12).

La droite rabattement-débit spécifique confirme la perte de charge dans le forage qui dépend des résistances à l'écoulement à travers les crépines et dans le tubage.

V-7- FORAGE DE RECONNAISSANCE 17.J.46 (Aliabad)

V-7-1- Ouvrage de sondage

Il est situé sur le profil n° 22 bis de sondage électrique à 47 km environ, à l'Est de la ville de Fassa, près du village de Aliabad.

V-7-2- Les travaux de sondage

La méthode de forage a été la percussion.

Diamètre de sondage : 116 m en 400 mm

Diamètre et caractéristique de tubage : 24 m en 350 mm non crépinés et 92 m en 300 mm (crépines télescopiques sur 4 m).

Ce sondage de 116 m de profondeur a atteint le substratum à 112 m, on a donc rebouché le fond du forage sur 4 m.

Le contact avec l'eau s'est fait à 23 m et a atteint 21,30 m à la fin du sondage.

V-7-3- Lithologie des échantillons de forage

Les différents éléments lithologiques observés au moment du forage étaient :

0 - 51	argile silteuse
51 - 54	gravier et galets
54 - 57	argile silteuse et sableuse
57 - 70	sable grossier et fin ; gravier et un peu de galets et argile
70 - 81	sable grossier et fin ; galets ; gravier argileux
81 - 84	gravier argileux et galets
84 - 99	galets et gravier avec un peu d'argile
99 -105	argile silteuse et très peu d'argile
105 - 112	galets et gravier argileux.

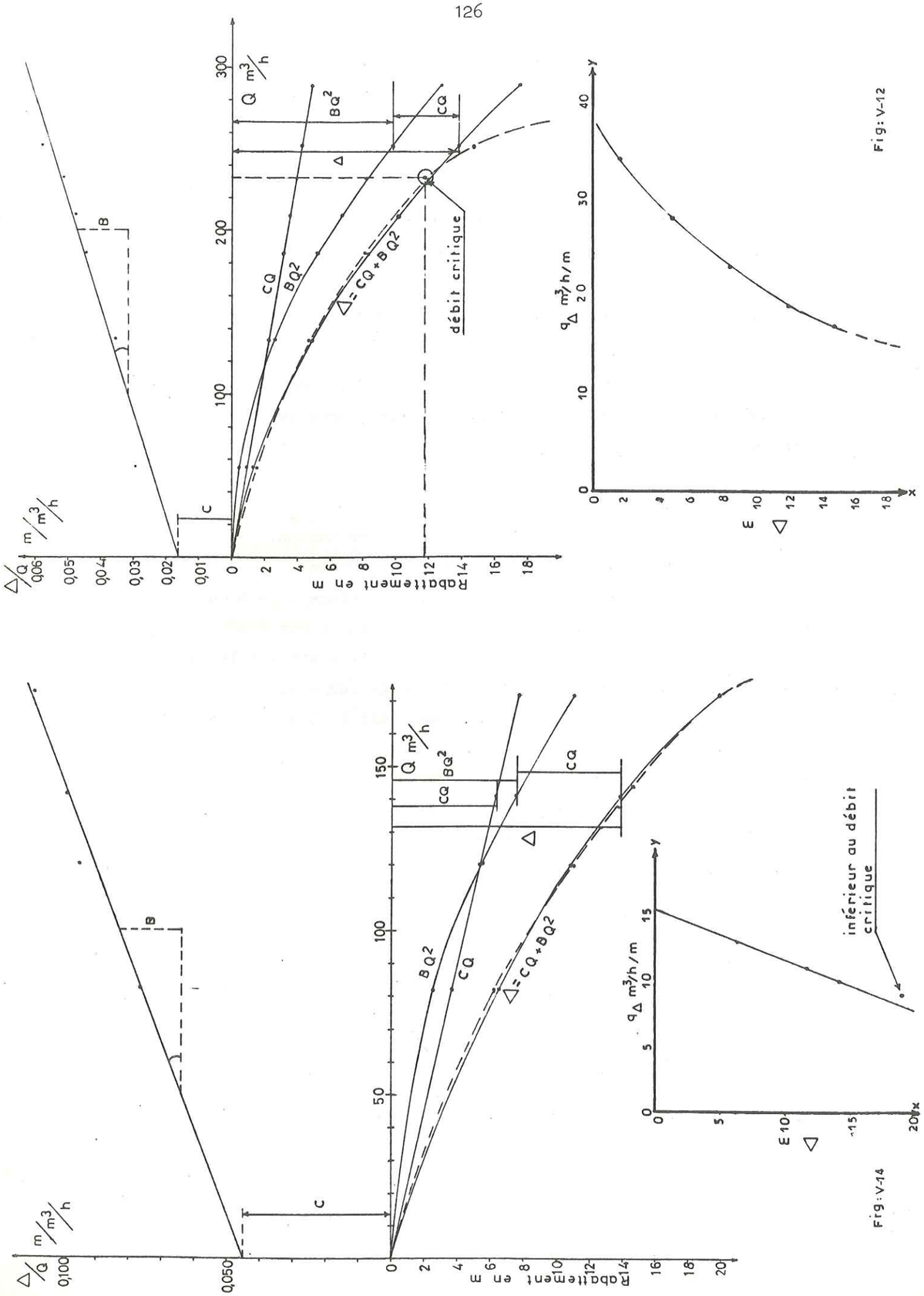


Fig: V-12

Fig: V-14

V-7-4- Les essais de pompage

Le pompage a été fait grâce à une pompe de 10 étages et de 200 mm de diamètre, équipée d'un moteur diésel et placée à la profondeur de 78 m.

- Développement

Le nettoyage de ce forage a duré 37 heures avec différents débits, du minimum au maximum sans interruption.

- Essai de remontée par paliers

Les résultats obtenus sont rapportés dans le tableau suivant :

Tableau V-13 : Essai de remontée par paliers (forage 17.J.46)

Palier de Pompage	t/mn	Q m3/h	N. D. m	Δ m	q/Δ m3/h/m	CQ m	BQ^2 m	Durée de Pompage h
Essai de Pompage	varie	jusqu'à 210	vers la pompe	50-54	3-4	-	-	environ 6
1er	1300	172	42,30	18,86	9	7,74	11,18	-
2ème	1100	141	37,45	14,01	10	6,34	7,51	4
3ème	1000	120	34,95	11,51	11	5,40	5,44	10h40
4ème	900	82	29,69	6,25	13	3,69	2,54	4
5ème	0	0	23,46	0,02	-	-	-	23h40

d'où : $B = 3{,}78 \cdot 10^{-4}$

$C = 4{,}5 \cdot 10^{-2}$

la formule du puits est donc :

$$\Delta = 4{,}5 \cdot 10^{-2}\ Q + 3{,}78 \cdot 10^{-4}\ Q^2$$

V-7-5- Droite-rabattement-débit spécifique

La droite rabattement-débit spécifique nous permet de connaître les caractéristiques du forage et de déterminer le débit critique. Par exemple sur la figure V-14, on remarque que la quatrième étape de l'essai de pompage par paliers est inférieure au débit critique.

- Essai de rabattement et remontée

Après la remontée du niveau à 23,46 m, on a fait un essai de rabattement et de remontée, le niveau étant simultanément mesuré dans le piézomètre.

Les résultats sont rapportés dans le tableau suivant :

Tableau V-15 : Essai de rabattement et de remontée (forage 17.J.46)

Essai de Pompage		N. S. m	N. D. m	Δ m	Q m3/h	q/Δ m3/h/m	Durée de Pompage mn	Remarques
Forage	Rabat	23,46	43,15	19,69	189	10	2860	
	Remon	23,60	43,15	19,55	-	-	1650	-0,15 m
Piézo-mètre	Rabat	23,99	25,47	1,48	-	-	2860	
	Remon	24,12	25,47	1,35	-	-	1650	-0,13m

V-8- FORAGE DE RECONNAISSANCE 14.J.16 (Dolatabad)

V-8-1- Ouvrage de sondage

Ce forage est situé sur le profil n° 25 de sondage électrique à 42 km à l'Est de la ville de Fassa, à côté du village de Dolatabad.

V-8-2- Les travaux de sondage

Diamètre de sondage : 85 m en 400 mm

Diamètre et caractéristique de tubage : 20,4 m en 350 mm non crépinés et 66 m en 300 mm (crépines télescopiques sur 4,4 m).

Il a 85 m de profondeur et atteint le substratum à 82 m : on a rebouché le fond du forage sur 3 m. Le contact avec l'eau s'est fait à 22 m, et a atteint 19,80 m à la fin du sondage.

V-8-3- Lithologie des échantillons de forage

Les variations lithologiques observés au moment du forage étaient :

0 - 36 argile silteuse et sableuse, argile compacte
36 - 39 argile sableuse avec très peu de galets
39 - 51 argile silteuse et sableuse, argile compacte et cohérante
51 - 60 galets, graviers grossiers et fins
60 - 72 argile silteuse avec un peu de sable
72 - 78 gravier sableux , galets et argile
78 - 82 argile compacte avec un peu de sable

V-8-4- Les essais de pompage

Le pompage du forage a été réalisé grâce à une pompe de 1500 mm de diamètre placée à la profondeur de 60 m.

Avant le développement, le niveau statique était de 20,78 m dans le forage et de 20,34 m dans le piézomètre.

On a donc nettoyé le forage pendant 24 heures de pompage.

- Essai de rabattement

Après avoir fini le nettoyage et arrêté pendant 24 heures, on a effectué l'essai de rabattement dans le forage et simultanément dans le piézomètre ; les résultats sont dans le tableau suivant :

Tableau V-16 : Essai de rabattement (forage 14.J.16)

Essai de Pompage		N. S. m	N. D. m	Δ m	Q m3/h	q/Δ m3/h	Durée d'essai mn	Remarques
Forage	Rabat.	19,78	41,87	22,09	57	3	3650	-
	Remon.	19,90	41,87	21,97	-	-	"	- 0,12 m
Piézo	Rab at.	20,27	21,66	1,39	-	-	1980	

C - LES FORAGES SUR LES ALLUVIONS DE LA PLAINE DE GHARABEIGOUN

V-9- FORAGE DE RECONNAISSANCE 9.M.31 (Kankan)

V-9-1- Ouvrage de sondage

Ce sondage est situé sur le profil n° 11 de sondage électrique à environ 19 km au sud de la ville de Fassa près du village de Kankan, dans la plaine de Gharabeigoun.

V-9-2- Les travaux de sondage

Il est foré grâce à une sondeuse à percussion.

Diamètre de sondage : 45 m en 400 mm et 45 m en 350 mm.

Diamètre et caractéristique de tubage : 24,24 m en 350 mm non crépiné et 63,30 m en 300 mm (crépines télescopiques sur 4 m).

Ce sondage de 90 m de profondeur a atteint le substratum à 83 m ; on a donc rebouché le fond du forage sur 7 m.

Le contact de l'eau s'est fait à 22,75 m et a atteint 21,43 m à la fin du sondage.

V-9-3- Lithologie des échantillons de forage

Les variations lithologiques observées au moment du forage étaient :

0 - 22	argile et silt
22 - 31	galets et galets graveleux
31 - 39	argile avec très peu de gravier fin
39 - 41	galets graveleux
41 - 45	argile peu graveleuse et sableuse
45 - 48	gravier et galets
48 - 57	argile compactée
57 - 66	galets moyens et fins
66 - 75	galets hétérogènes mélanges de graviers grossiers et fins et très peu d'argile
75 - 83	graviers et galets

V-9-4- Les essais de pompage

Dans ce forage la pompe a été placée à la profondeur de 63 m.

- Développement

Le nettoyage de ce forage grâce au pompage a commencé au débit minimum pendant 36 heures ininterrompues, on a augmenté peu à peu le débit jusqu'au maximum de la capacité de la pompe, le débit atteignant alors 342 m3/h (95 l/s).

Ce forage a été équipé par une pompe de 10 étages et 200 mm de diamètre.

- Essai de rabattement

Après 36 heures d'arrêt après le nettoyage, on avait atteint le niveau 23,33 m. On a donc commencé l'essai de rabattement avec un débit de 171 m3/h pendant 2835 minutes jusqu'à ce que le niveau de l'eau ne s'abaisse plus (niveau dynamique). Le rabattement est donc 7,07 m.

Le débit spécifique d'après cet essai est de 24 m3/h/m.

- Essai de remontée

Après 2240 minutes, la remontée de l'eau nous a donné un niveau statique de 23,165 m, soit 0,165 m plus bas que le niveau de l'eau avant l'essai de rabattement.

Simultanément, on a mesuré le rabattement et la remontée dans le piézomètre (situé à 30 m).

On a donc les résultats suivants :

	N.S. m	N.D. m	Δ m	Observation
Rabattement	24,645	25,35	0,705	-
Remontée	24,54	25,35	0,71	- 0,05 m

- Essai de rabattement par paliers

Les résultats sont rapportés dans le tableau suivant :

Tableau V-17 : Essai de rabattement par paliers (forage 9.M.31)

Palier de Pompage	t/mn	Q m3/h	N.D. m	Δ m	q/Δ m3/h/m	C.Q. m	BQ^2 m	Durée de Pompage mn
1er	880	59	24,87	0,705	84	0,3363	0,1569	148
2ème	1000	156	26,50	1,915	81	0,8892	1,0975	168
3ème	1200	220	26,62	3,455	64	1,2540	2,1828	174
4ème	1400	281	28,15	4,985	56	1,6017	3,5611	180
5ème	1500	342	31,50	8,335	41	1,9094	5,2750	180

d'où : $B = 4{,}51 \cdot 10^{-5}$

$C = 5{,}7 \cdot 10^{-3}$

La formule du puits est donc :

$$\Delta = 5{,}7 \cdot 10^{-3}\ Q + 4{,}51 \cdot 10^{-5}\ Q^2$$

V-9-5- Droite rabattement-débit et débit spécifique

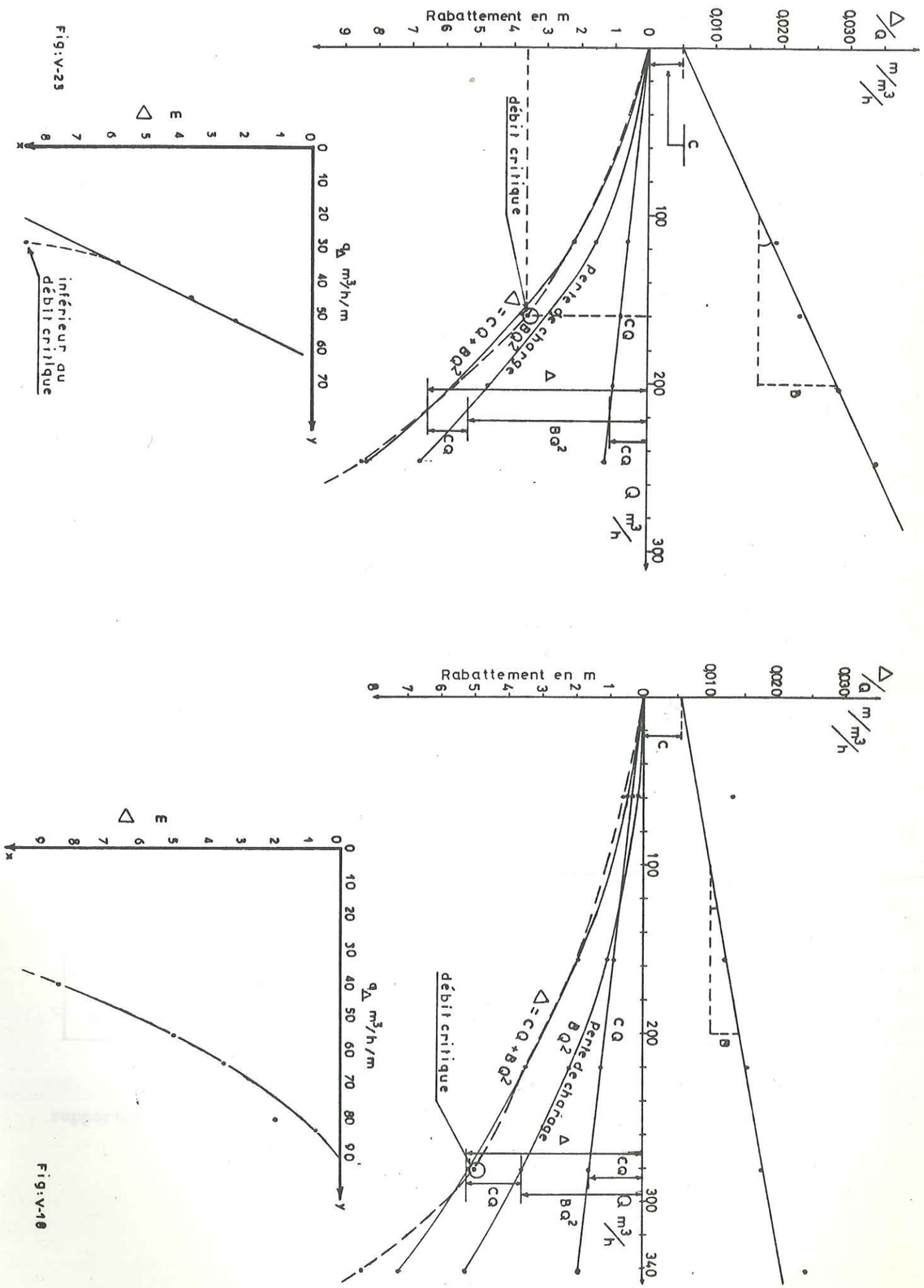
La courbe caractéristique du rabattement en fonction du débit nous a permis de déterminer le débit critique, qui est d'environ 280 m3/h (voir fig. V-18).

La droite rabattement-débit spécifique montre une perte de charge dans le forage due aux résistances à l'écoulement à travers les crépines et dans le tubage.

V-10 - FORAGE DE RECONNAISSANCE 11.0.23 (Zahedan)

V-10-1- Ouvrage de sondage

Il est situé sur le profil n° 34 de sondage électrique à environ 27 km au sud de la ville de Fassa, près du village de Zahedan.



V-10-2- Les travaux de sondage

Diamètre de sondage : 30 m en 400mm et 59 m en 350 mm.

Diamètre et caractéristique du tubage : 14,4 m en 350 mm non crépinés et 73,8 m en 300 mm (crépines télescopiques sur 4,2 m).

Ce sondage de 89 m de profondeur a atteint le substratum à 84 m, on a donc rebouché le fond du forage sur 5 m.

Le contact avec l'eau s'est fait à 14,5 m et a atteint 13,92 m à la fin du sondage.

V-10-3- Lithologie des échantillons de forage

Les différents éléments lithologiques observés au moment du forage étaient :

0 - 33 argile silteuse
33 - 40 argile silteuse, graveleuse et sableuse
40 - 48 argile silteuse et sableuse
48 - 58 sable fin, gravier et galets argileux
58 - 60 sable fin et grossier bien compacté
60 - 84 sable fin et grossier, gravier et galets.

V-10-4- Les essais de pompage

Le développement du forage a été réalisé pendant 31 heures (1860 mm).

Après le nettoyage, on a fait un essai de rabattement. Les résultats sont fourni dans le tableau suivant :

Tableau V-19 : Essai de rabattement et de remontée (forage 11.0.23)

Essai de Pompage	N.S. m	N.D. m	Δ m	Q m3/h	q m3/h/m	Durée de Pompage mn	Remarques
Rabattement	14,89	26,45	11,56	73	6	1500	
Remontée	15,06	26,45	-	-	-	1440	- 0,17 m

V-11- FORAGE DE RECONNAISSANCE 12.P.25 (Hosseynabad)

V-11-1- Ouvrage de sondage

Ce forage est situé sur le profil n° 14 de sondage électrique à environ 35 km au sud de la ville de Fassa à côté du village de Hosseynabad.

V-11-2- Les travaux de sondage

Diamètre de sondage : 41 m en 400 mm et 27 m en 350 mm.

Diamètre et caractéristique du tubage : 16 m en 350 mm non crépinés et 52,5 m en 300 mm (crépines télescopiques sur 4,5 m).

La profondeur de ce forage est de 68 m ; il a atteint le substratum à 64 m et on a rebouché le fond du forage sur 4 m.

Le contact de l'eau s'est fait à 17 m et a atteint 14,30 m à la fin du sondage.

V-11-3- Lithologie des échantillons de forage

Les variations des niveaux lithologiques observées au moment du forage étaient (fig. V-20) :

0 - 12 argile silteuse avec un peu de sable
12 - 50 sable fin et grossier, gravier et galets argileux
50 - 58 argile sableuse et graveleuse
58 - 64 sable graveleux, galets et un peu d'argile

V-11-4- Les essais de pompage

. Développement

Le nettoyage du forage a été fait grâce à une pompe de 10 étages et de 200 mm de diamètre, placée à 45 m de profondeur, pendant 25 heures.

. Essai de rabattement

Cet essai a été fait pendant 2840 minutes et simultanément, on mesurait le rabattement dans le piézomètre.

. Essai de remontée

La remontée a duré 1530 minutes. Les résultats sont rapportés dans le tableau suivant :

Tableau V-21 : Essai de rabattement et de remontée (forage 12.P.25)

Essai de Pompage		N.S. m	N.D. m	Δ m	Q m3/h	q/Δ m3/h/m	Durée d'essai mn	Remarques
Forage	Rabat	14,14	23,50	9,36	232-176		2840	Pendant le pompage le débit a été variable - 0,02 m
	Remon	14,16	23,50	-	-	-	1530	
Piézo	Rabat	14,44	14,59	0,15	-	-	2840	
	Remon	14,45	14,59	-	-	-	1530	- 0,01 m

. Essai de rabattement par paliers de débits

Pendant 1110 minutes d'essai de rabattement par paliers, les résultats obtenus sont les suivants : (le niveau de l'eau était de 14,16 m avant cet essai).

Tableau V-22 : Essai de rabattement par paliers de débit (forage 12.P.25)

Palier de Pompage	t/mn	Q m3/H	N.D. m	Δ m	q/Δ m3/h/m	CQ m	BQ^2 m	Durée de Pompage mn
1er	850	116	16,40	2,24	52	0,58	1,56	240
2ème	1000	159	17,72	3,56	45	0,79	2,93	240
3ème	1150	202	19,88	5,72	35	1,01	4,73	240
4ème	1300	247	22,65	8,49	29	1,23	7,70	60

d'où : $B = 1,16 \cdot 10^{-4}$
$C = 5 \cdot 10^{-3}$

La formule du puits est donc :
$\Delta = 5 \cdot 10^{-3} Q + 1,16 \cdot 10^{-4} Q^2$

A cause d'écoulements à la partie supérieure, les mesures successives du niveau de l'eau ont été impossibles ; cependant on a essayé de mesurer pendant 360 minutes, mais les résultats obtenus à partir de la soixantième minute ne sont pas satisfaisants.

V-11-5- Droite rabattement-débit et débit spécifique

La courbe rabattement-débit nous a permis de déterminer le débit critique qui est de 160 m3/h environ (fig. V-23).

La droite rabattement-débit spécifique de ce forage montre que le débit spécifique du dernier palier est inférieur au débit critique.

V-12- CONCLUSION

De façon générale, en raison de l'importance des ressources en eau rencontrées dans les alluvions, on peut affirmer que ces alluvions qui reçoivent d'importantes quantités d'eau et qui ont une porosité favorable du fait de leurs caractéristiques lithologiques, sont alimentées par les calcaires du substratum et surtout par les formations de Djahrom et Asmari-Djahrom et les lits des oueds et des cours d'eau.

L'étude géologique détaillée a permis de définir lithologiquement les alluvions (aquifères) recoupées par les forages d'étude, et d'en tirer le maximum de renseignements. De ce fait, on peut donc avoir une bonne idée générale de l'hydrogéologie et des variations de la nappe aquifère.

o o

o

Tableau V-1 : Caractéristiques générales des forages

Nom de la Plaine	Coordonnées du forage sur la carte	Date de l'ouvrage		Profondeur m	Niveau de l'eau en m			Caractère chimique				Essai de Pompage					Formation
		Début	Fin		Contact à l'eau	NS m (1)	ND m	Conductivité µmoh/cm		teneur en mg/l		$Q_{(2)}$ l/s	Δ m	Ø de pompe mm	$Q_{(3)}$ critique l/s	Durée de Pompage mn	
								Min.	Max.	Min.	Max.						
FASSA	6.I.8	16.11.70	16.12.70	68	25	22,46	24, 17	700	2700	67	106	28,6	1,71	150	> 50	4350	Q
	7.J.35	30. 8.71	10. 9.71	66	25	24,27	32, 50	1100	1250	121	142	29 à 37,7	8,23	200	> 32	3740	Q
	8.K.12	20.12.70	6. 1.71	87	18	10,77	27,20	810	1870	82	252	23,6 31,3	16,43	200	≃ 40	2880	Q
	11.L.8	23. 6.71	27.7.71	69	24	23,35	45,0	580	1350	21	181	86 à 17,2	21,65	150	10	2100	Q
	12.K.9	4. 5.71	30. 6.71	92	12	11,22	A cause de l'absence de l'eau suffisante l'essai de pompage n'a pas été possible.										Q
GHARABOLAGH	17.J.45	3. 8.71	22. 8.71	98,5	27	24,86	34,86	480	1060	21	121	58	10	200	> 80	2880	Q
	17.J.46	20.3.71	10. 4.71	112	23	23,46	43,20	460	640	11	43	52,5	19,74	200	58	1341	Q
	14.J.16	3. 7.71	22. 7.71	82	22	19,78	41,87	410	640	11	35	15,8	22,09	150	18	3650	Q
GHARABEIGOUN	9.M.31	1. 2.71	21. 2.71	83	22,75	23,33	26,40	1870	2450	202	323	47,5	3,07	200	≃ 95	2629	Q
	11.0.23	21. 4.71	20. 6.71	84	14,50	14,89	26,45	29300	31400	401	415	20	11,56	150	24	1500	Q
	12.P.25	6. 8.71	29. 8.71	64	17	14,14	23,50	2620	2850	532	568	48,8 64,4	9,36	200	> 70	2840	Q

(1) : c'est le niveau de l'eau à l'instant de l'essai de pompage

(2) : le débit de pompage a varié pendant l'essai de pompage

(3) : le débit critique a été estimé dans certains forages

Tableau V-2 : Caractéristiques générales des piézomètres.

Nom de la Plaine	Coordonnées de forage sur la carte	Niveau de l'eau			Δ m	Profondeur m	Distance (x) m
		Contact à l'eau	N.S. m *	N.D. m			
Fassa	6.I.8	24	23,10	23,34	0,24	37	30
	7.J.35	25	25,075	26,13	1,055	46	30
	8.K.12	18	11,04	21,93	10,89	87	30
	11.L.8	25	24,025	25,01	0,985	58	30
	12.K.9	13	13	Pas d'essai		44	30
G. Bolagh	17.J.45	25	25,42	26,04	0,62	40	30
	17.J.46	23,5	23,99	25,47	1,48	54	30,5
	14.J.16	25	20,27	21,66	1,39	68	30
G. Beigoun	9.M.31	23,5	24,645	25,35	0,705	59	30
	11.0.23	14	Piézomètre bouché			54	30
	12.P.25	17	14,14	15,23	1,09	40	30

* N.S. : niveau statique à l'instant de l'essai de pompage

CHAPITRE VI

DETERMINATION DES CARACTERES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES DE LA REGION

- Introduction
- Calcul de T, S, K par les différentes méthodes
- Interprétation des courbes et étude granulométrique pour chaque puits
- Résultats
- Conclusion du chapitre

CHAPITRE VI

DETERMINATION DES CARACTERES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES DE LA REGION

VI-1- INTRODUCTION

Pour la détermination des divers paramètres hydrodynamiques des aquifères de la région de Fassa, on a appliqué l'équation d'approximation logarithmique de C.Theis valable pour le régime d'écoulement transitoire (non permanent) et C.E. Jacob pour le régime permanent à l'aide de plusieurs essais de pompage dans les aquifères alluviaux de notre région d'étude.

VI-2- RAPPEL DES EQUATIONS

L'Interprétation des essais de pompage a été faite suivant deux méthodes.

Les équations utilisées pour le traitement analytique des essais de pompage sont des équations donnant le rabattement en fonction du débit et des paramètres hydrodynamiques.

- Régime transitoire (Theis)

$$\Delta = \frac{Q}{4\,T\,t} \quad W(U)$$

avec : (eq1)

$$U = \frac{R^2\,S}{4\,T\,t}$$

Lorsque le temps de pompage t croît, on peut utiliser une approximation logarithmique de la formule de Theis qui a été calculée par Jacob (pour $U < 0{,}01$) :

$$\Delta = \frac{Q}{4\,T} \text{ Ln } \frac{2{,}25\,Tt}{R^2S} \quad \text{(Jacob)}$$

ou en remplaçant les logarithmes Népériens par les logarithmes décimaux

$$\Delta = \frac{0{,}183\,Q}{T} \text{ Log } \frac{2{,}25\,Tt}{R^2S} \qquad \text{(eq 2)}$$

Cette formule simplifiée donne une solution d'autant plus proche de la courbe de dépression réelle à l'instant t que R est plus petit, donc, d'une part que l'on est plus proche du puits de pompage et d'autre part, que le temps t de pompage est plus long. Elle est d'autant plus approchée que T/S est plus grand.

L'interprétation des essais de pompage, peut être effectuée par deux méthodes graphiques. La première (méthode de Theis) est basée sur l'équation (1), c'est la méthode de la courbe de la fonction caractéristique (courbe standard, "type curve"). La seconde (méthode Jacob) est basée sur l'équation (2) c'est la méthode graphique d'approximation logarithmique. C'est celle-ci qui a été utilisée dans la plupart des cas. On trace la droite des données de pompage en régime de non-équilibre.

1er cas : on trace la courbe $\Delta = f(\log t)$

L'équation (2) peut s'écrire :

$$\Delta = \frac{0,183\ Q}{T} \left(\log \frac{2,25\ T}{R^2 S} + \log t\right)$$

c'est une fonction de la forme :

$$y = a + b\,x$$

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

la constate "a" est déterminée par le coefficient angulaire de la droite, d'où :

$$a = \frac{0,183\ Q}{T} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{\delta \Delta}{(\log t)}$$

Les valeurs $\delta\Delta$ et δ logt (les variables) sont donnée par l'accroissement du rabattement dans un cycle logarithmique, dans ce cas on a donc :

$$\delta\Delta = C = \frac{0,183\ Q}{T} \quad \text{d'où } T = \frac{0,183\ Q}{C}$$

Le coefficient d'emmagasinement est calculé par deux méthodes basées sur l'équation (2) :

a) on choisit un point sur la droite et on introduit les coordonnées Δ et t dans l'équation 2,

d'où $\Delta = C.\ \log \frac{2,25\ Tt}{R^2 S}$

b) Calcul de to : Lorsque la droite coupe l'axe des temps, pour un rabattement nul $\Delta = 0$, logt = log to. Si on introduit ces valeurs dans l'équation (2), on obtient :

$$0 = \frac{0,183\ Q}{T} \log \frac{2,25\ T\ to}{R^2\ S}$$

d'où

$$S = \frac{2,25\ T\ to}{R^2}$$

2ème cas : on trace la droite $\Delta/Q = f(\log t)$

L'équation 2 peut s'écrire :

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

Par une méthode de calcul analogue à celle utilisée précédemment on obtient :

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

$$S = \frac{2,25\ Tto}{R^2}$$

On peut également interpréter les observations effectuées pendant la remontée.

Celle-ci est considérée comme une injection d'eau dans le puits correspondant à un débit négatif - Q. En appliquant l'équation 2 on soustrait à un temps t' après l'arrêt du pompage au temps t, le débit injecté ou débit extrait et on obtient la formule d'approximation logarithmique de la courbe de remontée :

$$\Delta = \frac{0,183\ Q}{T} \log t/t' \qquad \text{(éq 3)}$$

Le rabattement observé, après arrêt du pompage à un instant donné t' est appelé "rabattement résiduel". Cette équation permet de calculer la transmissivité T. Celle-ci est donc indépendante du coefficient d'emmagasinement.

Il faut également ajouter que cette formule n'est valable que pour les valeurs de t et t' assez grandes.

Pour calculer T, on porte les données du pompage sur un diagramme semi-logarithmique avec en abscisses les logarithmes de t/t', et en ordonnées, pour un seul débit constant les rabattements résiduels Δ et pour plusieurs régimes de pompage les rabattements spécifiques résiduels Δ/Q.

La valeur de $tg\alpha = C$ est donnée par l'accroissement du rabattement résiduel Δ ou du rabattement résiduel spécifique Δ/Q dans un cycle logarithmique. Dans ce cas $\log t/t' = 1$ et on a donc :

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

ou $$\frac{0,183}{T} = \delta\frac{\Delta}{Q} = C$$

d'où $$T = \frac{0,183\ Q}{C} \quad \text{ou} \quad \frac{0,183}{C}$$

- Calcul du coefficient de perméabilité

Il peut être déterminé, soit graphiquement, soit par application de la formule de Dupuit valable en régime d'équilibre.

$$\Delta = \frac{0,73\ Q}{K} \log \frac{R}{x}$$

Cette formule est de la forme générale :

$$y^2 = a \log x$$

la constante "a" égale

$$a = \frac{0,73\ Q}{K}$$

La droite de cette fonction est obtenue graphiquement en portant en abscisses logx et en ordonnées les valeurs de rabattement Δ .

Le coefficient angulaire de la droite donne la valeur de 0,73Q/K :

$$\frac{0,73\ Q}{K} = tg\alpha = \frac{\delta\Delta}{\delta(\log x)}$$

La valeur de $\frac{\delta\Delta}{\delta(\text{Log}x)}$ est donnée par l'accroissement du rabattement Δ , dans un cycle logarithmique C, d'où :

$$\frac{0,73\ Q}{K} = C$$

ou

$$K = \frac{0,73Q}{C}$$

- Calcul du coefficient d'emmagasinement d'un aquifère libre par la méthode granulométrique

. Définition

Nous savons que les vides d'un matériau aquifère sont occupés par deux catégories d'eau :

- L'eau de rétention qui, fixée par les forces d'absorption n'est pas disponible pour les ouvrages de captages et ne participe pas à la circulation des eaux souterraines ;

- l'eau gravifique qui, seule intéresse la circulation des eaux souterraines et leur exploitation.

Dans les nappes libres, la quantité d'eau qui obéit aux lois de la gravité (eau gravifique)est donc inférieure à celle qui occupe la totalité des vides.

Le volume d'eau qui peut être effectivement libéré par un prisme vertical de matériau aquifère de section égale à l'unité, pour une baisse unité du niveau piézométrique ou de charge, est le coefficient d'emmagasinement. C'est la storativity ou "storage coefficient" ou "specific yield" des hydrogéologues américains.Nous adopterons le terme de coefficient d'emmagasinement. C'est un nombre sans dimension, exprimé en pourcentage, désigné par le symbole S.

- Principe de la méthode

En observant les sédiments alluviaux d'un puits, on peut évaluer le coefficient d'emmagasinement ou ("specific yield") des diverses couches aquifères.

Les experts américains et hollandais ont essayé d'évaluer celui de 10 d'alluvions diverses en laboratoire. Les résultats sont rapportés dans le tableau suivant :

Ordre	Qualité	Nombre d'échantillons	Taux du Max.	"Specific yield" Min.	"Specific yield" Moy.
1	Argile	15	5	0	2
2	Silt	16	19	3	8
3	Sable argileux	12	12	3	7
4	Sable fin	17	28	10	21
5	Sable Moyen	17	32	15	26
6	Sable grossier	17	35	20	27
7	Gravier sableux	15	35	20	25
8	Gravier fin	17	35	21	25
9	Gravier moyen	14	26	13	23
10	Gravier grossier	16	26	12	22

Pour permettre l'évaluation du "specific yield" des divers sédiments aquifères d'Iran, N.A. de Ridder en utilisant "Compilation of specific yield for various Materials" par A.I. Johnson, Hydrologic Laboratory Colorado (1966) , a classé, en utilisant les résultats précédents, les couches sédimentaires en 5 groupes :

Groupe C. : (S = 3 %)

Ce groupe comprend l'ensemble des argiles : argile ; argile compacte ; argile fine ; argile collante et "hard pan".

Groupe C.G. : (S = 5 %)

qui comprend : argile graveleuse ; argile sableuse ; argile sableuse et graveleuse ; conglomérat ; conglomérat argileux : "loam" ; argile sableuse et loam ; silt ; argile silteuse ; argile et sable fin ; "loam argileux" ; sable argileux et loam ; silt argileux et loam, argile sableuse (sable fin) ; argile peu sableuse.

Groupe T.S. : (S = 10 %)

qui comprend : sable compacté ; sable et argile ; sable peu argileux ; "loam et sable fin" ; sable ; gravier et argile ; conglomérat ; gravier grossier ; galets ; sable, galets et peu d'argile ; gravier fin compacté et matériau aux similaires.

Groupe G.S. : (S = 15 %)

Ce groupe comporte les sédiments tels que : gravier, sable et galets ; gravier et galets ; gravier grossier ; sable fin et mélanges associés de matériaux de différentes tailles.

Groupe S.G. : (S = 22-25 %)

qui comporte les sédiments tels que : sable fin ; sable moyen ; sable grossier ; gravier fin ; sable et gravier ; gravier sableux ; gravier grossier; galets et matériaux grossiers, sont principalement sortis du forage.

Le classement des différents types d'alluvions et de leur "spécific yield", fait ci-dessus, correspond à une évaluation approximative, qui est fonction du nombre faible d'analyses statistiques disponibles dans l'état actuel de nos connaissances.

VI-3- CALCUL DE T ET DE S ET INTERPRETATION DES COURBES POUR CHAQUE FORAGE

A - PLAINE DE FASSA

VI-3-1- Forage 6-I-8 (Toutakan)

Au cours de l'essai de rabattement dans le forage, on a mesuré le niveau de l'eau simultanément dans le piézomètre à proximité de ce forage (30 m). On a tracé les droites:

$\Delta = f(\log t)$; $\Delta = f(\log t/t')$; $\log \Delta = f(\log x^2/t)$

La forme de la courbe de rabattement en fonction de logarithme t (essai de rabattement) présente une seule étape. Donc les valeurs de T et de S sont :

a) Calcul de T et de S par la méthode graphique d'approximation logarithmique (fig. VI-1).

- Pour le forage :

$Q = 103\ m^3/h = 0{,}0286\ m^3/s$

$C_F = 0{,}195\ m$

d'où: $T = 2{,}68 \cdot 10^{-2}\ m^2/s$

- Pour le piézomètre :

$C_p = 0{,}128\ m$

$x = 30\ m$

$to = 2400\ s$

d'où: $T = 4{,}08 \cdot 10^{-2}\ m^2/s$

et $S = 0{,}24$ soit 24 %

b) Calcul de T et de S par la courbe de la fonction caractéristique ou la formule exponentielle intégrale (fig. VI-2)

Les coordonnées du point arbitraire donnent :

$U = 2{,}6 \times 10^{-2}$

$W(U) = 3{,}1$

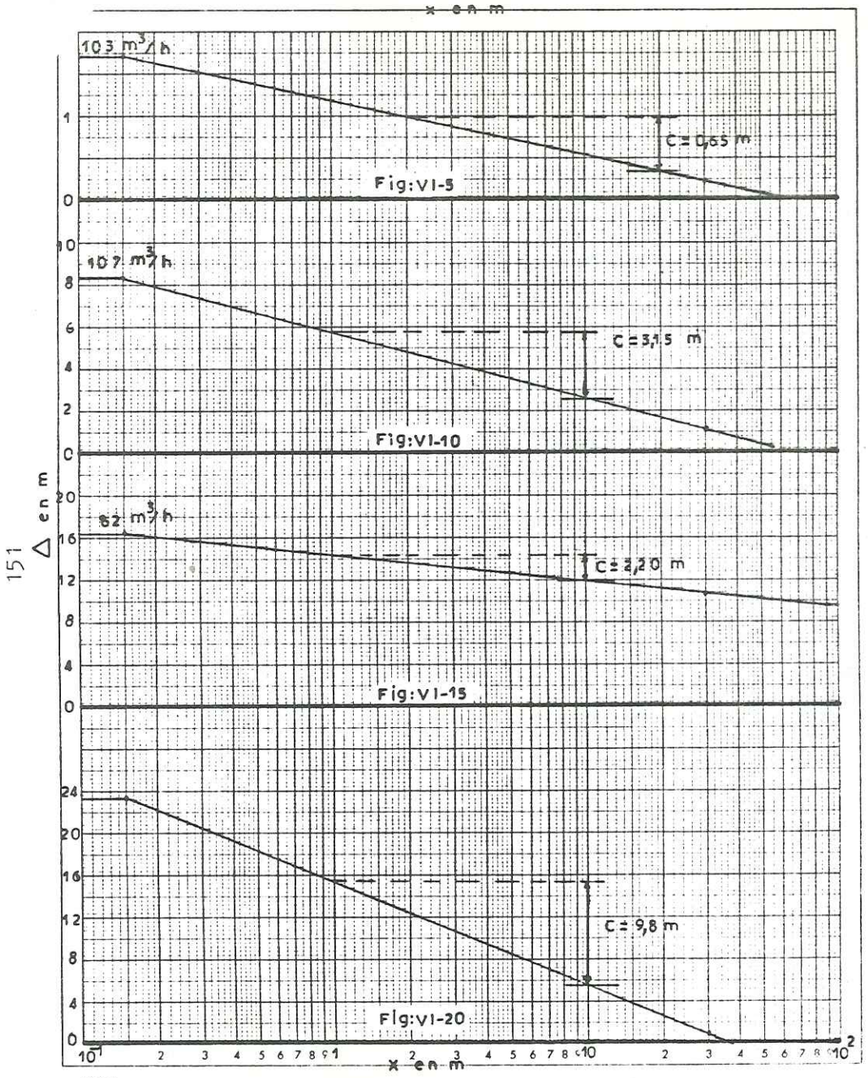
$\Delta = 1{,}55 \cdot 10^{-1}\ m$

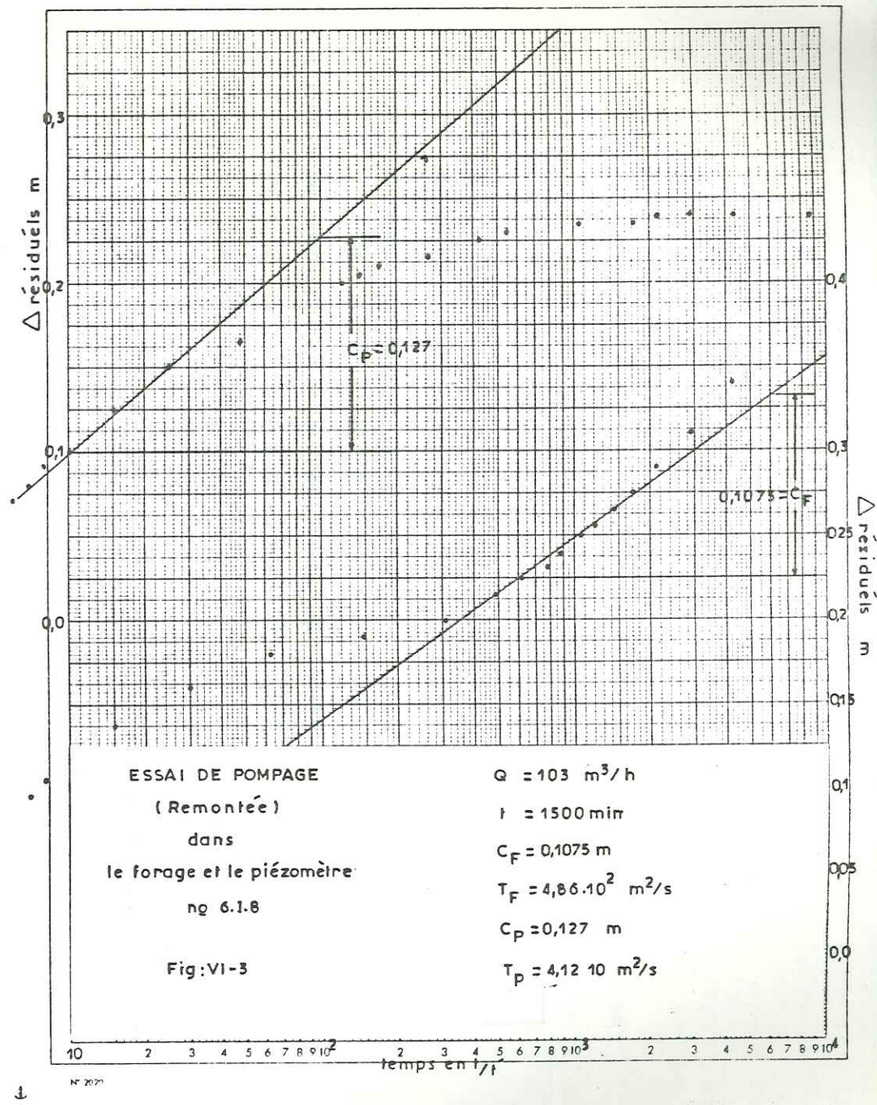
$x^2/t = 1{,}86 \cdot 10^{3}\ m^2/jour = \frac{1860}{86400}\ m^2/s$

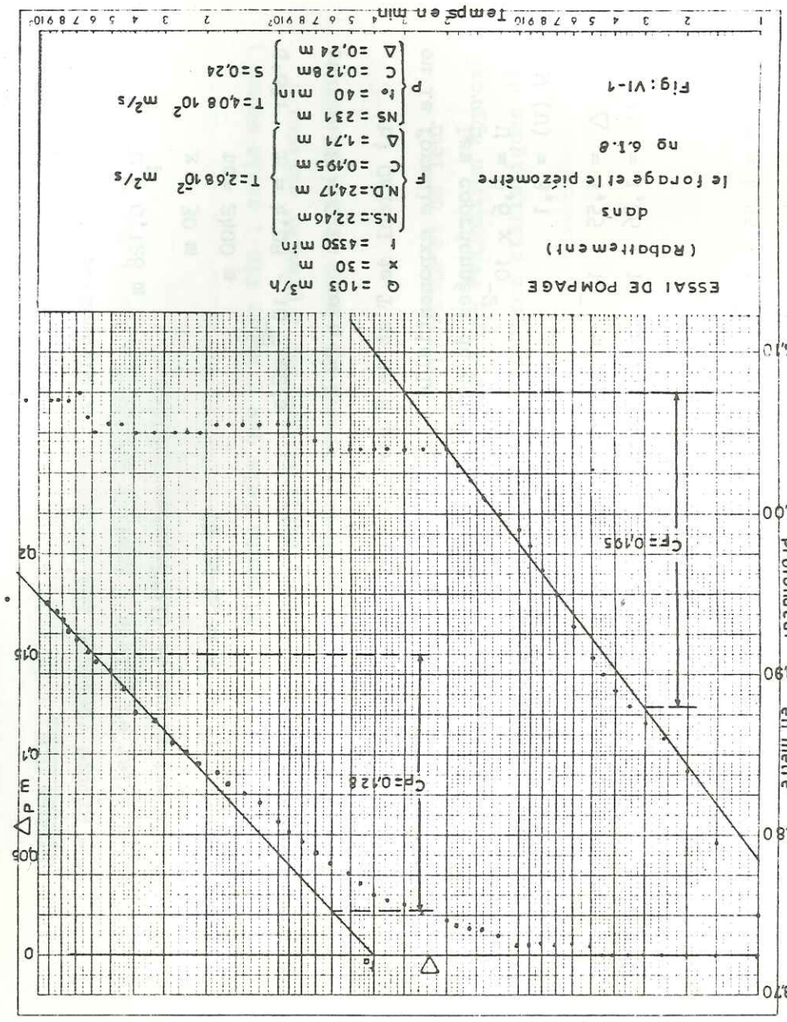
d'où:

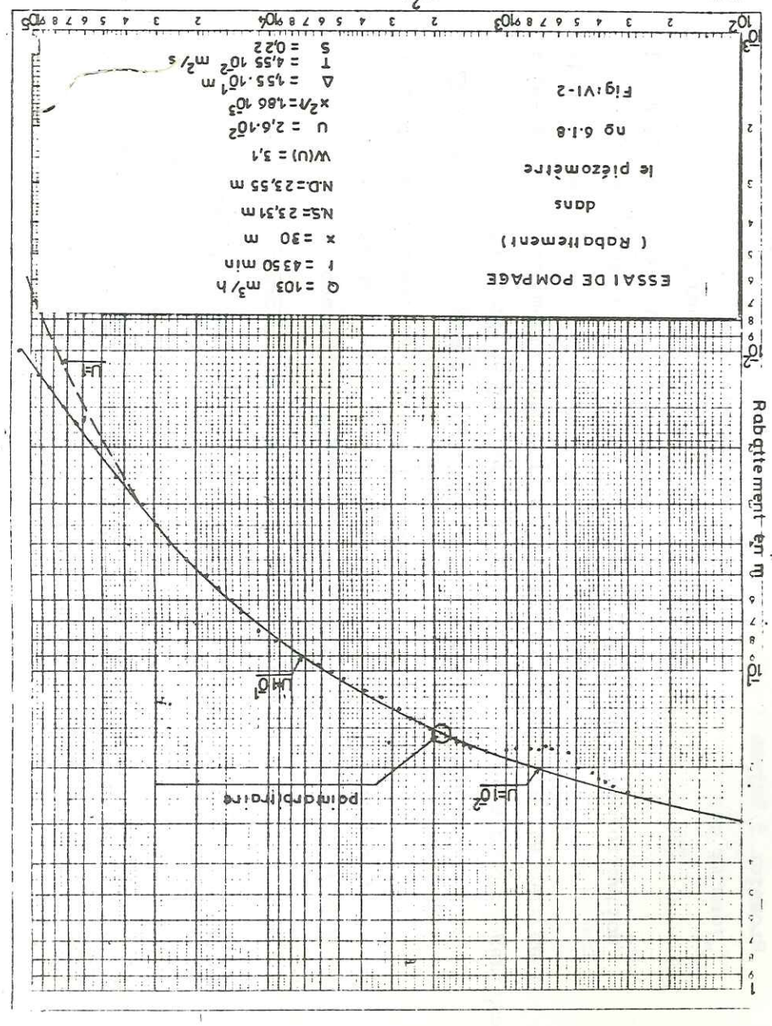
$T = 4{,}55 \cdot 10^{-2}\ m^2/s$

$S = 0{,}22$ soit 22 %


x en m
103 m³/h
C = 0,65 m
Fig:VI-5
107 m³/h
C = 3,15 m
Fig:VI-10
62 m³/h
C = 2,20 m
Fig:VI-15
C = 9,8 m
Fig:VI-20
Δ en m
x en m


Δ résiduels m
Cp = 0,127
0,1075 = CF
Δ résiduels m
ESSAI DE POMPAGE
(Remontée)
dans
le forage et le piézomètre
ng 6.1.8
Fig:VI-3
Q = 103 m³/h
t = 1500 min
CF = 0,1075 m
TF = 4,86.10² m²/s
Cp = 0,127 m
Tp = 4,12 10 m²/s
temps en t/t


Profondeur en mètre
CF=0,195
Cp=0,128
Δ résiduels m
ESSAI DE POMPAGE
(Rabattement)
dans
le forage et le piézomètre
ng 6.1.8
Fig:VI-1
Q = 103 m³/h
x = 30 m
t = 4350 min
F { N.S.= 22,46m, N.D.=24,17 m, C = 0,195 m, Δ = 1,71 m } T=2,68 10² m²/s
P { Ns = 231 m, t° = 40 min, C = 0,128m, Δ = 0,24 m } T=4,08 10² m²/s, S=0,24
Temps en min


Rabattement en m
ESSAI DE POMPAGE
(Rabattement)
dans
le piézomètre
ng 6.1.8
Fig:VI-2
Q = 103 m³/h
t = 4350 min
x = 30 m
NS= 23,31m
N.D.= 23,55 m
W(U) = 3,1
u = 2,6.10⁻²
x²/t = 1,86 10³
Δ = 1,55.10⁻¹ m
T = 4,55 10⁻² m²/s
S = 0,22
x²/t

c) Calcul de T par la droite de remontée en fonction de rabattement résiduel -logarithme t/t' (fig. VI-3)

- Pour le forage :

C_F = 0,1075 m

d'où: T = 4,86 . 10^{-2} m2/s

- Pour le piézomètre :

C_p = 0,127 m

d'où: T = 4,12 . 10^{-2} m2/s

Il faut ajouter que sur la courbe de remontée on aperçoit deux étapes successives avec la même valeur de Δ . Cela correspond au colmatage des crépines.

d) Calcul du coefficient d'emmagasinement à partir de la granulométrie

En tenant compte de ce que l'on vient de dire, le coefficient d'emmagasinement de ce forage est de l'ordre de 20 %. Les résultats sont rapportés dans le tableau suivant :

Tableau VI-4 : Résultat du calcul S à partir de la granulométrie dans le forage 6.I.8.

Profondeur m	Epais. m	Groupe	S de groupe %	Pourcentage de groupe	S du forage %
24 - 26	2	C.G.	5	0,0454	0,227
26 - 29	3	G.S.	15	0,068	1,02
29 - 37	8	S.G.	22	0,181	3,382
37 - 47	10	S.G.	22	0,227	4,994
47 - 68	21	S.G.	22	0,477	10,494
TOTAL	44	-	-	-	$\simeq$ 20

e) Calcul de K

On a également calculé la valeur de la perméabilité K à partir de la droite du rabattement-logarithme de la distance du piézomètre (fig. VI-5) avec :

Q = 103 m3/h = 0,0286 m3/s

C = 0,75 m

d'où:

K = 3,2 . 10^{-2} m/s

Cette valeur du coefficient de perméabilité varie légèrement avec le débit. Mais toutefoirs, au-dessous du débit critique ces variations sont faibles.

f) Résultats

Sur ce forage à la suite du développement, on a effectué un essai de pompage de longue durée (72 h 30).

De ce fait, afin de mieux approcher la valeur de T réelle de l'ensemble d'alluvions, on a défini une valeur moyenne de T qui serait T moy= 4,05 . 10^{-2} m2/s (voir le tableau VI-47).

On est également amené à définir une valeur moyenne du coefficient d'emmagasinement valable pour ce forage S moy = 22 %.

Une seule valeur de la perméabilité a été calculée à partir du pompage sur le forage et l'enregistrement du rabattement dans le forage et le piézomètre. Cette valeur est de l'ordre de K = 3,2 . 10^{-2}m/s.

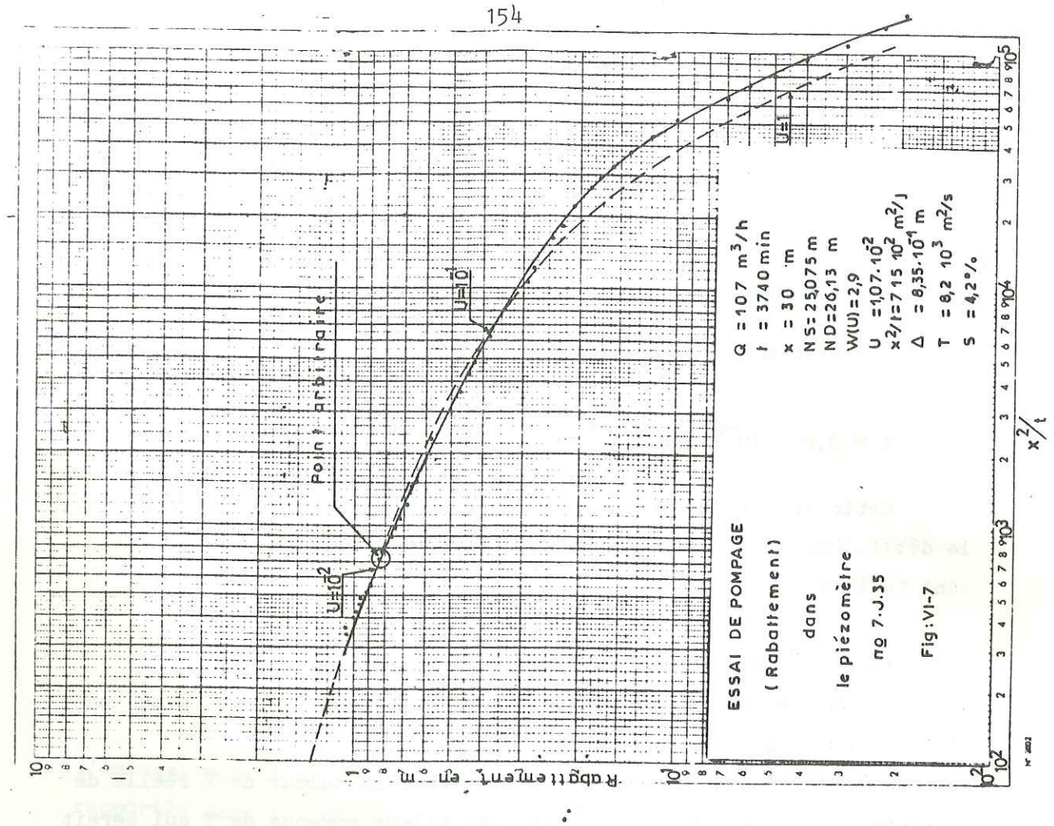
VI-3-2- Forage 7.J.35 (Parc public de Fassa)

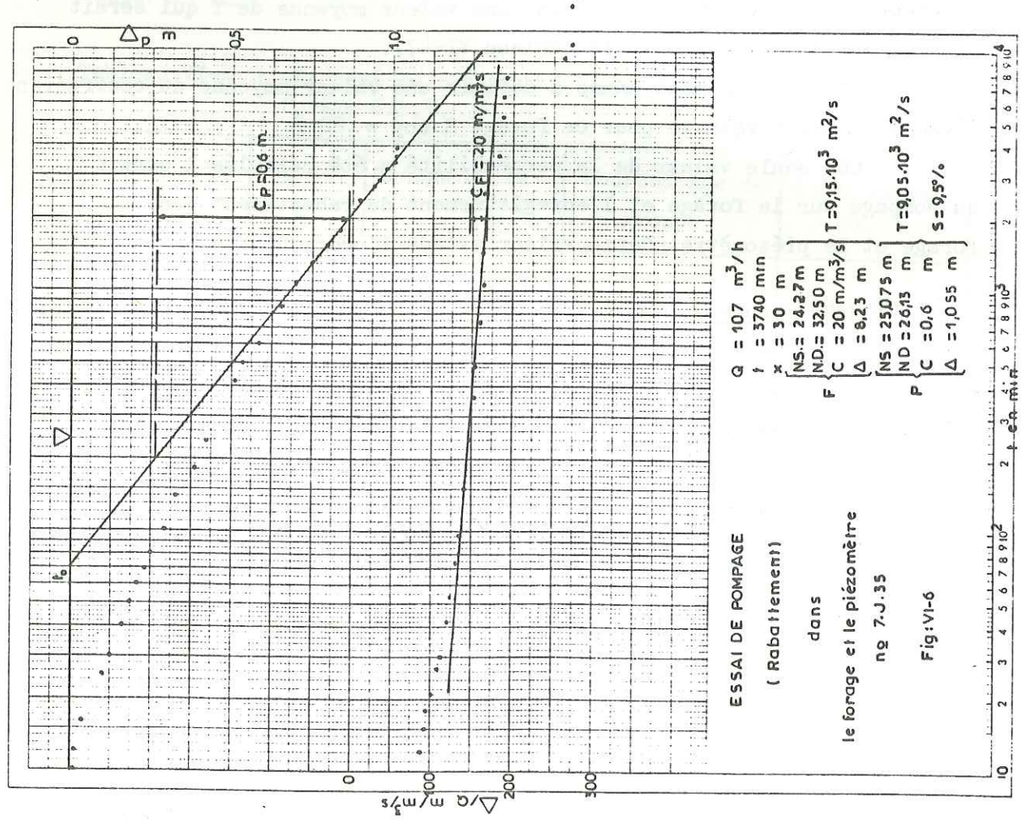
Sur les courbes de rabattement et de remontée correspondant au forage, on rencontre deux étapes très nettes. Celle du rabattement liée au changement de débit du pompage et le palier de la courbe de remontée lié au colmatagedes crépines.

Donc on a réalisé les courbes en fonction des données du pompage exécuté :

Δ = f (logt) ; Δ/Q = f (logt) ; Δ = f (logt t/t') ; log Δ = f (log x^2/t)

et Δ = f (log x) (cette dernière pour calculer K).





a) Calcul de T et de S (fig. VI-6)

- Pour le forage :

Q = varie

C = 20 m/m3/s

d'où :

$T = 9{,}15 \cdot 10^{-3}$ m2/s

- Pour le piézomètre :

Q = 107 m3/h = 0,0297 m3/s

x = 30 m

to = 4200 s

d'où :

$T = 9{,}05 \cdot 10^{-3}$ m2/s

S = 9,5 %

b) Calcul de T et de S par la formule exponentielle intégrale (fig. VI-7)

Après avoir superposé aussi parfaitement que possible la courbe expérimentale obtenue avec la courbe standard, on a choisi les coordonnées du point arbitraire de telle sorte que le temps de pompage soit assez grand, supérieur à 12 h, on obtient les valeurs suivantes :

$U = 1{,}07 \cdot 10^{-2}$

$W(U) = 2{,}9$

$\Delta = 8{,}35 \cdot 10^{-2}$ m

$x^2/t = 7{,}15 \cdot 10^{2}$ m2/jour $= \frac{715}{86400}$ m2/s

d'où :

$T = 8{,}2 \cdot 10^{-3}$ m2/s

S = 4,2 %

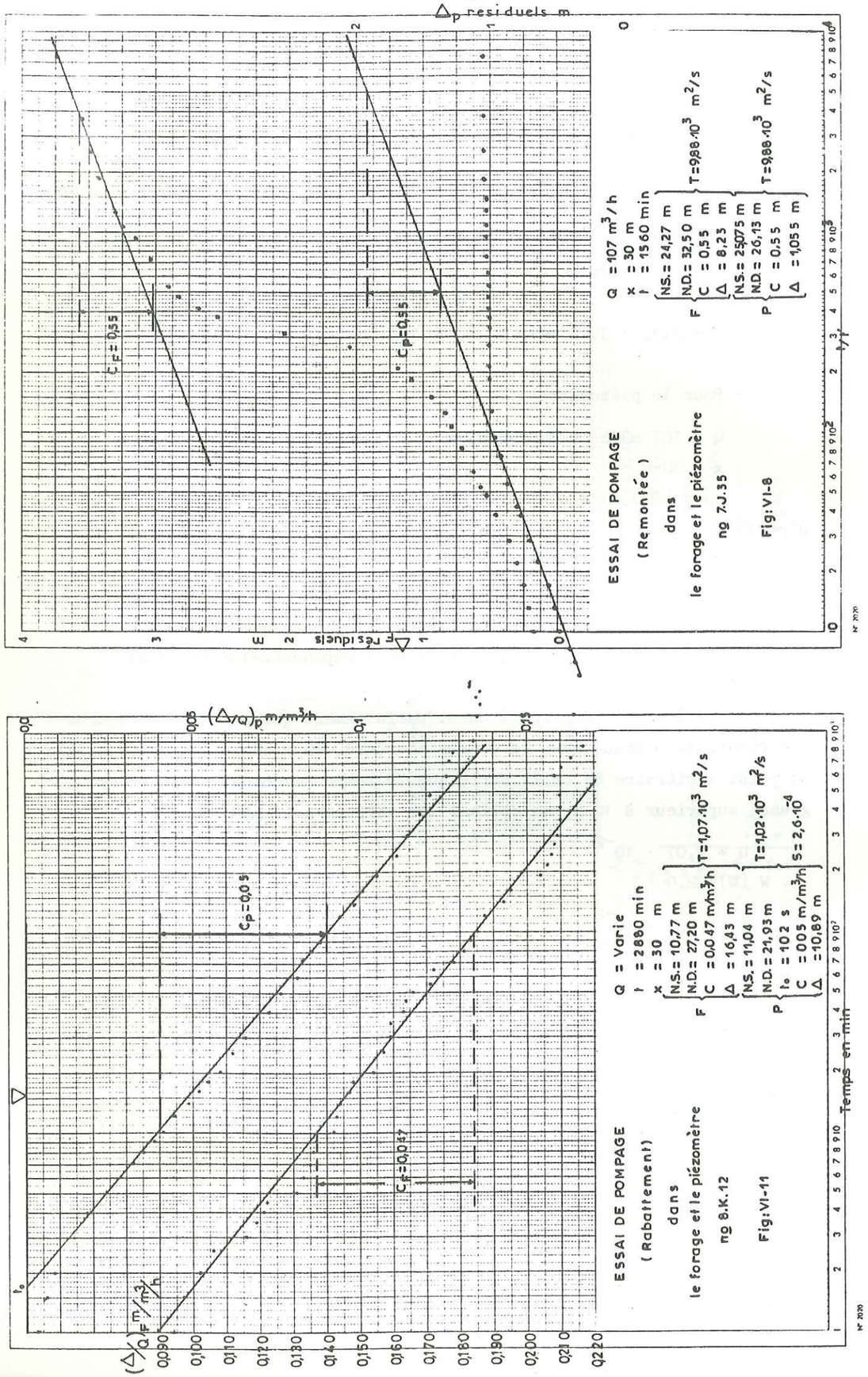
c) Calcul de T par la courbe de remontée $\Delta_r = f(\log t/t')$

Pour la droite figurative de la remontée dans le forage et le piézomètre (fig. VI-8) :

$C_{f \text{ et } p} = 0{,}55$ m

d'où :

$T = 9{,}88 \cdot 10^{-3}$ m2/s



d) Calcul du coefficient d'emmagasinement à partir de la granulométrie

Les différents sédiments alluviaux de ce forage présentent un S d'à peu près 8 %, selon le calcul fourni dans le tableau suivant:

Tableau VI-9 Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie dans le forage 7.J.35

Profondeur m	Epais. m	Groupe	S % de groupe	% de groupe	S du forage %
25 - 36	11	G.S.	15	0,268	4,02
36 - 42	6	T.S.	10	0,146	1,46
42 - 48	6	C.	3	0,146	0,44
48 - 66	18	C.G.	5	0,439	2,19
TOTAL	41	—	3	—	8 %

e) Calcul de K

Pour la droite figurative de Δ en fonction de log x par rapport au débit (fig. VI-10) :

Q = 107 m3/h = 0,0297 m3/s

C = 3,15 m

d'où :

$K = 6{,}8 \cdot 10^{-3}$ m/s

f) Résultats

Sur ce forage, cinq valeurs de la transmissivité et deux valeurs du coefficient d'emmagasinement ont été calculées à partir du pompage et de l'enregistrement du rabattement dans le forage et le piézomètre.
On a également calculé une valeur du coefficient d'emmagasinement à partir de la granulométrie.

On s'aperçoit que les résultats obtenus sont très proches les uns des autres. D'où une seule valeur moyenne des T obtenus, qui est $T_{moy} = 9{,}23 \cdot 10^{-3}$ m2/s (voir tableau VI-47).

La valeur moyenne du coefficient d'emmagasinement en tenant compte des trois chiffres obtenus est $S_{moy} = 7{,}2 \cdot 10^{-2}$ soit 7,2 %.

Une seule valeur de la perméabilité a été calculée à partir du pompage sur ce forage et de l'enregistrement du rabattement dans le forage et le piézomètre. Cette valeur est un peu faible puisqu'elle n'est que de $K = 6{,}8 \cdot 10^{-3}$ m/s.

VI-3-3- Forage 8.K.12 (Sahraroud)

On a tracé en fonction des données du pompage les diagrammes $\Delta/Q = f(\log t)$; $\Delta = f(\log t/t')$; $\log \Delta = f(\log x^2/t)$ et également $\Delta = f(\log x)$.

Les résultats obtenus sont les suivants :

a) Calcul de T et de S par la méthode graphique d'approximation logarithmique (fig. VI-11).

- Pour le forage :

$C_f = 0{,}047$ m/m3/h

d'où :

$T = 1{,}07 \cdot 10^{-3}$ m2/s

- Pour le piézomètre :

$C_p = 0{,}0516$ m/m3/h

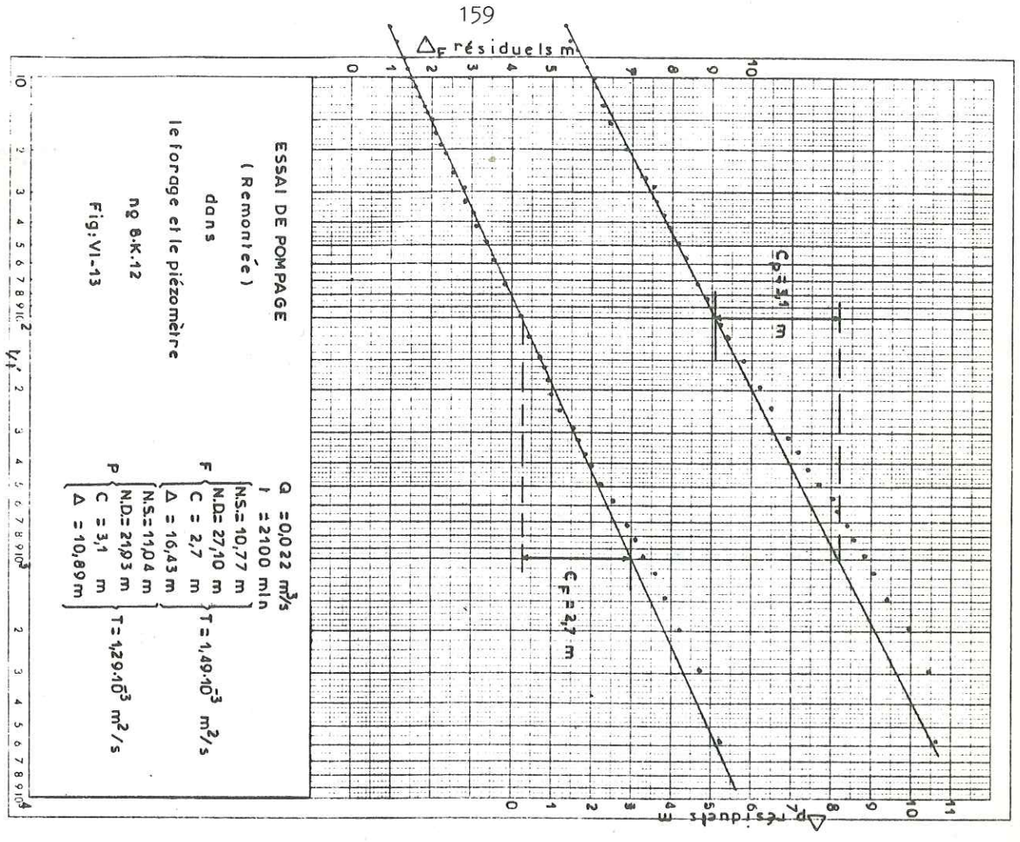
to= 102 s

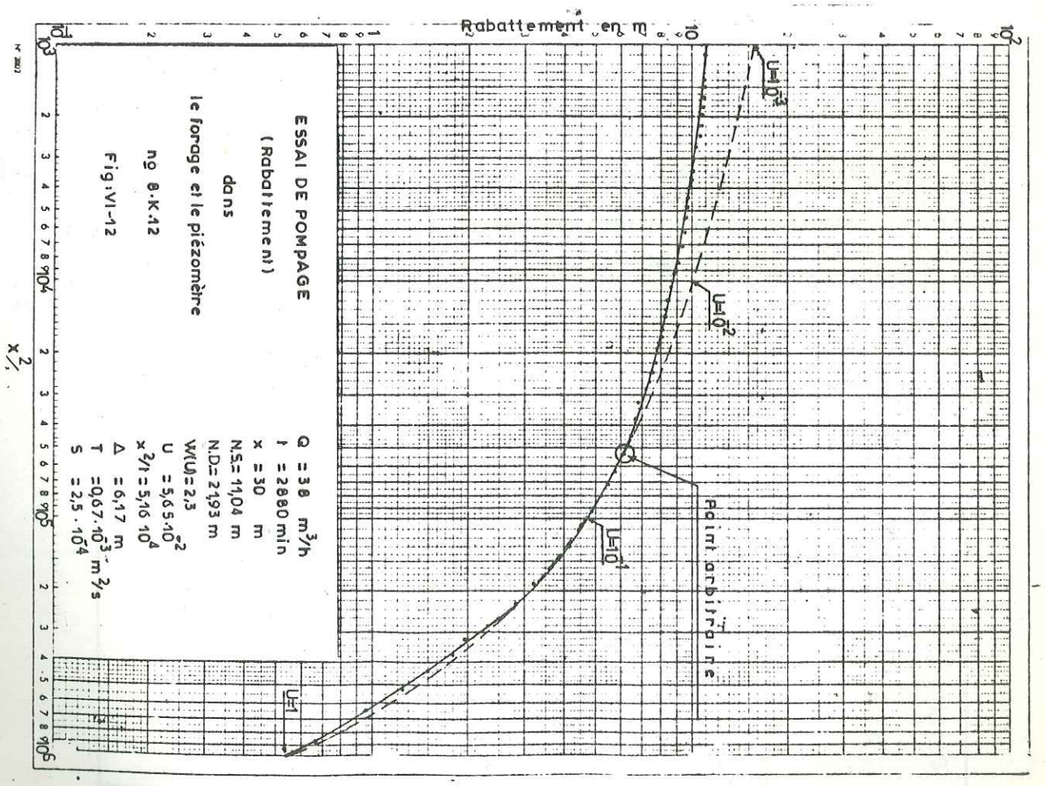
x = 30 m

d'où :

$T = 1{,}02 \cdot 10^{-3}$ m2/s

$S = 2{,}6 \cdot 10^{-4}$





b) Calcul de T et de S par la courbe de la fonction caractéristique c'est-à-dire par la formule exponentielle intégrale (fig. VI-12).

Les coordonnées du point arbitraire sont :

$U = 5,65 \cdot 10^{-2}$

$W(U) = 2,3$

$\Delta = 6,17$ m

$x^2/t = 5,16 \cdot 10^4$ m2/jour $= \frac{51600}{86400}$ m2/s

d'où :

$T = 0,67 \cdot 10^{-3}$ m2/s

$S = 2,5 \cdot 10^{-4}$

c) Calcul de T par la droite de remontée (fig. VI-13)

- Pour le forage :

avec :

$C_f = 2,7$ m

$T_f = 1,49 \cdot 10^{-3}$ m2/s

- Pour le piézomètre avec :

$C_p = 3,1$ m

$T_p = 1,29 \cdot 10^{-3}$ m2/s

d) Calcul du coefficient d'emmagasinement à partir de la granulométrie

Le coefficient d'emmagasinement de ce forage, en tenant compte de son profil vertical géologique, et du classement des matériaux sédimentaires est de 4 %. Les résultats sont rapportés dans le tableau suivant :

Tableau VI-14 : Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie dans le forage 8.K.12

Profondeur m	Epais. m	Groupe	S de groupe %	Pourcentage de groupe	S au forage en %
18 - 36,5	18,5	C.	3	0,264	0,792
36,5- 54	18,5	C.G.	5	0,264	1,32
54 - 63	9	C.G.	5	0,128	0,64
63 - 68	5	C.G.	5	0,071	0,355
68 - 70	2	C.G.-T.S.	7	0,028	0,199
70 - 75	5	C.G.	5	0,071	0,355
75 - 77	2	C.G.	5	0,028	0,142
77 - 86	9	C-C.G.	4	0,128	0,514
86 - 87	1	C.G.	5	0,014	0,07
TOTAL	70	-	-	-	4 %

e) Calcul de K par la droite $\Delta = f(\log x)$ (fig. VI-15) avec :

$Q = 82$ m3/h

$C = 2,2$ m

$K = 7,53 \cdot 10^{-3}$ m/s

f) Résultats

Ce forage étant une alternance de niveaux argileux et de niveaux de sables et graviers, le problème est de savoir ce que représente la transmissivité calculée par rapport à la transmissivité de l'ensemble des alluvions.

De ce fait, afin de mieux approcher la valeur de la transmissivité réelle de l'ensemble des alluvions, on est amené à définir une moyenne de T, qui serait de l'ordre de $Tmoy = 1,1 \cdot 10^{-3}$ m2/s (voir tableau VI-47).

Parmi les coefficients d'emmagasinement calculés par les diverses méthodes, ceux qui sont calculés par la courbe caractéristique et par l'équation d'approximation logarithmique sembleraient proches de la valeur réelle de S. C'est-à-dire que $S = 2,5 \cdot 10^{-4}$.

Une seule valeur de la perméabilité a été calculée à partir du pompage sur le forage et de l'enregistrement du rabattement sur le piézomètre en fonction de $\Delta = f(\log x)$. On croit que cette valeur est un peu élevée $K = 7,53 \cdot 10^{-3}$ m/s.

VI-3-4- Forage n° 11.L.8 (Nobandégan)

Les valeurs de T et de S obtenues à partir des courbes figuratives sont :

a) Calcul de T et de S par la courbe de rabattement (fig. VI-16)

Pour le forage :

$C_f = 0,245$ m/m3/h

d'où : $T = 4,98 \cdot 10^{-3}$ m2/s

Pour le piézomètre :

$C_p = 0,6$ m

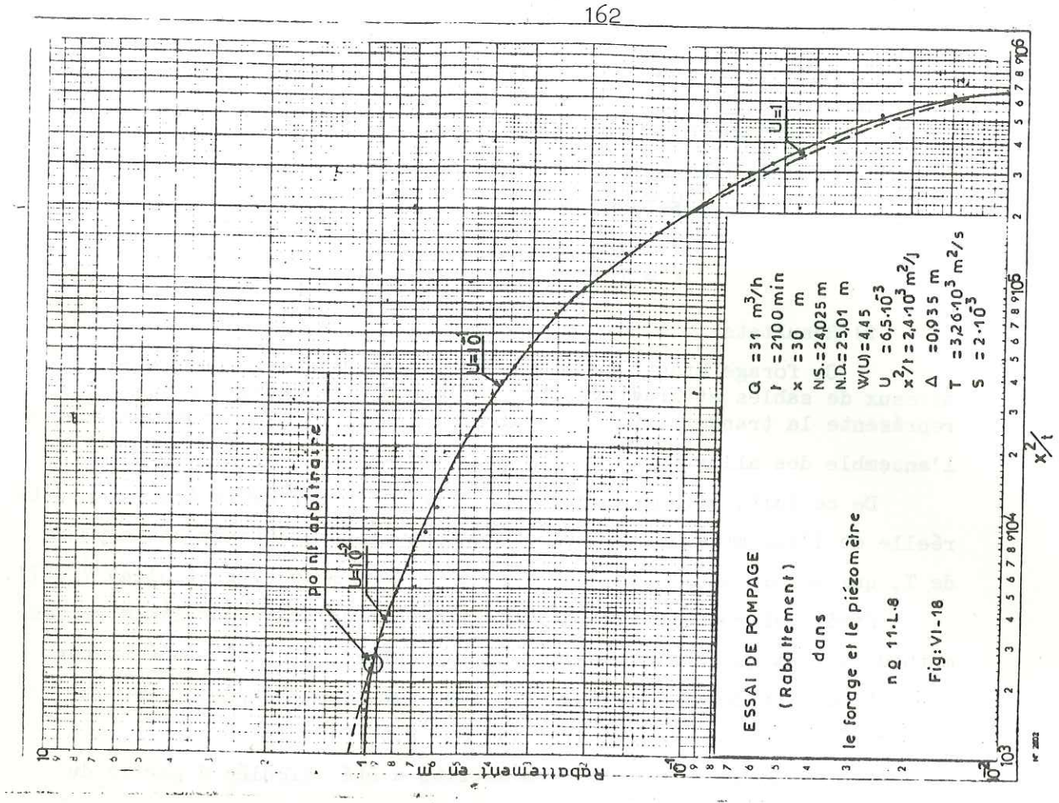
to= 750 s

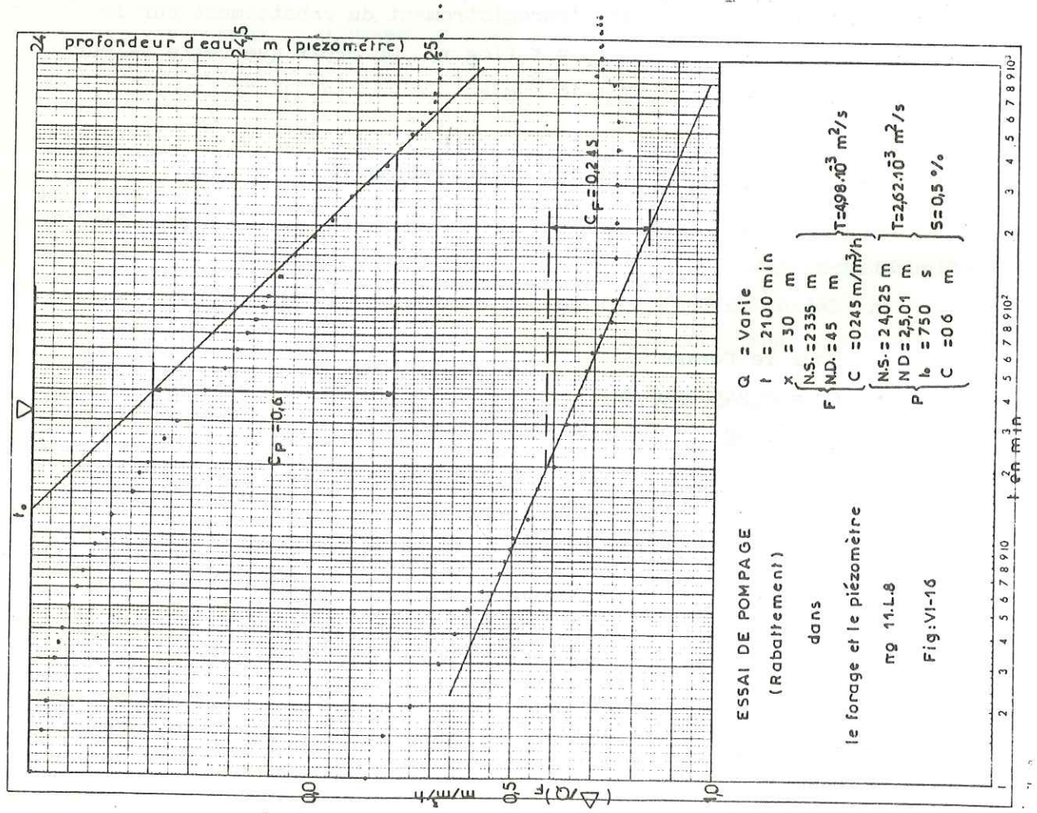
x = 30 m

d'où :

$T = 2,62 \cdot 10^{-3}$ m2/s

S : 0,5 %





b) Calcul de T par la courbe de remontée en fonction de $\Delta = f(\log t/t')$ avec (fig. VI-17) :

- Pour le forage avec :

$C_f = 1{,}1$ m

d'où :

$T = 1{,}43 \cdot 10^{-3}$ m2/s

- Pour le piézomètre avec :

$C_p = 0{,}335$ m

d'où :

$T = 4{,}69 \cdot 10^{-3}$ m2/s

c) Calcul de T et de S par la courbe de la fonction caractéristique (fig. VI-18), avec les coordonnées obtenues pour le point arbitraire :

$Q = 31$ m3/h $= 0{,}0086$ m3/s

$U = 6{,}5 \cdot 10^{-3}$

$W(U) = 4{,}45$

$\Delta = 0{,}935$ m

$x^2/t = 2{,}4 \cdot 10^3$ m2/jour $= \dfrac{2400}{86400}$ m2/s

d'où :

$T = 3{,}26 \cdot 10^{-3}$ m2/s

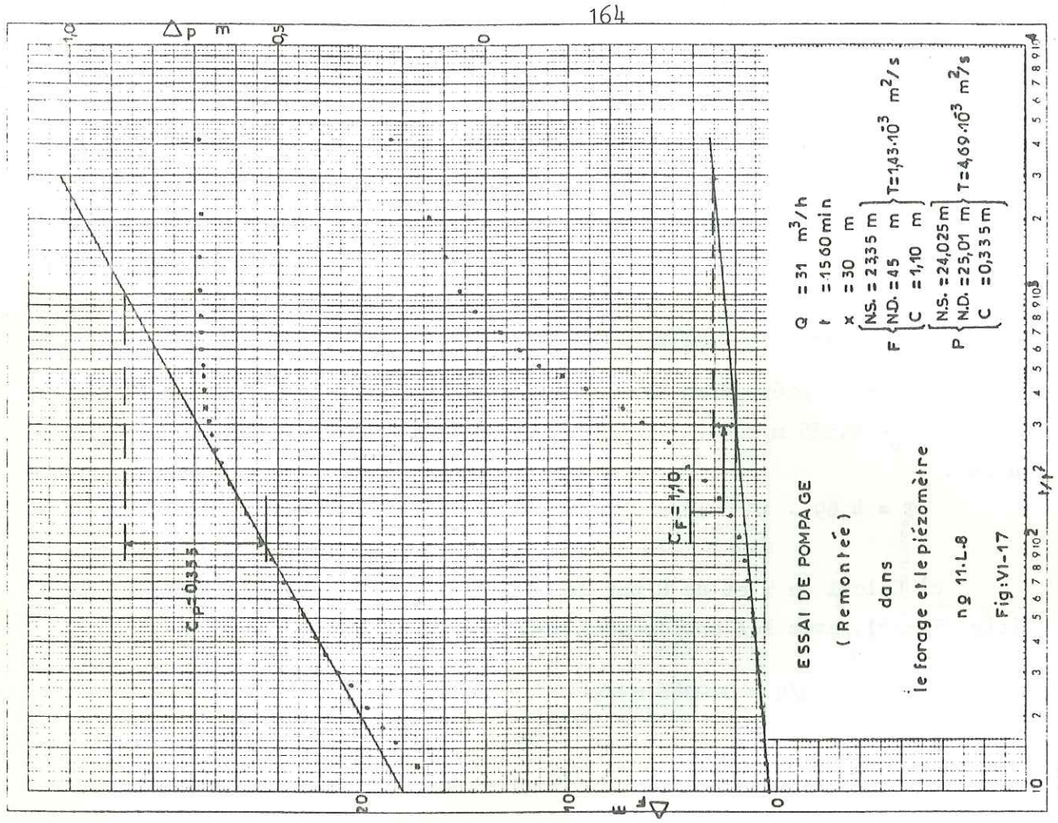
$S = 0{,}3$ %

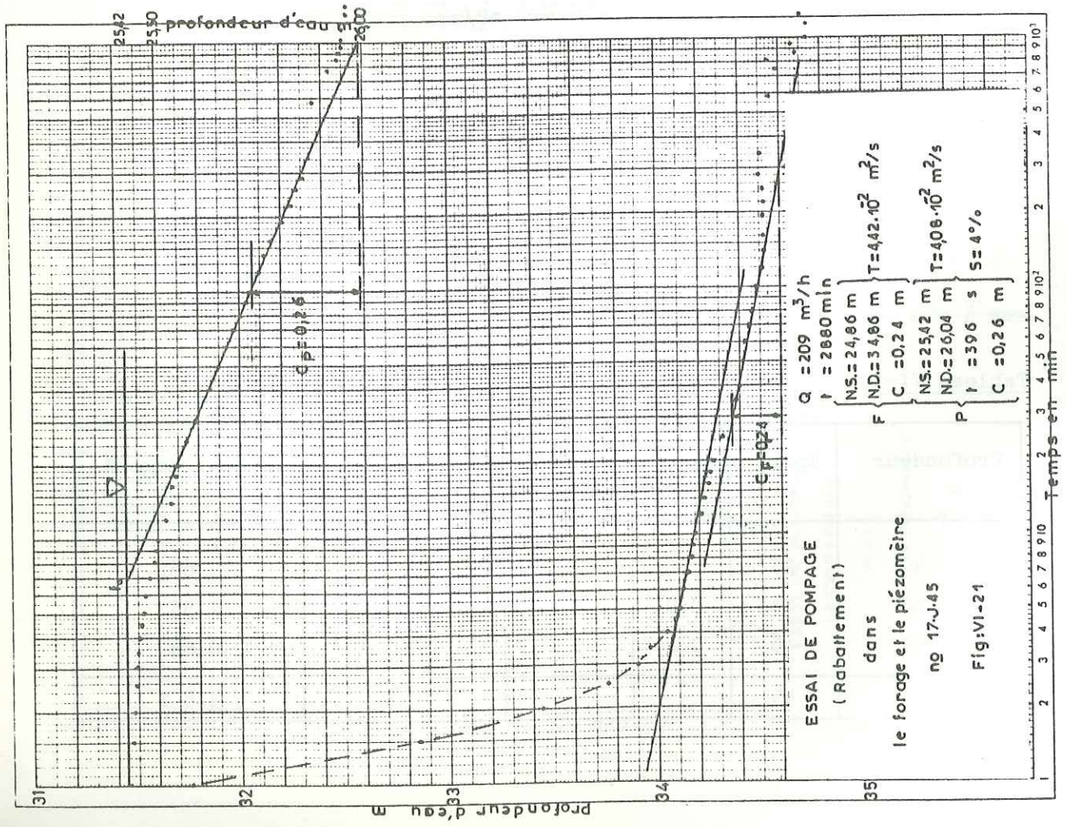
d) Calcul du coefficient d'emmagasinement à partir de la granulométrie

Selon le calcul fourni dans le tableau suivant, S dans ce forage est à peu près 3,8 %

Tableau VI-19 : Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie dans le forage 11.L.8

Profondeur m	Epais. m	Groupe	S de groupe %	% de groupe	S de forage %
24 - 49	25	C	3	0,555	1,66
49 - 63	14	C.G.	5	0,311	1,55
63 - 69	6	C.G.	5	0,133	0,66
Total	45	-	-	-	≃ 3,8 %





e) Calcul de K à partir de la droite figurative (fig. VI-20) avec :

C = 9,8 m

$K = 6,4 \cdot 10^{-4}$ m/s

f) Résultats

Comme pour les autres forages, à partir des données obtenues on a calculé la transmissivité par plusieurs méthodes. Mais pour approcher la valeur de la transmissivité réelle de l'ensemble des alluvions, on est amené à définir une moyenne de T, qui serait $Tmoy = 3,39 \cdot 10^{-3}$ m2/s (voir tableau VI-47).

Il semble que la moyenne du coefficient d'emmagasinement calculée, serait une valeur réelle pour la nappe dans cet endroit S = 1,5 %.

La seule valeur de la perméabilité calculée à partir du rabattement en fonction du logarithme de la distance est $K = 6,4 \cdot 10^{-4}$ m/s.

B - PLAINE DE GHARABOLAGH

VI-3-5- Forage 17.J.45 (Dogan)

Les valeurs de T et de S ont été obtenues pour ce forage par les graphes représentatifs de plusieurs méthodes:

a) Calcul de T et de S par la méthode graphique d'approximation logarithmique (fig. VI-21)

- Pour le forage :

avec : Q = 209 m3/h = 0,058 m3/s

C_f = 0,24 m

d'où :

$T = 4,42 \cdot 10^{-2}$ m2/s

- Pour le piézomètre :

avec :

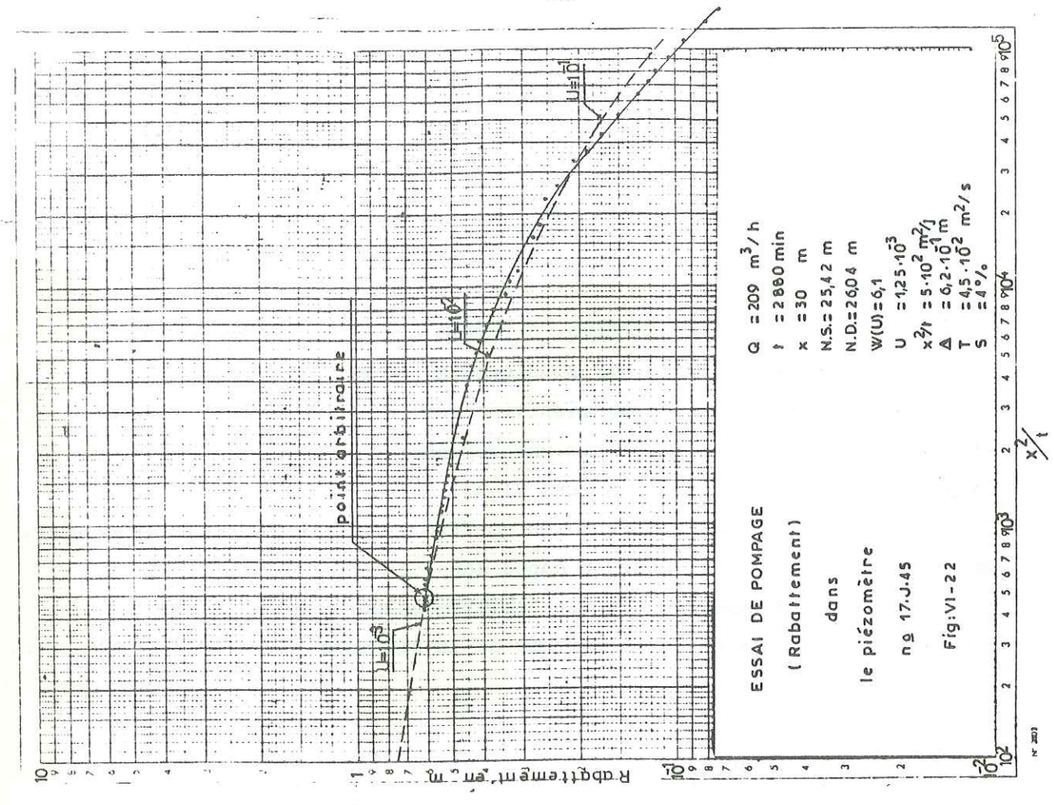
Cp = 0,26 m

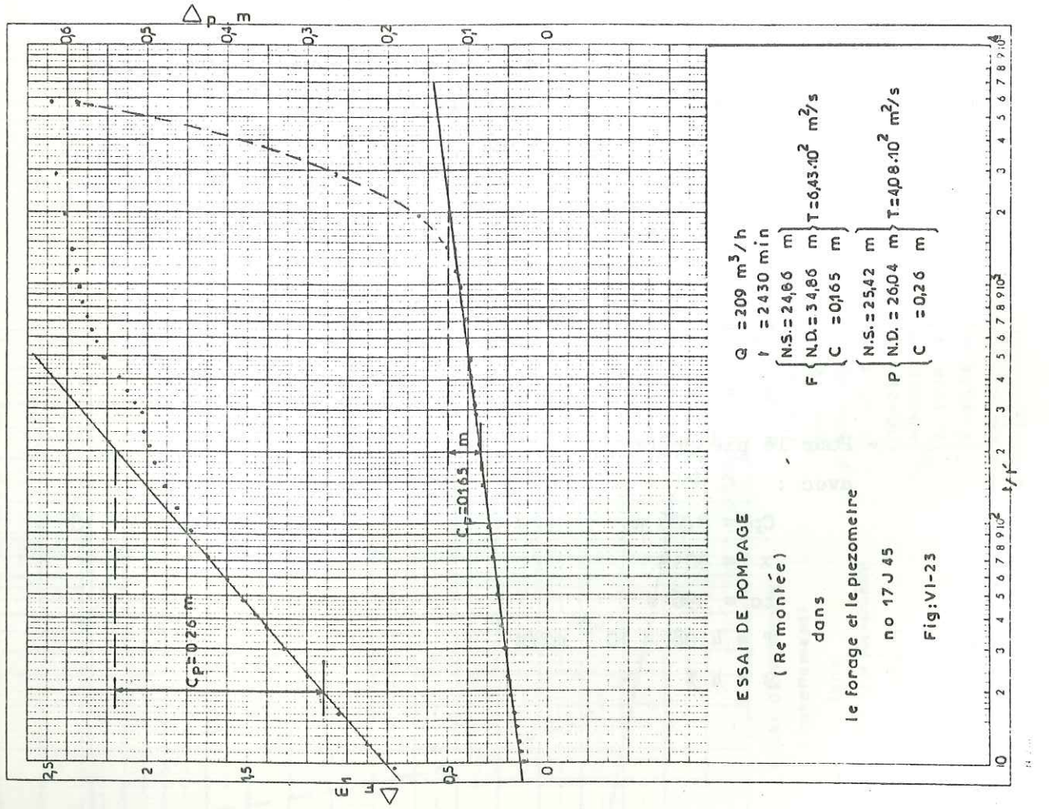
x = 30 m

to = 396 s

d'où : $T = 4,08 \cdot 10^{-2}$ m2/s

S = 4 %





b) Par la formule exponentielle intégrale (fig. VI-22) ; avec les coordonnées du point arbitraire on a :

$U = 1{,}25 \cdot 10^{-3}$

$W(U) = 6{,}1$

$\Delta = 0{,}62$ m

$x^2/t = 5 \cdot 10^2$ m2/jour $= \frac{500}{86400}$ m2/s

d'où :

$T = 4{,}54 \cdot 10^{-2}$ m2/s

$S = 4\ \%$

c) Calcul de T par la courbe de remontée (fig. VI-23)

- Pour le forage avec :

$C_f = 0{,}165$ m

d'où :

$T = 6{,}43 \cdot 10^{-2}$ m2/s

- Pour le piézomètre avec :

$C_p = 0{,}26$ m

d'où :

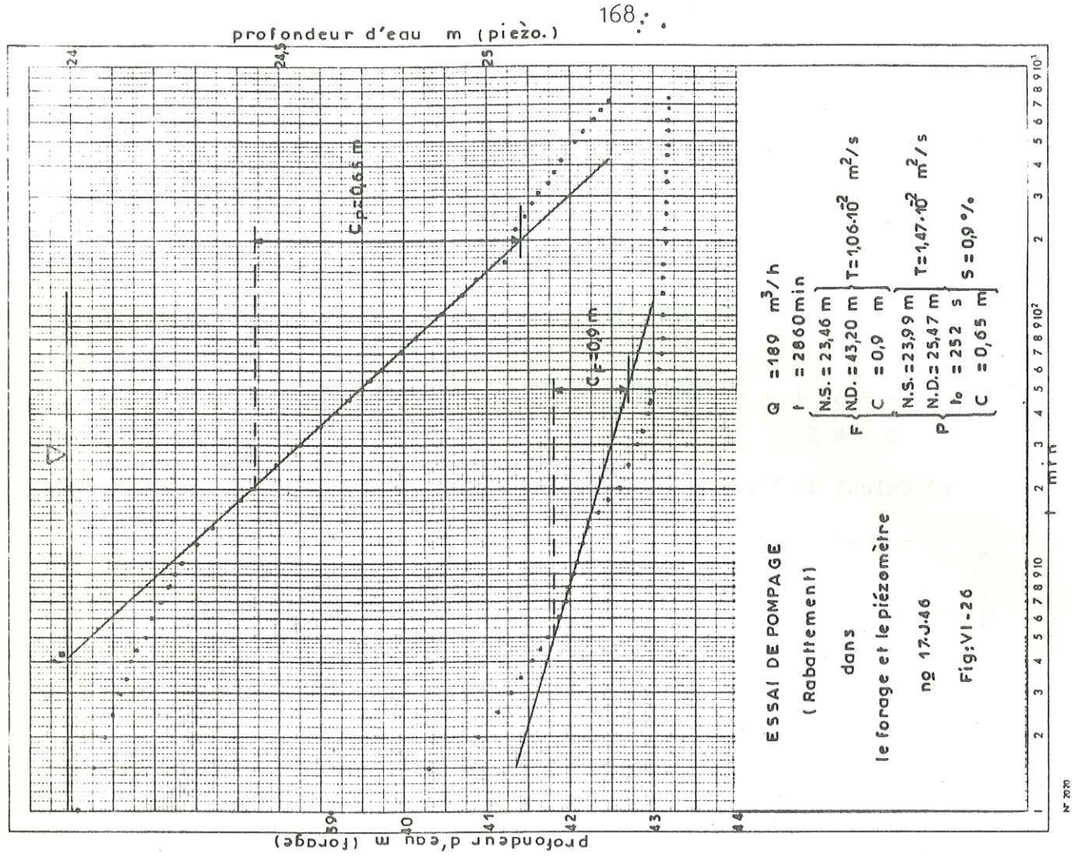
$T = 4{,}08 \cdot 10^{-2}$ m2/s

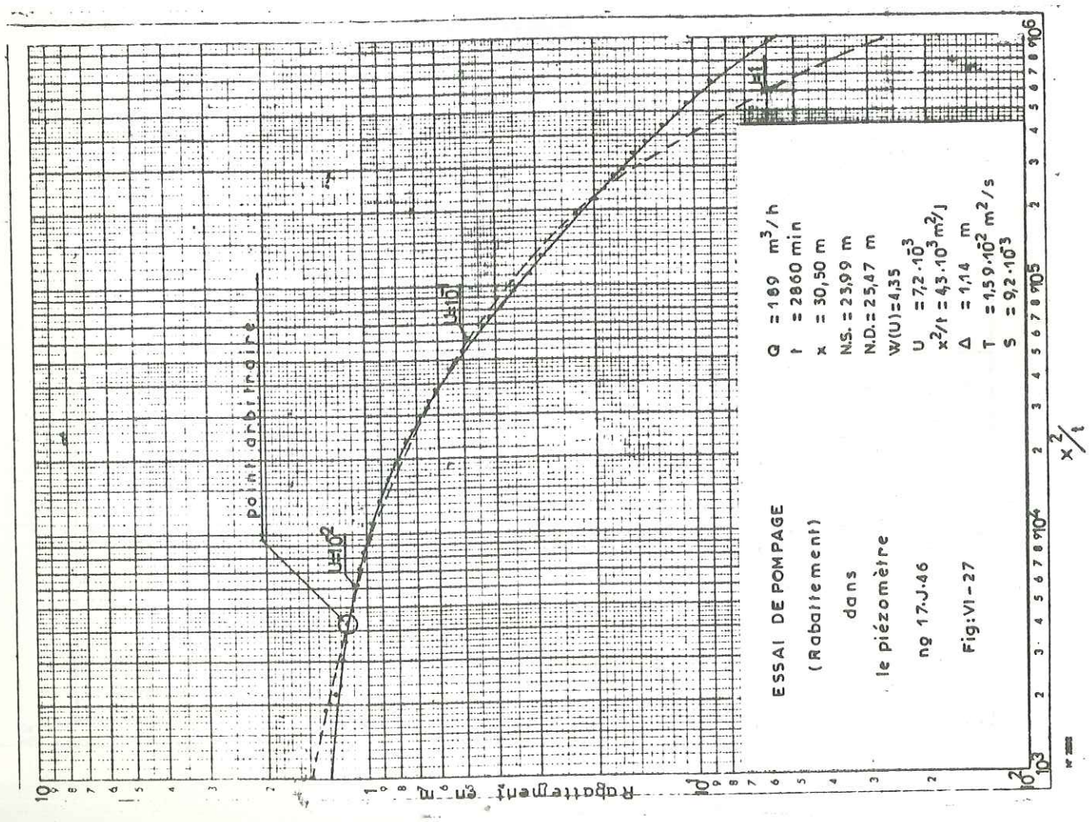
d) Calcul du coefficient d'emmagasinement à partir de la granulométrie

Le coefficient d'emmagasinement de ce sondage selon les caractéres lithologiques est à peu près 12 %. Les résultats sont rapportés dans le tableau suivant :

Tableau VI-24 : Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie dans le forage 17.J.45

Profondeur en m	Epais. m	Groupe	S de groupe %	% de groupe	S de forage %
27 - 39	12	T.S.	10	0,182	1,82
39 - 48	9	G.S.	15	0,136	2,04
48 - 60	12	T.S.	10	0,182	1,82
60 - 66	6	G.S.	15	0,091	1,36
66 - 77	11	T.S.	10	0,167	1,67
77 - 81	4	G.S.	15	0,061	0,92
81 - 93	12	T.S.	10	0,182	1,82
Total	66	-	-	-	$\simeq$ 12 %





e) Calcul de K par la droite rabattement-logarithme de la distance du piézomètre avec (fig. VI-25) :

$$C = 4 \quad m$$

$$K = 1{,}05 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

f) Résultats

En tenant compte des valeurs calculées, la seule valeur de la transmissivité qui puisse être valable pour la nappe dans cet endroit est leur moyenne, qui est de $T_{moy} = 4{,}71 \quad 10^{-2}$ m2/s (voir tableau VI-47).

La moyenne des coefficients d'emmagasinement obtenus par les diverses méthodes, valable pour cette région, soit $S_{moy} = 6{,}6$ %.

Une seule valeur de la perméabilité obtenue serait valable dans les conditions observées, $K = 1{,}05 \cdot 10^{-2}$ m/s.

VI-3-6- Forage 17.J.46 (Aliabad)

Les valeurs des transmissivités obtenues pour ce forage sont les suivantes :

a) Calcul de T et de S par la courbe $\Delta = f(\log t)$ (fig. VI-26)

- Pour le forage avec :

  $Q = 189$ m3/h = 0,0525 m2/s

  $C_f = 0{,}9$ m

d'où :

  $T = 1{,}06 \cdot 10^{-2}$ m2/s

- Pour le piézomètre avec :

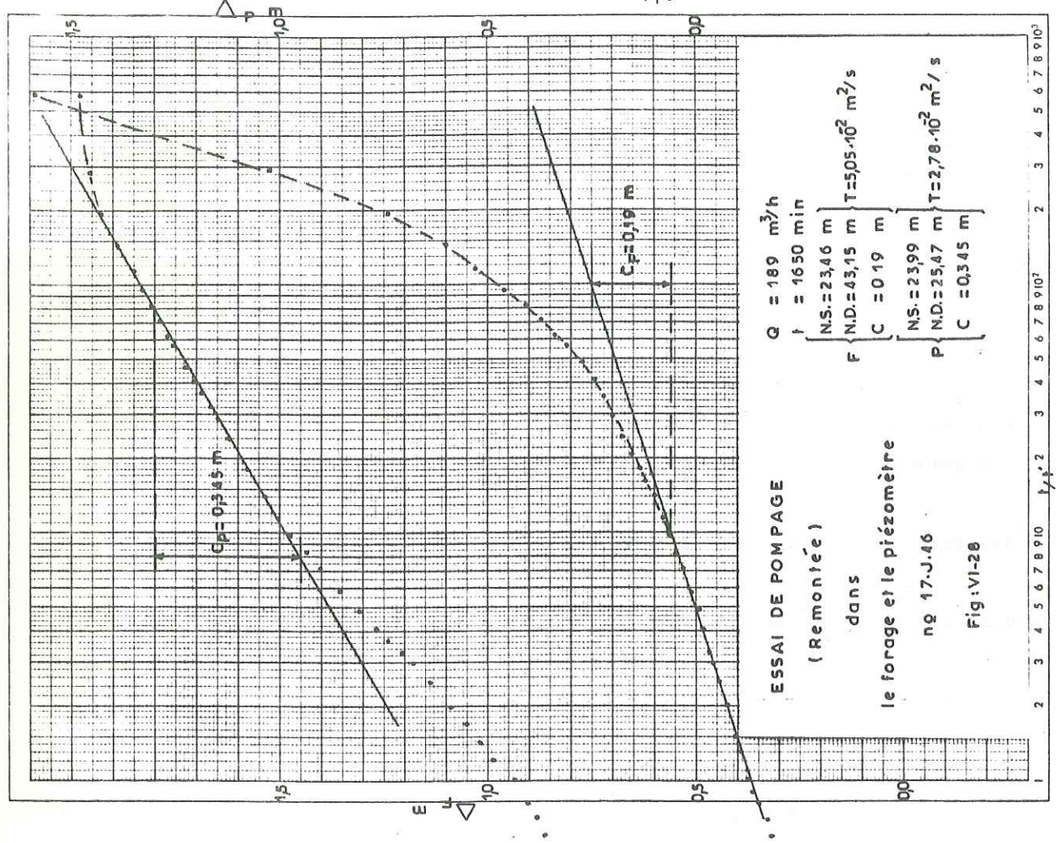
  $C_p = 0{,}65$ m

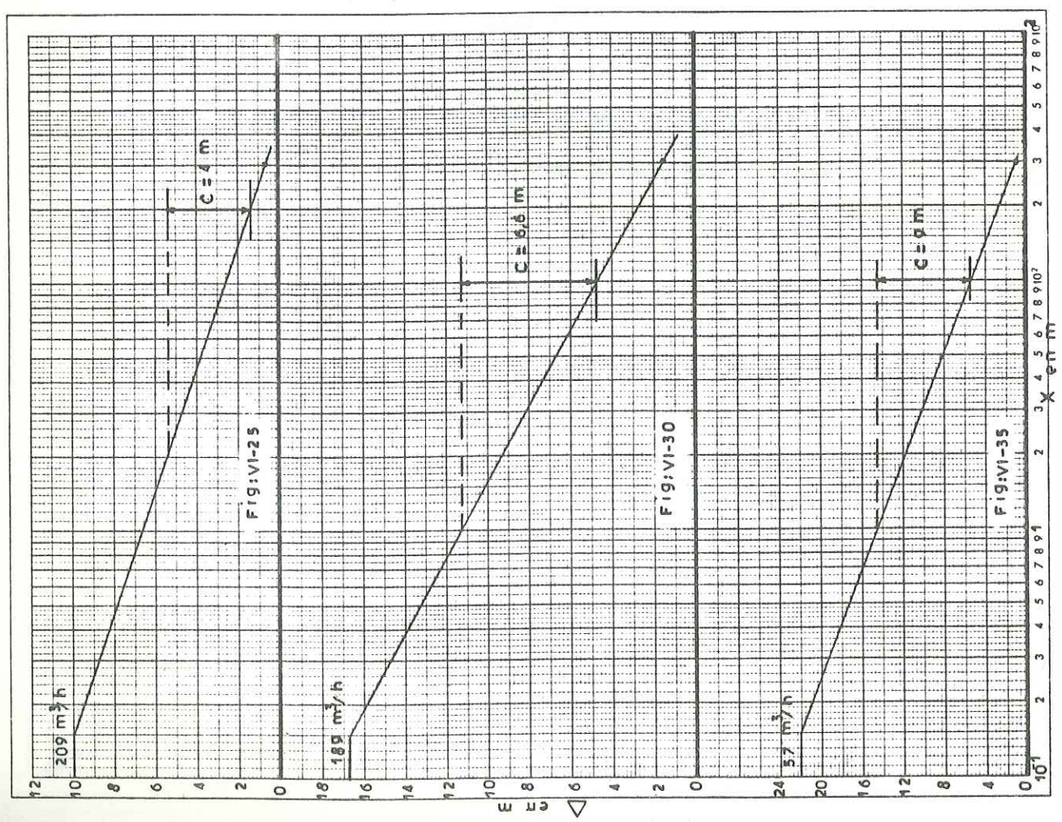
  to= 252 s

d'où :

  $T = 1{,}47 \cdot 10^{-2}$ m2/s

  $S = 9 \cdot 10^{-3}$





b) Par la courbe de la fonction caractéristique ou formule exponentielle intégrale (fig. VI-27), avec les coordonnées du point arbitraire on a :

$U = 7,2 \cdot 10^{-3}$

$W(U) = 4,35$

$\Delta = 1,14$ m

$x^2/t = 4,3 \cdot 10^3$ m2/jour $= \frac{4300}{86400}$ m2/s

d'où :

$T = 1,59 \cdot 10^{-2}$ m2/s

$S = 9,2 \cdot 10^{-3}$

c) Calcul de T par la courbe de remontée (fig. VI-28).

- Pour le forage :

$C_f = 0,19$ m

$T = 5,05 \cdot 10^{-2}$ m2/s

- Pour le piézomètre :

$C_p = 0,345$ m

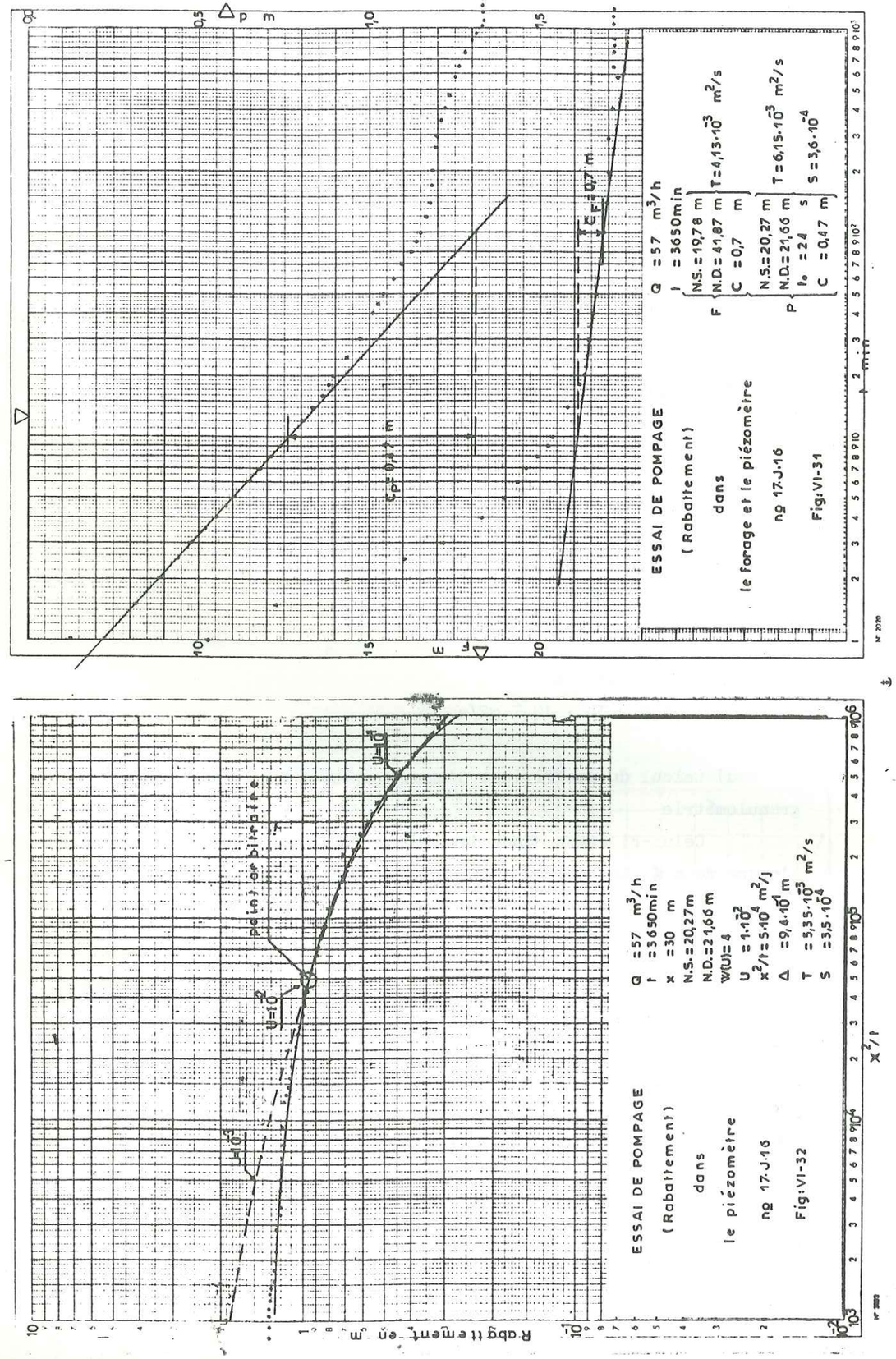
$T = 2,78 \cdot 10^{-2}$ m2/s

d) Calcul du coefficient d'emmagasinement à partir de la granulométrie

Celui-ci étant donné les caractères lithologiques est de l'ordre de 6 %. Le tableau suivant montre les résultats obtenues.

Tableau VI-29 : Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie dans le forage 17.J.46

Profondeur m	Epais. m	Groupe	S de groupe %	Pourcentage de groupe	S. de forage %
23 - 51	28	C.	3	0,315	0,943
51 - 54	3	G.S.	15	0,034	0,51
54 - 57	3	C-C.G.	4	0,034	0,136
57 - 70	13	C.G.-T.S.	7	0,146	1,022
70 - 81	11	T.S.	10	0,123	1,23
81 - 84	3	T.S.	10	0,034	0,34
84 - 99	15	T.S.	10	0,168	1,68
99-105	6	C.	3	0,067	0,201
105-112	7	C.G.-T.S.	6	0,078	0,468
TOTAL	89	-	-	-	6 %



e) Calcul de K par la droite Δ = f (log x) (fig. VI-30)

avec :

$C = 6,6$ m

$K = 5,8 \cdot 10^{-3}$ m/s

f) Résultats

Afin de mieux approcher la valeur de la transmissivité réelle de l'ensemble des alluvions, on est amené à définir une valeur moyenne de T, qui serait $Tmoy = 2,39 \cdot 10^{-2}$ m2/s (voir le tableau VI-47).

On est également amené à définir une valeur moyenne du coefficient d'emmagasinement, qui semble être pour ce forage : Smoy=2,6 %.

Une seule valeur de perméabilité a été calculée à partir du rabattement en fonction du logarithme de la distance $K = 5,8 \cdot 10^{-3}$ m/s.

VI-3-7- Forage 14.J.16 (Dolatabad)

Les valeurs calculées de T, à partir des résultats obtenus lors du pompage sont les suivants :

a) Calcul de T et de S par la courbe Δ = f (logt) (fig. VI-31).

- Pour le forage avec :

$Q = 0,0158$ m3/s

$C_f = 0,7$ m

d'où: $T = 4,13 \cdot 10^{-3}$ m2/s

- Pour le piézomètre avec :

$Cp = 0,47$ m

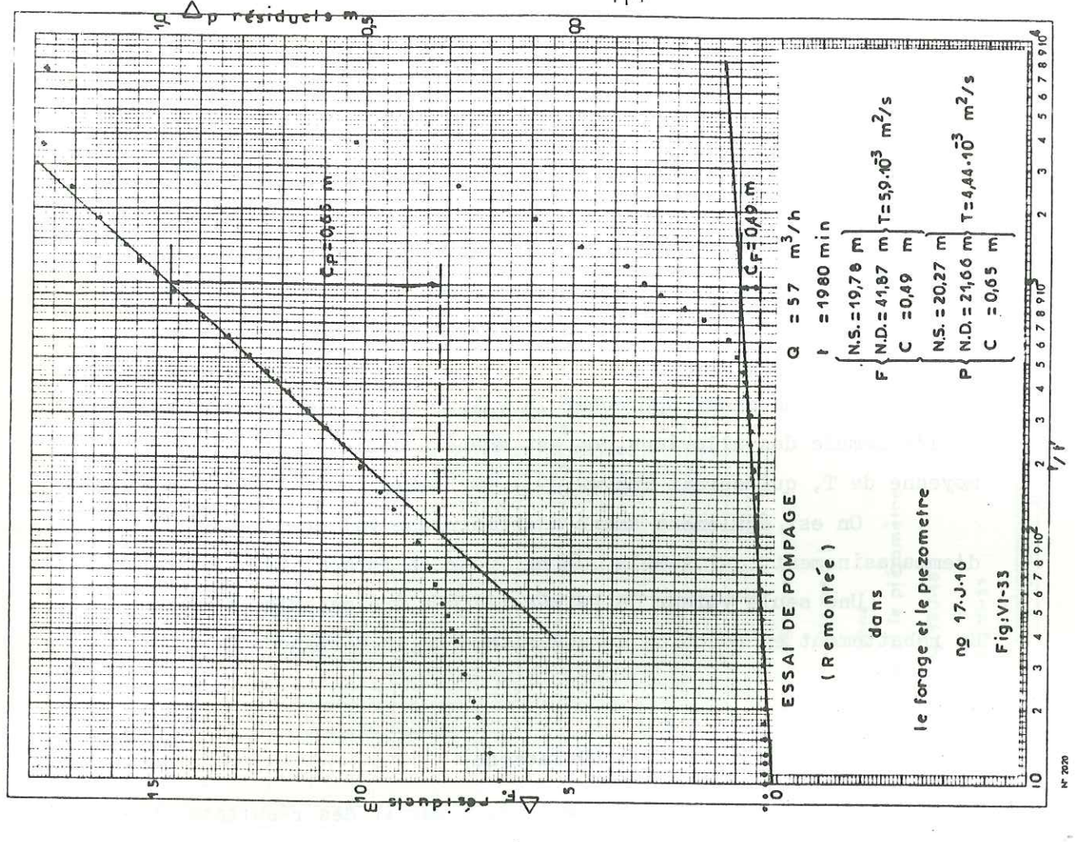
$to = 24$ s

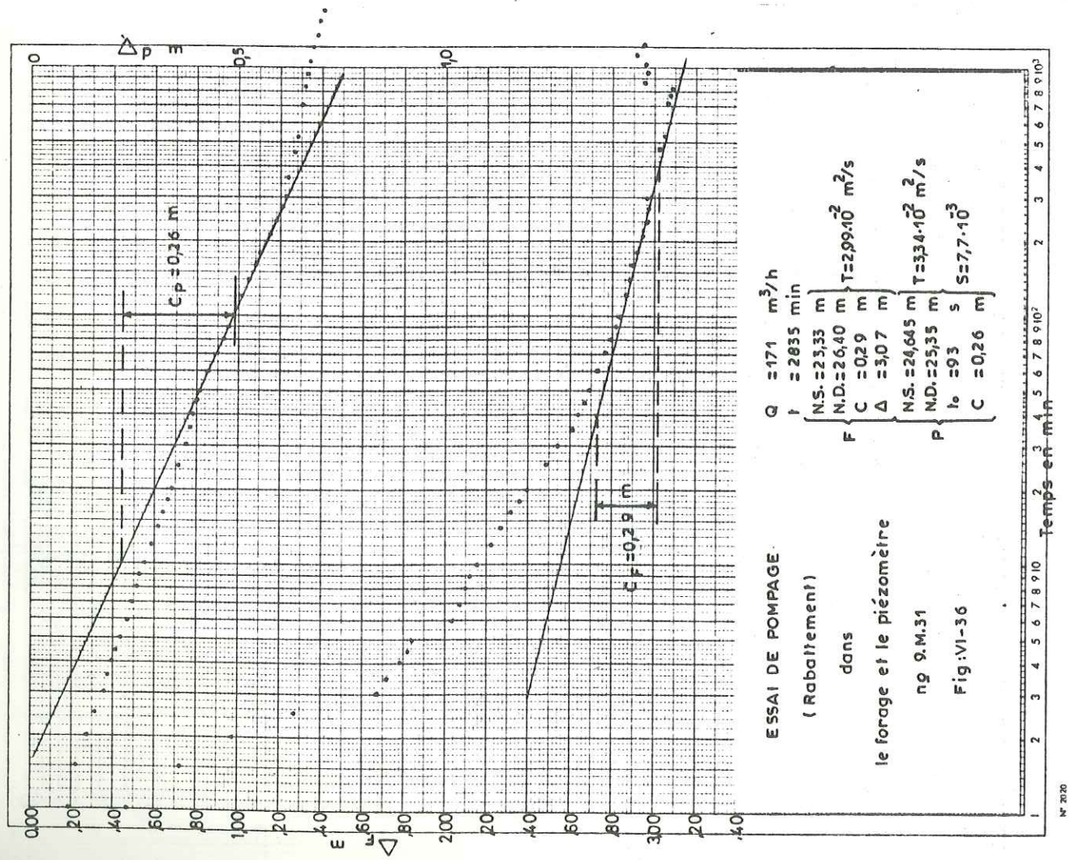
$x = 30$ m

d'où:

$T = 6,15 \cdot 10^{-3}$ m2/s

$S = 3,6 \cdot 10^{-4}$





b) Par la courbe de la fonction caractéristique (fig. VI-32)

Les coordonnées du point arbitraire sont :

$U = 1 \cdot 10^{-2}$

$W(U) = 4$

$\Delta = 0{,}94$ m

$x^2/t = 5 \cdot 10^{4}/86400$ m2/s

d'où :

$T = 5{,}35 \cdot 10^{-3}$ m2/s

$S = 3{,}5 \cdot 10^{-4}$

c) Calcul de T par la droite de remontée (fig. VI-33)

- Pour le forage avec :

$C_f = 0{,}49$ m

d'où :

$T = 5{,}9 \cdot 10^{-3}$ m2/s

- Pour le piézomètre avec :

Cp = 0,65 m

d'où : $T = 4{,}44 \cdot 10^{-3}$ m2/s

d) Calcul du coefficient d'emmagasinement à partir de la granulométrie

S, en tenant compte des caractères lithologiques et du classement des éléments est à peu près de 4 %. On voit les résultats dans le tableau suivant :

Tableau VI-34 - Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie dans le forage 14.J.16

Profondeur m	Epais. m	Groupe	S de groupe %	Pourcentage de groupe	S du forage %
22 - 36	14	C	3	0,23	0,69
36 - 39	3	C.G.	5	0,05	0,25
39 - 51	12	C	3	0,2	0,6
51 - 60	9	T.S.	10	0,15	1,5
60 - 72	12	C	3	0,2	0,6
72 - 78	6	C.G.	5	0,1	0,5
78 - 82	4	C	3	0,06	0,19
TOTAL	60	-	-	-	≃ 4 %

e) Calcul de K à partir de $\Delta = f(\log x)$ (fig. VI-35)

avec :

$C = 9$ m

$K = 1{,}3 \times 10^{-3}$ m/s

f) Résultats

Les cinq valeurs de la transmissivité calculée par les diverses méthodes, nous permettent d'évaluer une moyenne de T pour ce forage. Les valeurs obtenues sont très proches les unes des autres. La transmissivité réelle de l'ensemble de la nappe aquifère est de l'ordre de $Tmoy = 5{,}19 \times 10^{-3}$ m2/s (voir le tableau VI-47).

La valeur du coefficient d'emmagasinement réel serait $Smoy = 1{,}3 \times 10^{-2}$. Il est un peu élevé par rapport à la transmissivité.

Une seule valeur de la perméabilité a été calculée à partir du pompage sur le forage et de l'enregistrement du rabattement dans le forage et le piézomètre. La droite de rabattement logarithme de la distance donne $K = 1{,}3 \times 10^{-3}$ m/s.

C - PLAINE DE GHARABEIGOUN

VI-3-8- Forage 9.M.31 (Kankan)

A partir des courbes représentatives, les valeurs de T obtenues sont les suivantes :

a) Calcul de T et de S par la courbe de rabattement-logarithme du temps (fig. VI-36) :

- Pour le forage avec :

  Q = 171 m3/h = 0,0475 m3/s

  Cf= 0,29 m

  $T = 2{,}99 \times 10^{-2}$ m2/s

- Pour le piézomètre avec :

  Cp = 0,26 m

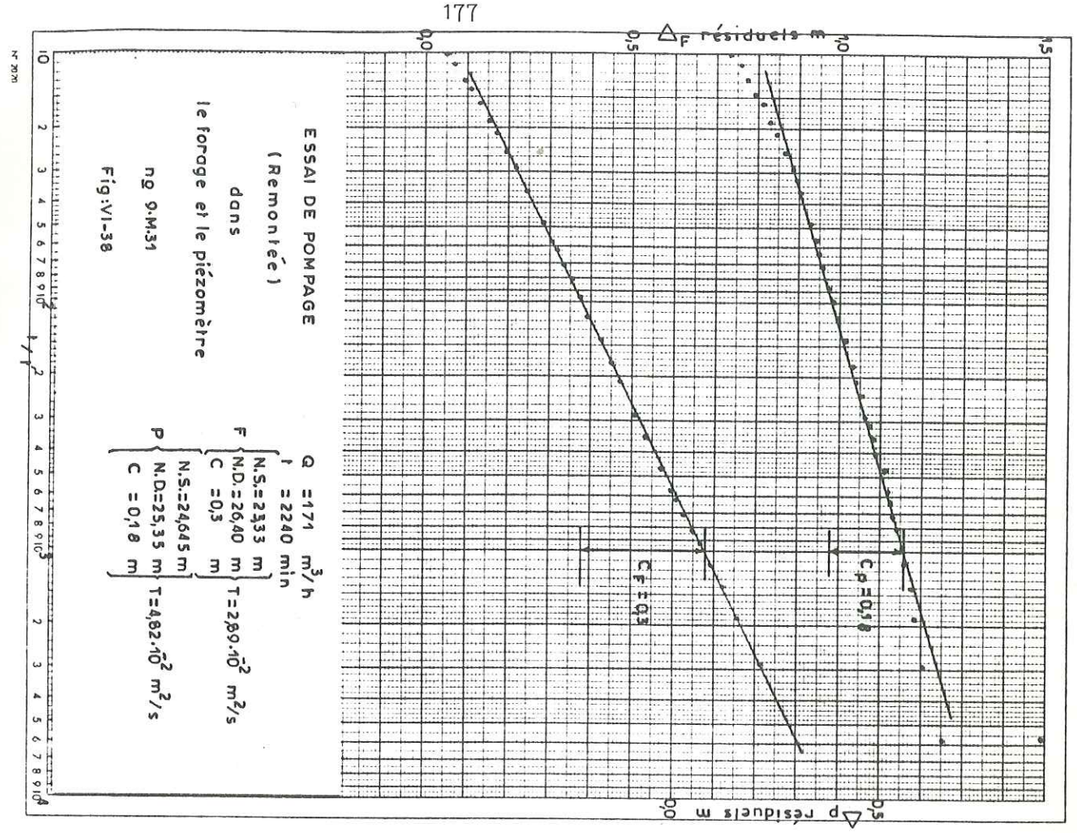
  to = 93 s

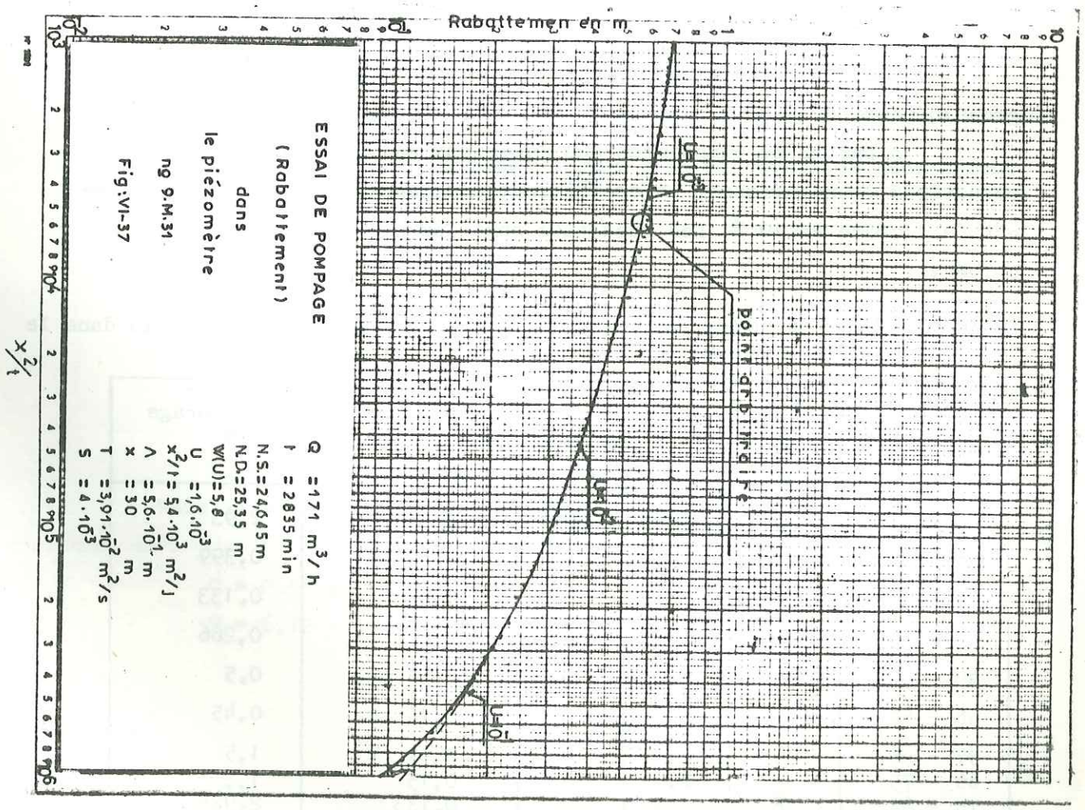
  x = 30 m

d'où :

  $T = 3{,}34 \times 10^{-2}$ m2/s

  $S = 7{,}7 \times 10^{-3}$





b) Par la courbe de la fonction caractéristique ou formule exponentielle intégrale (fig. VI-37), avec les coordonnées du point arbitraire :

$U = 1,6 \cdot 10^{-3}$

$W(U) = 5,8$

$\Delta = 0,56$ m

$x^2/t = 5,4 \cdot 10^{3}$ m2/jour = 5400/86400 m2/s

$T = 3,91 \cdot 10^{-2}$ m2/s

$S = 4 \cdot 10^{-3}$

c) Calcul de T par la courbe de remontée (fig. VI-38)

- pour le forage avec :
  Cf = 0,3 m
  $T = 2,89 \cdot 10^{-2}$ m2/s
- Pour le piézomètre avec
  Cp = 0,18 m
  $T = 4,82 \cdot 10^{-2}$ m2/s

d) Calcul du coefficient d'emmagasinement à partir de la granulométrie

A partir du classement des matériaux sédimentaires et des caractères lithologiques, le coefficient d'emmagasinement dans ce forage est de l'ordre de 10 %. Les résultats sont fournis sur le tableau suivant :

Tableau VI-39 : Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie dans le forage 9.M.31

Profondeur m	Epais. m	Groupe	S. de groupe %	Pourcentage de de groupe	S de forage %
23 - 31	8	S.G.	22	0,133	2,93
31 - 39	8	C-C.G.	3	0,133	0,399
39 - 41	2	C-C.G.	4	0,033	0,133
41 - 45	4	C-C.G.	4	0,066	0,266
45 - 48	3	T.S.	10	0,05	0,5
48 - 57	9	C	3	0,15	0,45
57 - 66	9	T.S.	10	0,15	1,5
66 - 75	9	T.S.	10	0,15	1,5
75 - 83	8	S.G.	22	0,133	2,926
TOTAL	60	-	-	-	10 %

e) Calcul de K par la droite $\Delta = f(\log x)$ (fig. VI-40)

avec :

C = 1 m

$K = 3,4 \cdot 10^{-2}$ m/s

f) Résultats

Les résultats obtenus pour la transmissivité dans ce forage sont également très proches les uns des autres. La valeur de la transmissivité réelle de l'ensemble de la nappe aquifère serait $Tm_{oy} = 3,59 \cdot 10^{-2}$ m2/s (voir le tableau VI-47).

Pour le coefficient d'emmagasinement, on a réalisé la moyenne des valeurs de S qui est $3,7 \cdot 10^{-2}$, mais semble un peu faible.

Une seule valeur de la perméabilité a été calculée à partir du rabattement dans le forage et le piézomètre en fonction de log x, $K = 3,4 \cdot 10^{-2}$ m/s.

VI-3-9- Forage 11.0.23 (Zahedan)

Sur la courbe de rabattement, on voit deux étapes très nettes qui représentent deux aquifères avec des transmissivités différentes.

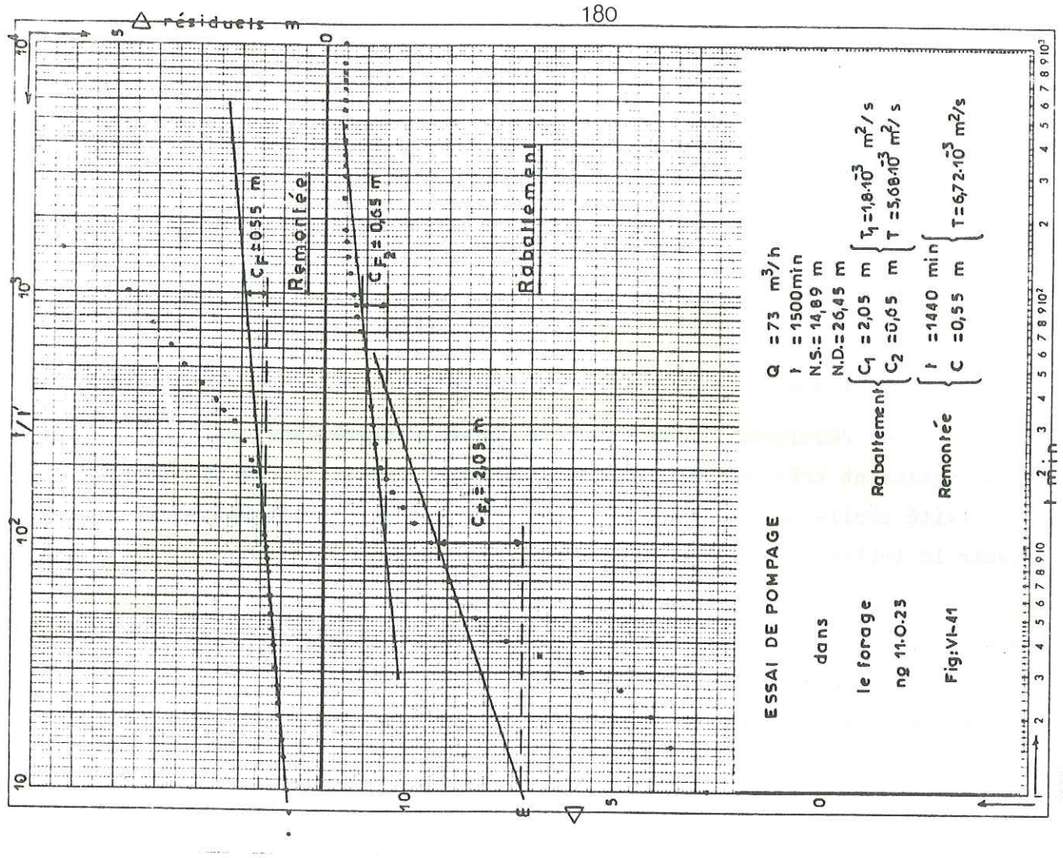
a) Les valeurs de T calculées à partir de la courbe de rabattement sont (fig. VI-41) :

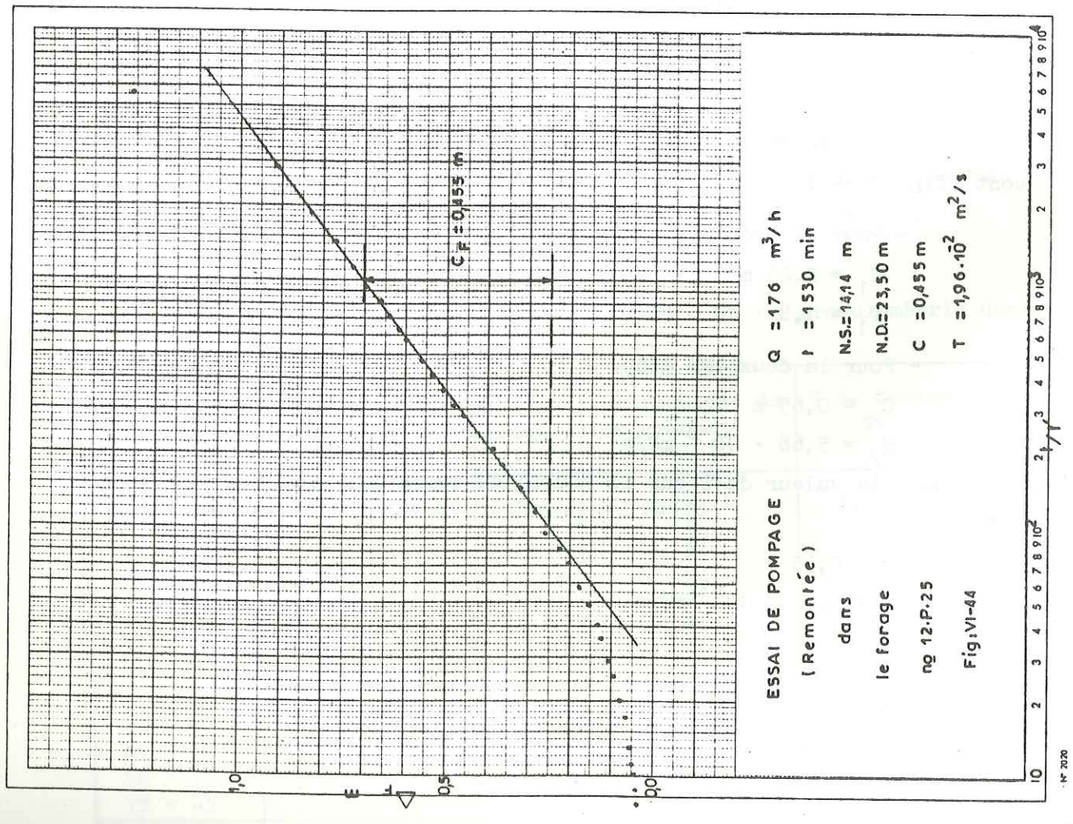
- Pour la première étape avec :
  $C_1 = 2,05$ m
  $T_1 = 1,8 \cdot 10^{-3}$ m2/s
- Pour la deuxième étape avec :
  $C_2 = 0,65$ m
  $T_2 = 5,68 \cdot 10^{-3}$ m2/s

Mais la valeur de T sur la courbe de remontée, avec une seule étape est de :

C = 0,55 m

$T = 6,72 \cdot 10^{-3}$ m2/s





b) Calcul du coefficient d'emmagasinement à partir de la granulométrie

Celui-ci est d'environ 4 %. Les résultats sont rapportés dans le tableau suivant :

Tableau VI-42 : Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie dans le forage 11.0.23

Profondeur m	Epais. m	Groupe	S de groupe %	Pourcentage de groupe	S du forage %
14,5 - 33	18,5	C	3	0,266	0,798
33 - 40	7	C.G.	5	0,100	0,5
40 - 48	8	C	3	0,115	0,345
48 - 58	10	C.G.	5	0,144	0,72
58 - 60	2	C.G.	5	0,028	0,14
60 - 84	24	C.G.	5	0,345	1,725
Total	69,5	-	-	-	≃ 4 %

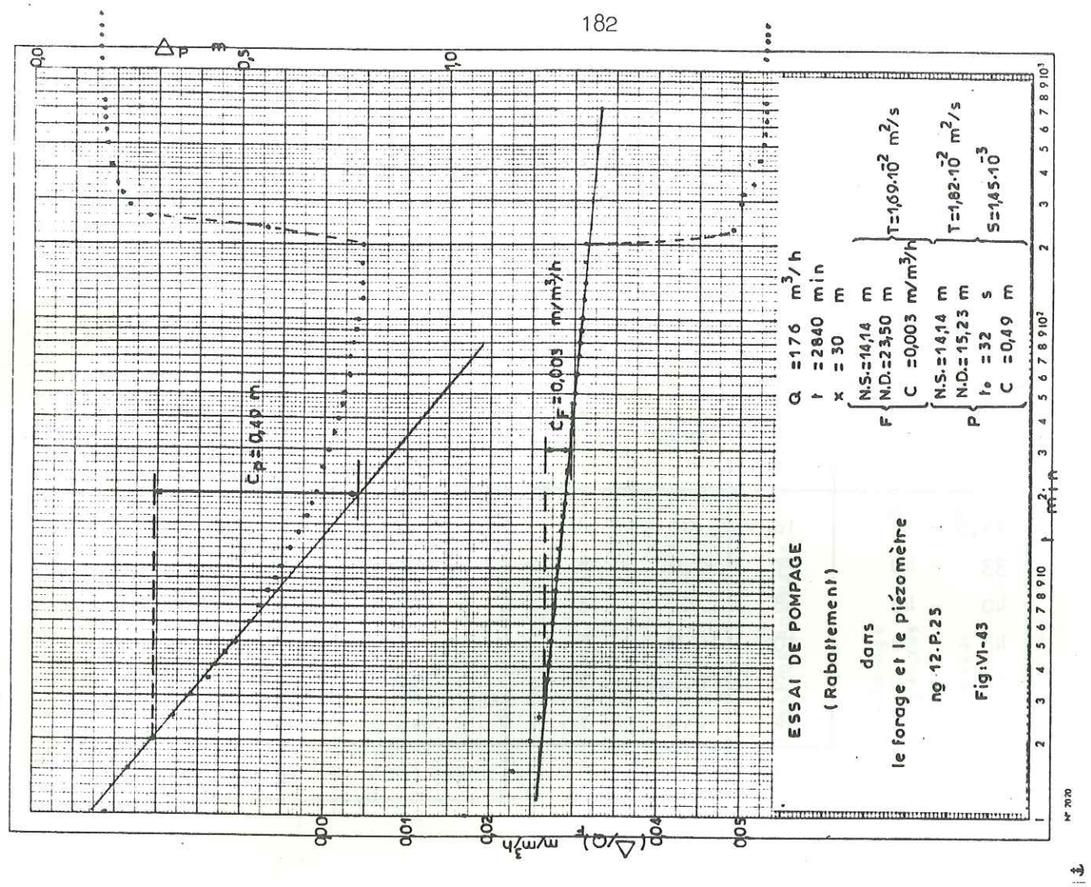
c) Résultats

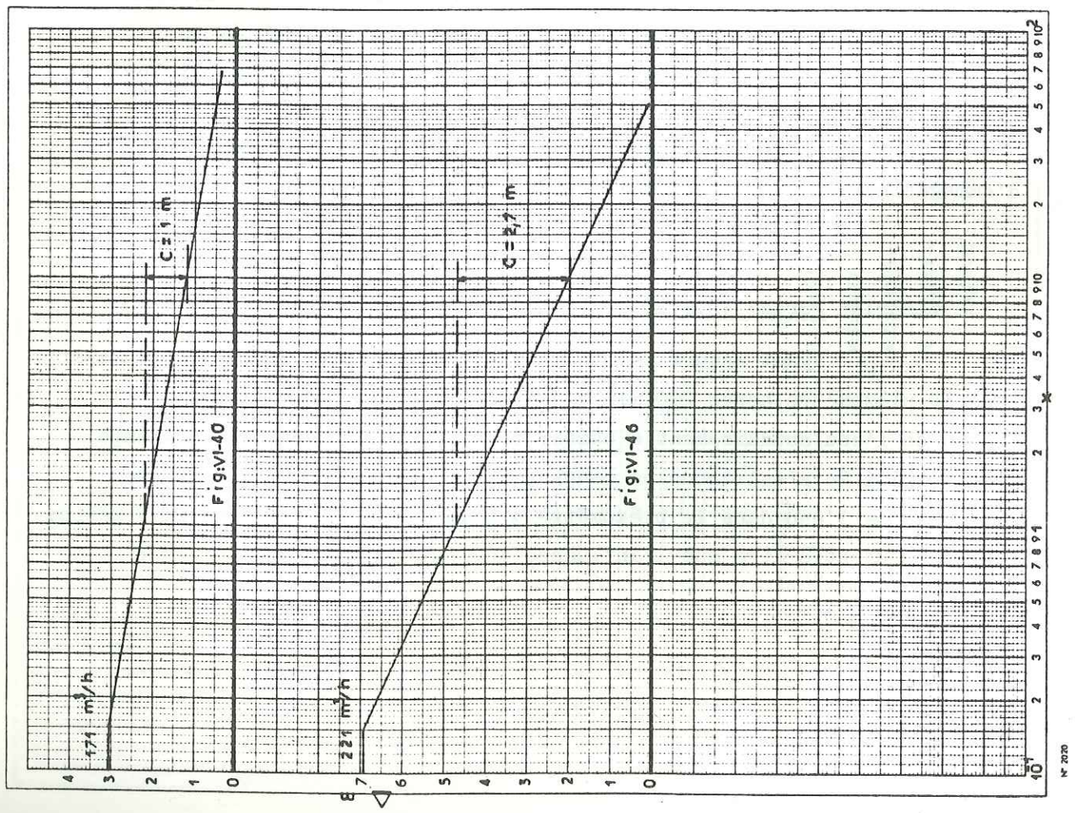
Comme on l'a déjà indiqué, ce forage comprend deux nappes aquifères avec des valeurs de transmissivité entièrement différentes. La première est de $1,8 \cdot 10^{-3}$ et la deuxième est de $5,68 \cdot 10^{-3}$ m2/s (voir le tableau VI-47).

Il n'y a pas de test permettant le calcul d'un coefficient d'emmagasinement, car le piézomètre a été rebouché par des paysans.

VI-3-10- Forage 12.P.25 (Hosseynabad)

Ayant mesuré le rabattement dans le forage et simultanément dans le piézomètre, après 200 minutes de pompage, on s'est aperçu que le niveau de l'eau soudainement a baissé de 2 mètres ; et qu'en même temps l'eau exploitée s'est troublée pendant quelques minutes. Au contraire, le niveau de l'eau dans le piézomètre a commencé à remonter de 0,79 mètres à 0,28 m. C'est-à-dire que l'influence de l'essai de pompaga a cessé





entièrement sur le piézomètre. Autrement dit, il y a eu une rupture entre le forage et le piézomètre. Cette rupture peut s'interpréter de la façon suivante : pendant l'essai de pompage et à la 200ème minutes de pompage, il y a eu un effondrement brusque des formations alluviales entre le forage et le piézomètre. A ce moment là, l'eau exploitée s'est troublée et le niveau de l'eau dans le forage a baissé brusquement tandis que celui dans le piézomètre est remonté sans cesse jusqu'à la fin du pompage (fig. VI-43).

On a cependant calculé la valeur de T et de S à partir des résultats obtenus pendant l'essai de pompage :

a) par la courbe de rabattement en fonction de

$\Delta = f(\log t)$

- pour le forage avec :

$Q = 176$ m3/h $= 0{,}0488$ m3/s

$C_f = 0{,}003$ m/m3/h $= 10{,}8$ m/m3/s

$T = 1{,}69 \cdot 10^{-2}$ m2/s

- Pour le piézomètre avec :

$C_p = 0{,}49$ m

$to = 32$ s

$x = 30$ m

$T = 1{,}82 \cdot 10^{-2}$ m2/s

$S = 1{,}45 \cdot 10^{-3}$

b) Par la courbe de remontée $\Delta_r = f(\log t/t')$ (Fig. VI-44)

avec :

$C_f = 0{,}455$ m

$T = 1{,}96 \cdot 10^{-2}$ m2/s

c) Calcul du coefficient d'emmagasinement à partir de la granulométrie

Selon les caractères lithologiques de ce forage, le coefficient d'emmagasinement calculé est d'environ 9 %. On voit les résultats dans le tableau suivant :

Tableau VI-45 : Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie dans forage 12.P.25

Profondeur m	Epais. m	Groupe	S de groupe %	% de groupe	S de forage %
17 - 50	33	T.S.	10	0,702	7,02
50 - 58	8	C.G.	5	0,17	0,85
58 - 64	6	T.S.-G.S.	12	0,128	1,53
Total	47	-	-	-	$\simeq$ 9

d) Calcul de K à partir de Δ = f (log x) pour 200 minutes de pompage (fig. VI-46).

avec :

$C = 2,7$ m

d'où :

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

e) Résultats

Les transmissivités calculées à partir de l'enregistrement du rabattement dans le forage et le piézomètre et également de la remontée dans le forage ont des valeurs très proches les unes des autres (voir le tableau VI-47). La valeur de la transmissivité réelle serait la moyenne de celles qu'on a obtenu soit $T_{moy} = 1,82 \cdot 10^{-2}$ m2/s .

Une seule valeur du coefficient d'emmagasinement a été calculée à partir du pompage sur le forage et de l'enregistrement du rabattement sur le piézomètre. Il semble que cette valeur est très faible puisqu'elle n'est que de $S = 1,45 \cdot 10^{-3}$. Il faut considérer cette valeur comme une valeur à court terme (200 mn). C'est pourquoi pour la valeur de S on a choisi une valeur moyenne entre celle de l'essai de pompage et celle obtenue par l'étude granulométrique, $S_{moy} = 4,5 \cdot 10^{-2}$.

Une seule valeur de la perméabilité a été calculée à partir du pompage sur le forage et de l'enregistrement du rabattement sur le piézomètre. Il n'y a pas eu d'essai de longue durée. Cependant la valeur obtenue peut être valable pour cet endroit et est de l'ordre de $K = 1,3 \cdot 10^{-2}$ m/s.

VI-4- CONCLUSION DU CHAPITRE

Dans ce chapitre on a pu calculer les paramètres hydrodynamiques des différentes formations alluviales. On peut ainsi voir quelles sont les meilleures nappes aquifères car ces caractéristiques fournissent des renseignements très importants en vue d'une exploitation.
Les zones amont des plaines ont de meilleures caractéristiques, que les zones aval et les zones centrales des plaines sont en général plus argileuses comme on vient de le voir.

Les valeurs calculées de la perméabilité confirment ce que l'on a dit ci-dessus et elles restent dans une gamme de $3,4 \cdot 10^{-2}$ à $6,4 \cdot 10^{-4}$ m/s. Elles ne sont donc pas très faibles.

Le tableau VI-47 rassemble tous les résultats obtenus lors des essais de pompage afin de permettre la comparaison rapide des diverses caractéristiques hydrodynamiques des formations alluviales.

o o

o

Tableau VI-47 : Caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères.

Nom de la plaine	Coordonnés du forage sur la carte	Transmissivité calculée T, en m2/s					Coefficient d'emmagasinement S			T moy. m2/s	S moy.	K m/s
		Approximation logarithmique		Courbe caractéristique	Droite de la Remontée Δ_r = f (log t/t') [1]		Approximation logarithmique	Courbe caractéristique	Granulométrique m_e [2]			
		Forage	Piézomètre		Forage	Piézomètre						
Fassa	6.I.8	$2,68 \cdot 10^{-2}$	$4,08 \cdot 10^{-2}$	$4,55 \cdot 10^{-2}$	$4,86 \cdot 10^{-2}$	$4,12 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$	$2,2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$4,05 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-1}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$
	7.J.35	$9,15 \cdot 10^{-3}$	$9,05 \cdot 10^{-3}$	$8,2 \cdot 10^{-3}$	$9,88 \cdot 10^{-3}$	$9,88 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-2}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$9,23 \cdot 10^{-3}$	$6,85 \cdot 10^{-2}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$
	8.K.12	$1,07 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$	$0,67 \cdot 10^{-3}$	$1,49 \cdot 10^{-3}$	$1,29 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$2,55 \cdot 10^{-4}$	$7,53 \cdot 10^{-3}$
	11.L.8	$4,98 \cdot 10^{-3}$	$2,62 \cdot 10^{-3}$	$3,26 \cdot 10^{-3}$	$1,43 \cdot 10^{-3}$	$4,69 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-2}$	$3,39 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$
G.bolagh	17.J.45	$4,42 \cdot 10^{-2}$	$4,08 \cdot 10^{-2}$	$4,54 \cdot 10^{-2}$	$6,43 \cdot 10^{-2}$	$4,08 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$4,71 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$1,05 \cdot 10^{-2}$
	17.J.46	$1,06 \cdot 10^{-2}$	$1,47 \cdot 10^{-2}$	$1,59 \cdot 10^{-2}$	$5,05 \cdot 10^{-2}$	$2,78 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$2,39 \cdot 10^{-2}$	$9,1 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$
	14.J.16	$4,13 \cdot 10^{-3}$	$6,15 \cdot 10^{-3}$	$5,35 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$4,44 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$5,19 \cdot 10^{-3}$	$3,55 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
G.beigoun	9.M.31	$2,99 \cdot 10^{-2}$	$3,34 \cdot 10^{-2}$	$3,91 \cdot 10^{-2}$	$2,89 \cdot 10^{-2}$	$4,82 \cdot 10^{-2}$	$7,7 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$3,59 \cdot 10^{-2}$	$5,85 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$
	11.0.23	$1,8 \cdot 10^{-3}$ $5,68 \cdot 10^{-3}$	-	-	$6,72 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	$4 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$ $6,2 \cdot 10^{-3}$	-	-
	12.P.25	$1,69 \cdot 10^{-2}$	$1,82 \cdot 10^{-2}$	-	$1,96 \cdot 10^{-2}$	-	$1,45 \cdot 10^{-3}$	-	$9 \cdot 10^{-2}$	$1,82 \cdot 10^{-2}$	$1,45 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$

1 Δ_r = log t/t' = Rabattement résiduel en fonction du logarithme t/t'

2 me = S ou porosité efficace pour les nappes peu profondes.

CHAPITRE VII

HYDROGEOLOGIE - LES EAUX SOUTERRAINES

A - Etude de la piézométrie du réservoir de la région

- Introduction
- Inventaire des points d'eau
- Les moyens d'exploitation des eaux souterraines
- Nivellement
- Mesures périodiques
- Ecoulement de la nappe des alluvions
- Tracé de la carte piézométrique
- Conclusion

B - Etude hydrodynamique des sources

- Courbe de tarissement
- Conclusion

CHAPITRE VII

A - ETUDE DE LA PIEZOMETRIE DU RESERVOIR DE LA REGION

VII-1- INTRODUCTION

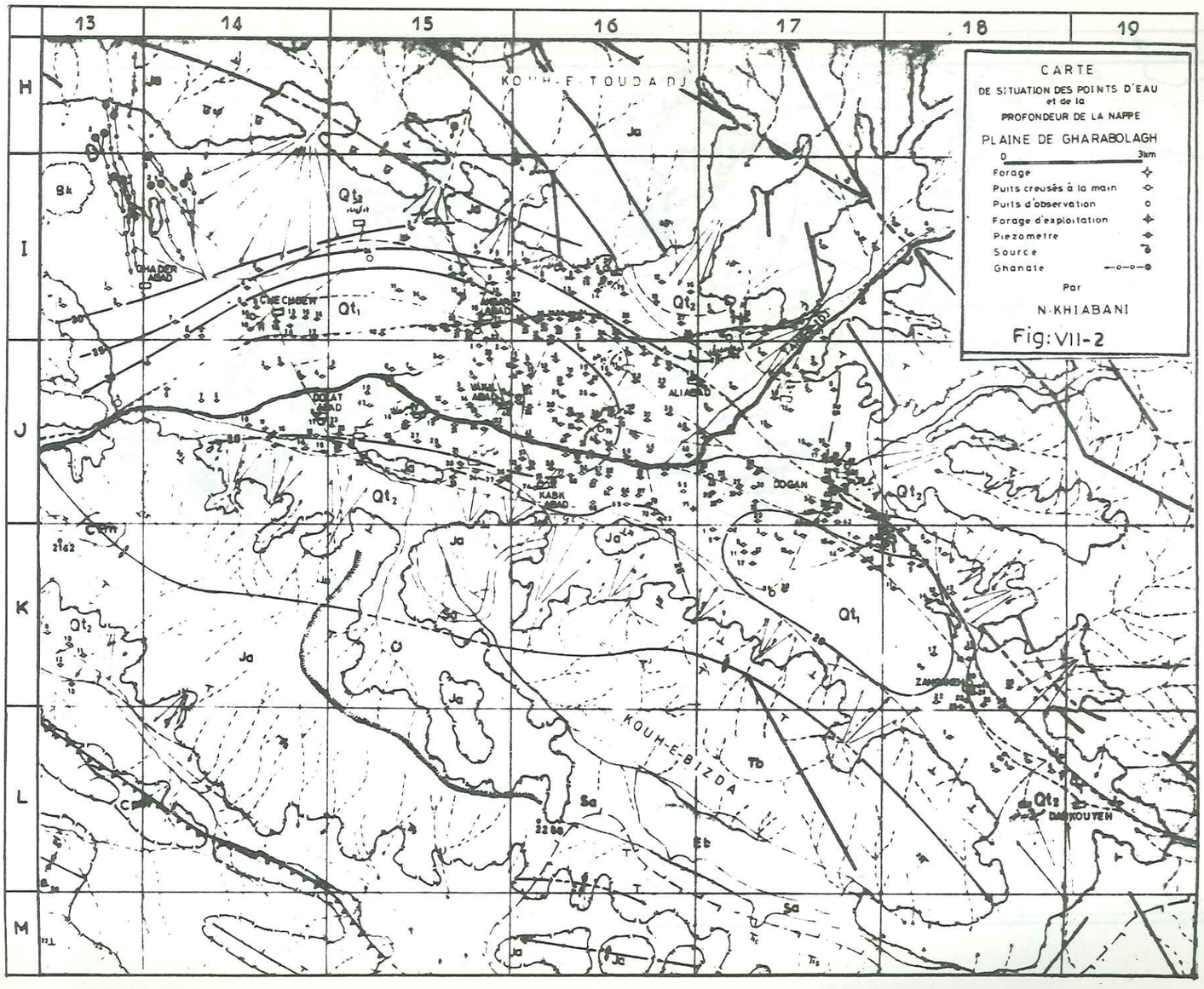
Dans la région étudiée la nappe de la plaine est une nappe à surface libre, sauf dans un seul secteur de la plaine de Fassa près du village de Sahararoud, où l'on a trouvé une nappe captive. Les profondeurs de l'eau sont entre : 5 à 35 m ; 20 à 30 m et 5 à 25 m respectivement dans les plaines de Fassa, Gharabolagh et Gharabeigoun.

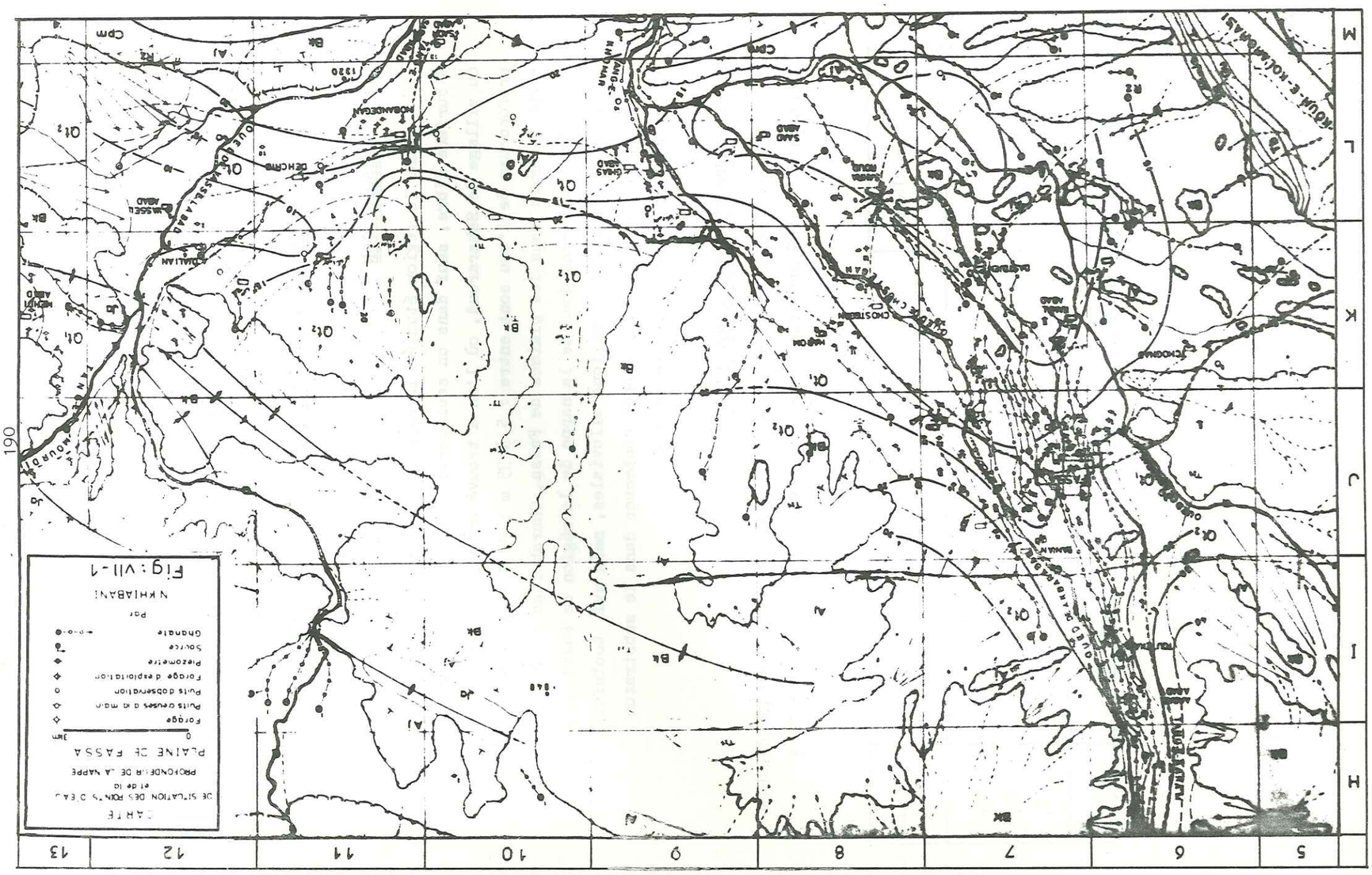
Nous parlerons donc de la nappe de la région de Fassa pour désigner la nappe des formations alluviales, mais qui, toutefois, est à séparer d'éventuelles nappes contenues dans le substratum et qui n'ont pas encore été reconnues.

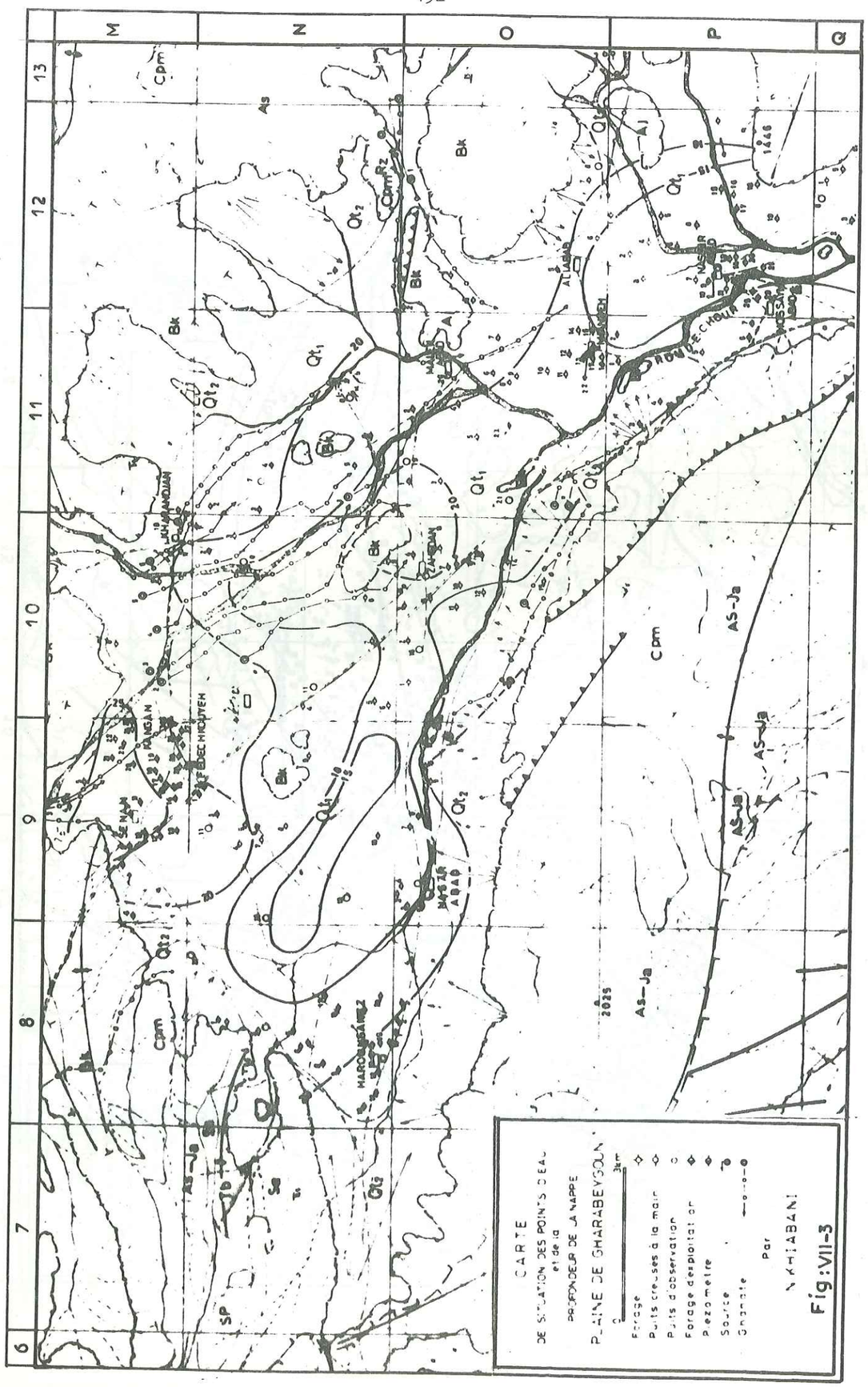
VII-2- INVENTAIRE DES POINTS D'EAU

Dans le cadre de notre étude, un recensement systématique des 695 points d'eau a été effectué (voir les cartes VII-1, VII-2 et VII-3) :

Nom de la plaine	Puits peu profonds	forages (puits profonds)	Ghanats	Totaux
Fassa	96	7	75	178
Gharabolagh	330	1	5	336
Gharabeigoun	164	-	17	181
Totaux	590	8	97	695


13
14
15
16
17
18
19
H
I
J
K
L
M
KOUH-E-TOUDADJ
KOUH-E-BIZDA
CARTE
DE SITUATION DES POINTS D'EAU
et de la
PROFONDEUR DE LA NAPPE
PLAINE DE GHARABOLAGH
0
3km
Forage
Puits creusés à la main
Puits d'observation
Forage d'exploitation
Piezometre
Source
Ghanate
Par
N-KHIABANI
Fig:VII-2
Qt2
Qt1
Ja
Ja1
Ja2
Ja3
Td
Sa
Eb
Tm
Bk
ALIABAD
DOGAN
ZAMBOURAK
DARKOUTEH
CHAHDEH ABAD
CHECHDEW
BOLAT ABAD
KABK ABAD


13
12
11
10
9
8
7
6
5
H
I
J
K
L
M
CARTE
DE SITUATION DES POINTS D'EAU
et de la
PROFONDEUR DE LA NAPPE
PLAINE DE FASSA
0
3km
Forage
Puits creusés à la main
Puits d'observation
Forage d'exploitation
Piezometre
Source
Ghanate
Par
N'KHIABANI
Fig : VII-1
Qt2
Qt1
Qt
Ja
Ja1
Ja2
Ja3
Td
Sa
Eb
Tm
Bk
DEHCHIR
DEHMANDEGAN
DJALALAN
CHOSTEGAN
KOUH-E-KOLAKAMAZI



Tous les renseignements obtenus ont été insérés dans un catalogue :

- numéro d'inventaire, localisation, nom du propriétaire, mode de creusement, cote de captage, contact du niveau de l'eau, niveau statique, profondeur totale et diamètre du puits, équipement, renseignements sur le type d'exploitation (débit et durée du pompage) et l'utilisation (alimentation urbaine ou besoins agricoles).

Sur chaque puits et ghanat, un échantillon d'eau a été prélevé pour effectuer une analyse chimique.

VII-3- LES MOYENS D'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES

De façon générale, il existe deux types d'exploitations des eaux souterraines :

Ghanats (galeries souterraines), qui sont les moyens traditionnels encore en usage, et les puits qui sont très récents.

Les ghanats drainent depuis des siècles, par contre les puits vont chercher l'eau à de grandes profondeurs et sont capables d'extraire de grands volumes d'eau. Parmi les puits il existe ainsi deux catégories de puits (creusés à la main) dans la région, qui s'appellent "Tchahé-dasti" et "Tachahé nimeh amigh". Les moyens de creusement sont rudimentaires.

Les "Tchahé dasti" sont les puits peu profonds avec un diamètre allant de 75 à 100 cm. Ils sont localisés naturellement dans les zones où la surface de l'eau est peu profonde et ne sont pas équipés. Ces puits sont fréquents dans les maisons des villages pour alimentation humaine. Les "Tchahé nimeh amigh" sont les puits "semi-profonds" dont la profondeur peut varier par rapport à la surface de l'eau (de 10 à plus de 20 m dans cette région). Ils sont creusés toujours plus de 5 ou 6 mètres au-dessous du niveau de l'eau. Ils sont généralement équipés d'une pompe centrifuge. Ces puits sont souvent complétés par une ou plusieurs galeries rayonnantes du type ghanats, fournissent un apport supplémentaire. Ils sont très fréquents dans notre région.

VII-4- NIVELLEMENT

Une campagne de nivellement des puits d'observation (puits témoins) a été effectuée par la section topographique de notre groupe hydrogéologique. Cette campagne a porté sur 78 puits constituant le réseau de points de mesures du niveau piézométrique de la nappe superficielle.

Pour l'altimétrie, nous avons donné au pied de Kouhé Kharman la cote de + 1500 m.

VII-5- MESURES PERIODIQUES

Pour les mesures périodiques du niveau piézométrique, nous avons choisi les puits non utilisés ou utilisés uniquement pour l'alimentation humaine en eau potable et non équipé de moteur pompe, ou creusés spécialement pour compléter notre réseau des puits témoins.

Tous ces puits ont été mesurés régulièrement tous les mois pour avoir l'évolution de la nappe dans toutes les plaines. Ces variations peuvent en outre permettre d'approcher les quantités d'eau extraites des nappes.

Pendant nos études dans cette région, nous avons effectué 21 mesures(d'octobre 1970 à Juin 1972) du niveau piézométrique. Mais parmi ces puits, il y a eu des mois où le niveau d'eau a baissé plus bas que la profondeur totale du puits. Dans ce cas là, on l'a calculé par corrélation.

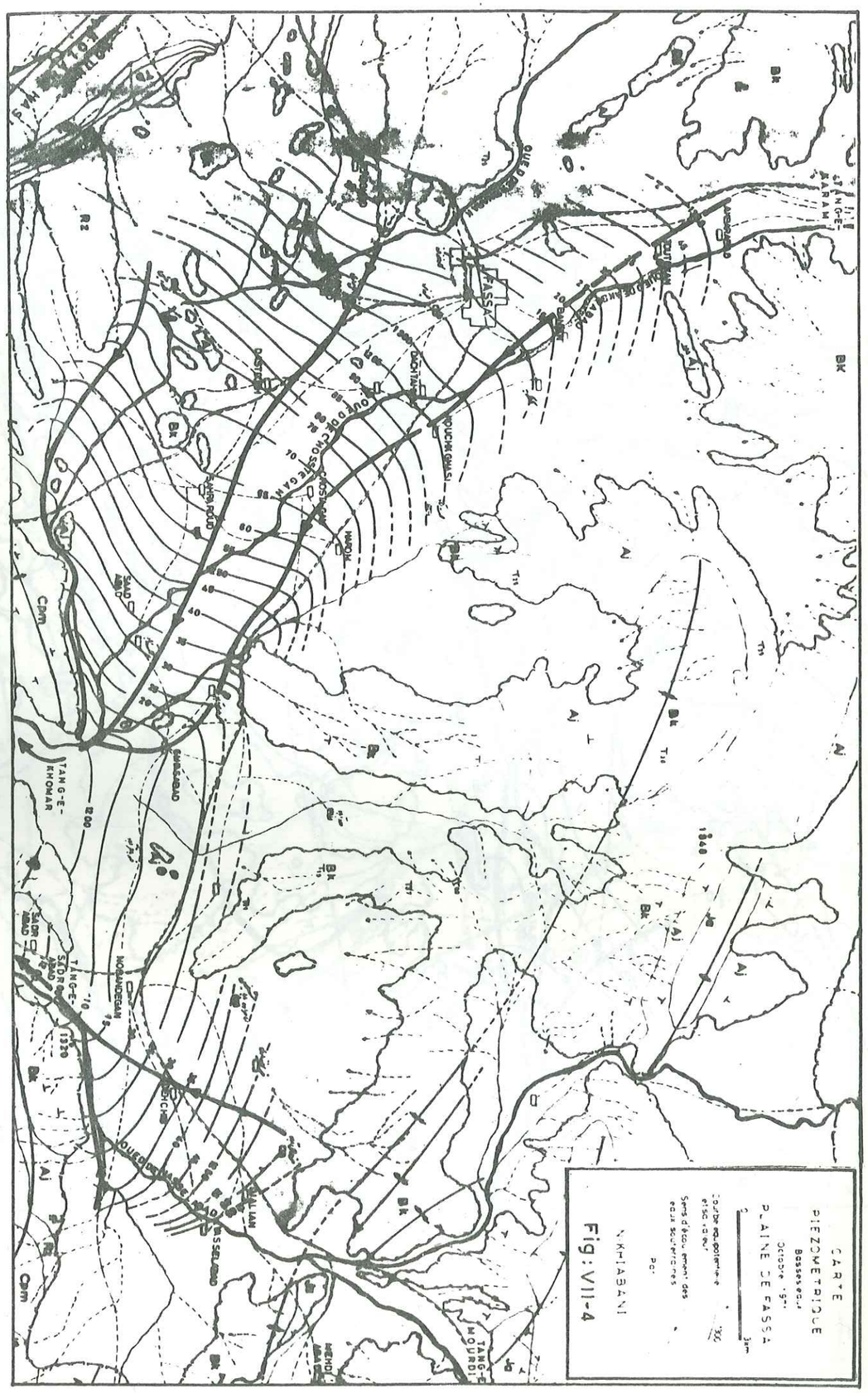
VII-6- ECOULEMENT DE LA NAPPE DES ALLUVIONS

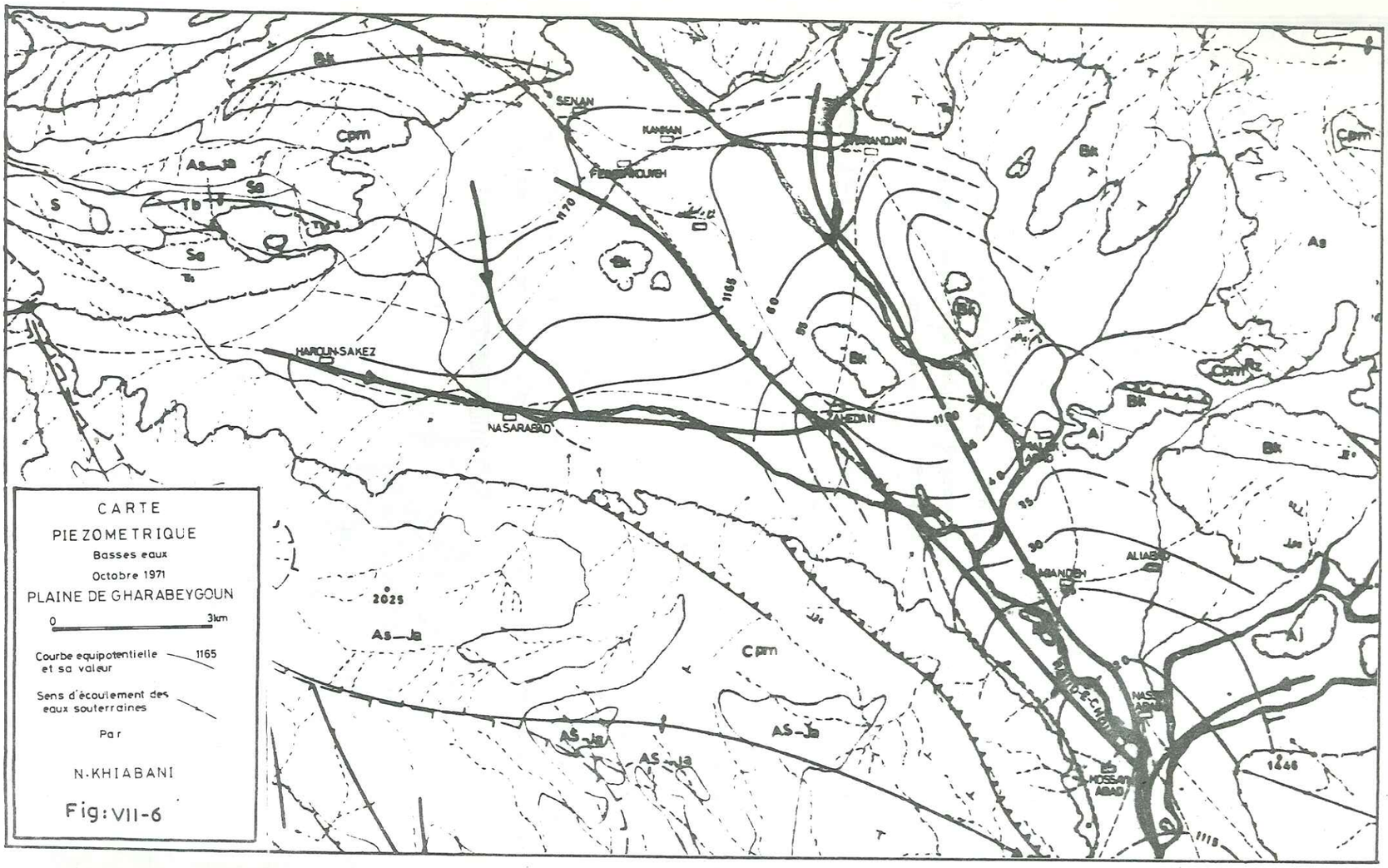
- Généralités

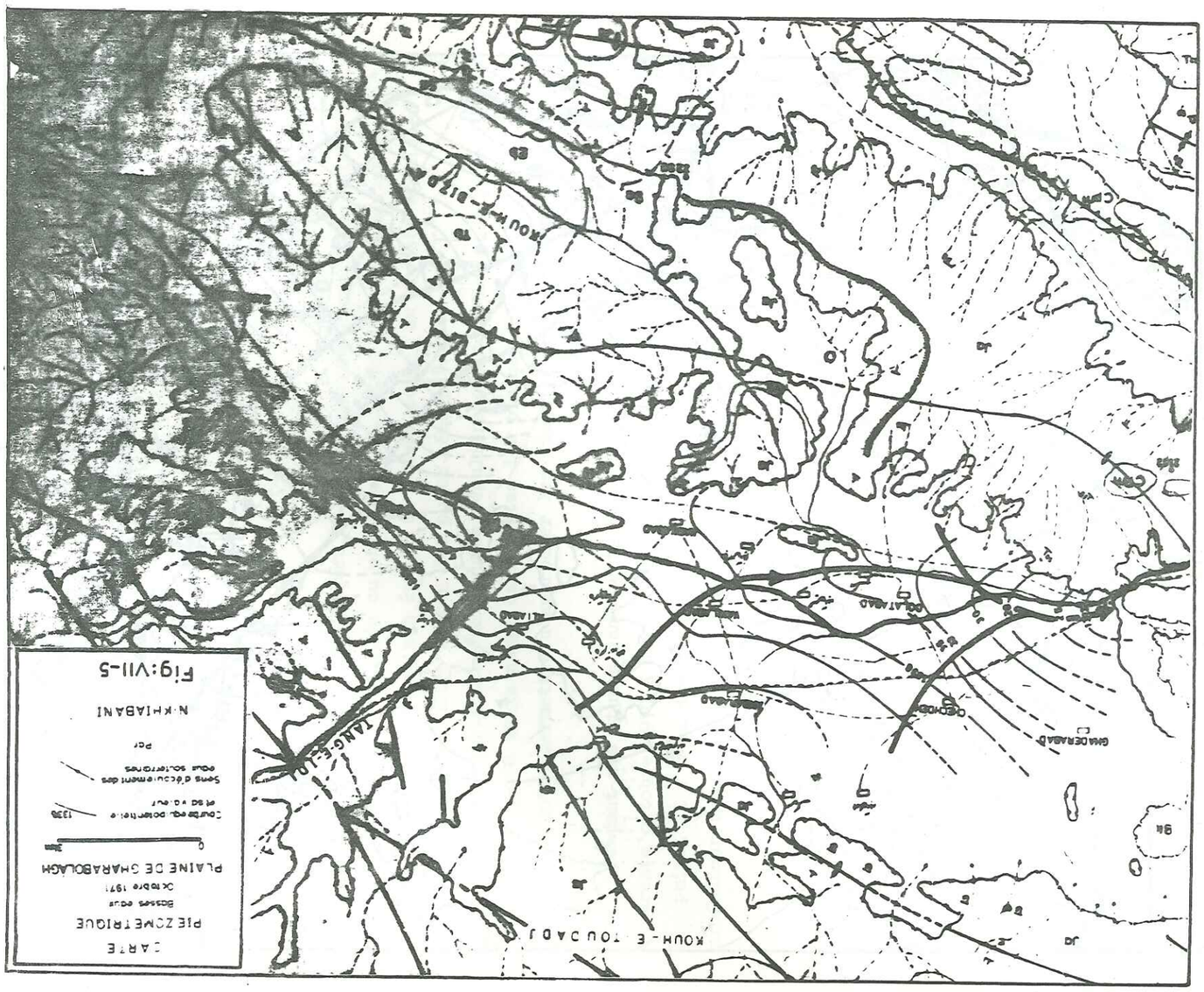
Suivant les mesures périodiques du niveau piézométrique de la nappe et la connaissance que l'on a de chaque puits (cote de captage) on a pu tracer pour chaque plaine deux cartes piézométriques :

- l'une correspond aux basses eaux ;
- l'autre correspond aux hautes eaux.

La première a été tracée à partir des mesures du niveau piézométrique de tous les puits témoins (ou puits d'observations) effectuées au mois d'octobre 1971 (voir les cartes VII-4, 5 et 6).




CARTE
PIEZOMETRIQUE
Basses eaux
Octobre 1971
PLAINE DE GHARABEYGOUN
0 3km
Courbe equipotentielle et sa valeur 1165
Sens d'écoulement des eaux souterraines
Par
N.KHIABANI
Fig:VII-6
SENAN
KAHKAN
FERDOWJEH
HAROUN-SAKEZ
NASARABAD
ALIABAD
Cpm
As-Ja
Bk
Ai
Aj
Js
Ja
Ks
Ts
Tb
Se
S
2025
1446


CARTE
PIEZOMETRIQUE
Basses eaux
Octobre 1971
PLAINE DE GHARABOLAGH
0 3km
Courbe equipotentielle 1230
et sa valeur
Sens d'écoulement des eaux souterraines
Par
N.KHIABANI
Fig:VII-5
KOUH-E TOUJAD
KOU HA-BIJAR
TANG-E-LIN
OMADERABAD
Ja
Ks
Qa

La deuxième a été établie à partir des mesures du niveau piézométrique réalisées au mois de mars 1970 (voir les cartes VII-7, 8 et 9).

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 permettent d'avoir des valeurs du gradient hydraulique pour calculer le bilan.

Ces cartes piézométriques ont pour but principal de fournir des renseignements sur l'écoulement et l'alimentation de la nappe en vue de son exploitation rationnelle.

VII-7- TRACE DE LA CARTE PIEZOMETRIQUE

Le tracé des courbes isopièzes sur les deux cartes dressées permet de distinguer plusieurs zones individualisées dans chaque plaine aussi bien en hautes eaux qu'en basses eaux.

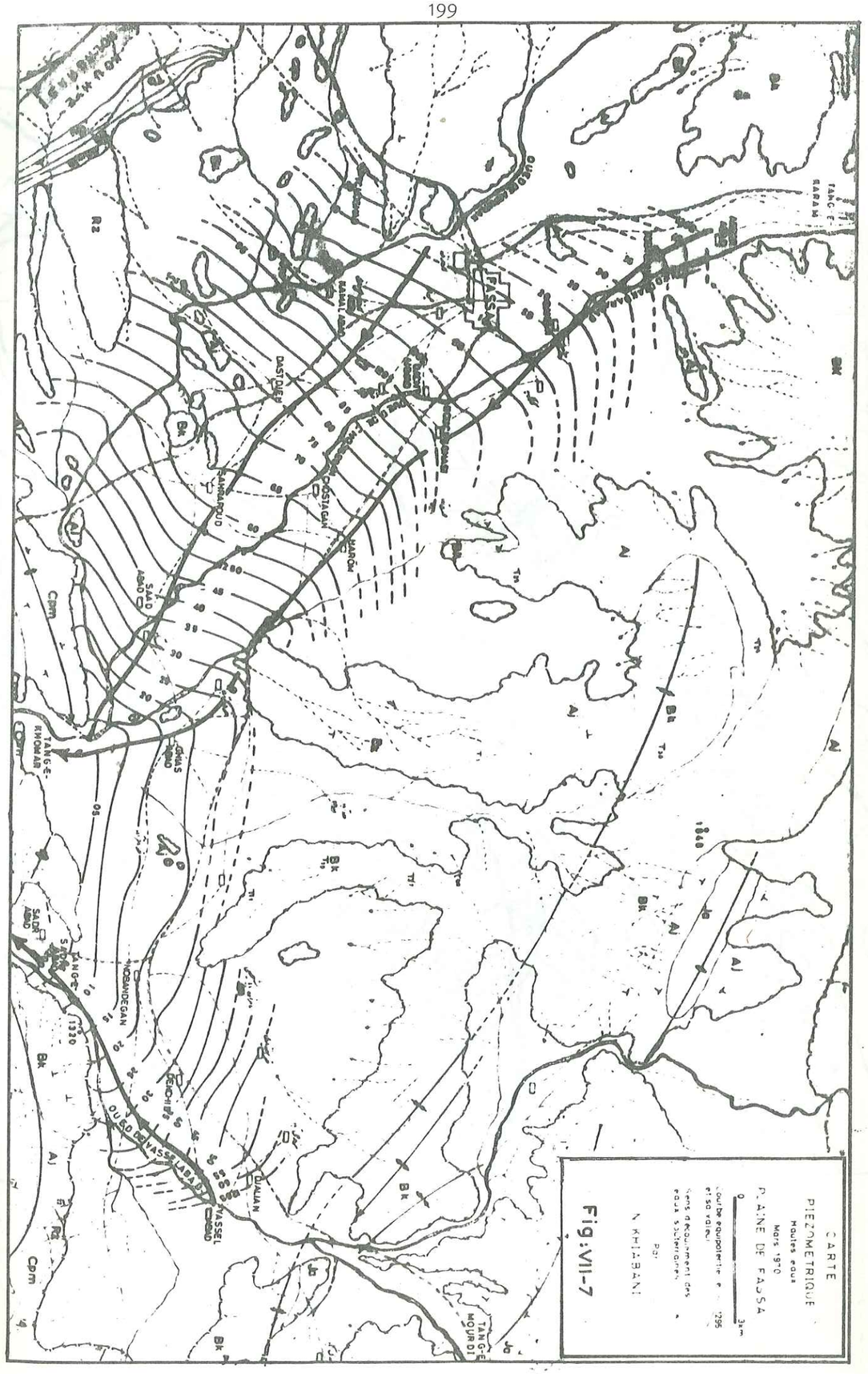
VII-7-1- Nappe alluviale de la plaine de Fassa

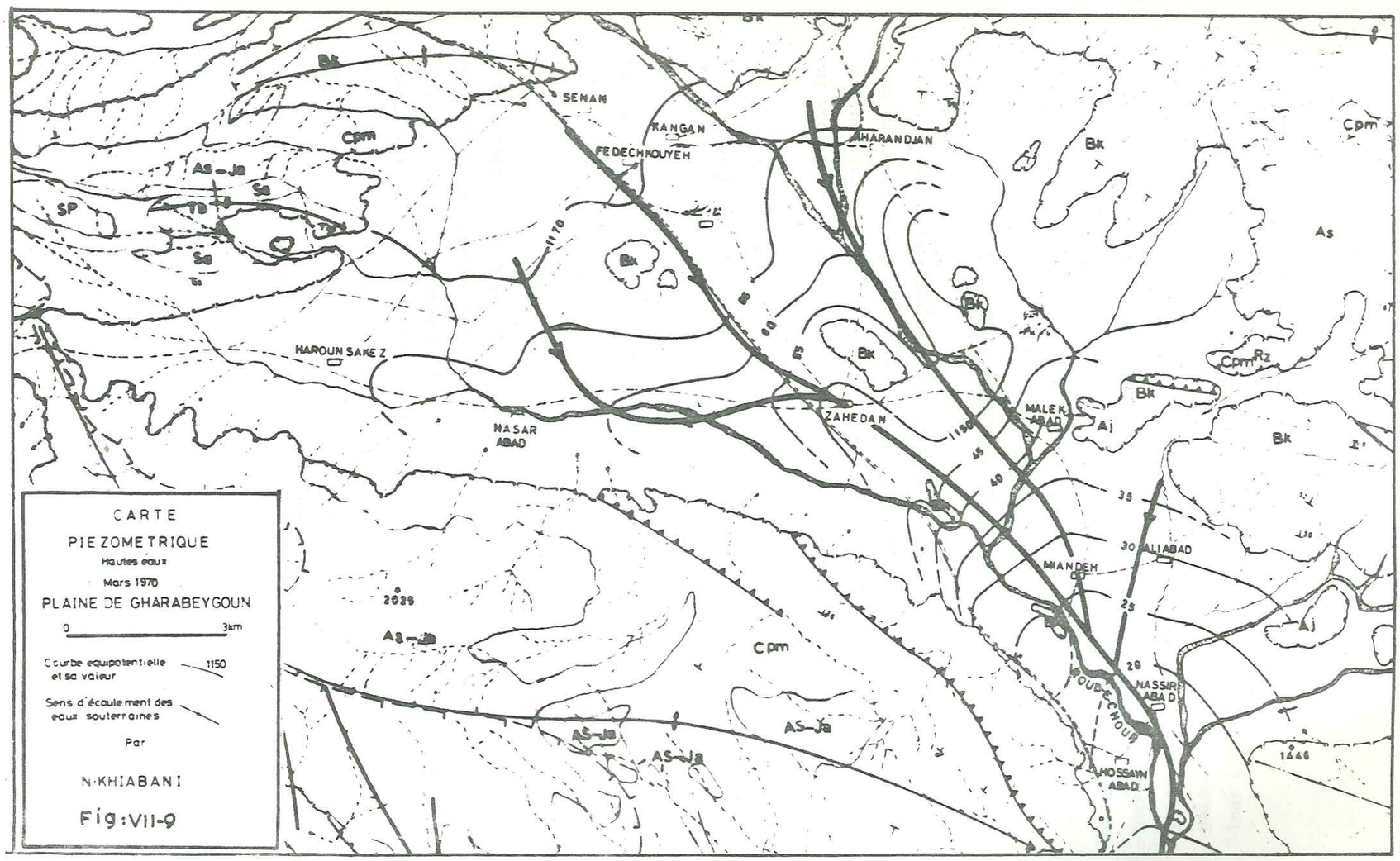
La plaine de Fassa est une vaste cuvette comblée de dépôts quaternaires : vases hétérogènes, sables et graviers, riches en eaux, renfermant la nappe de cette plaine.

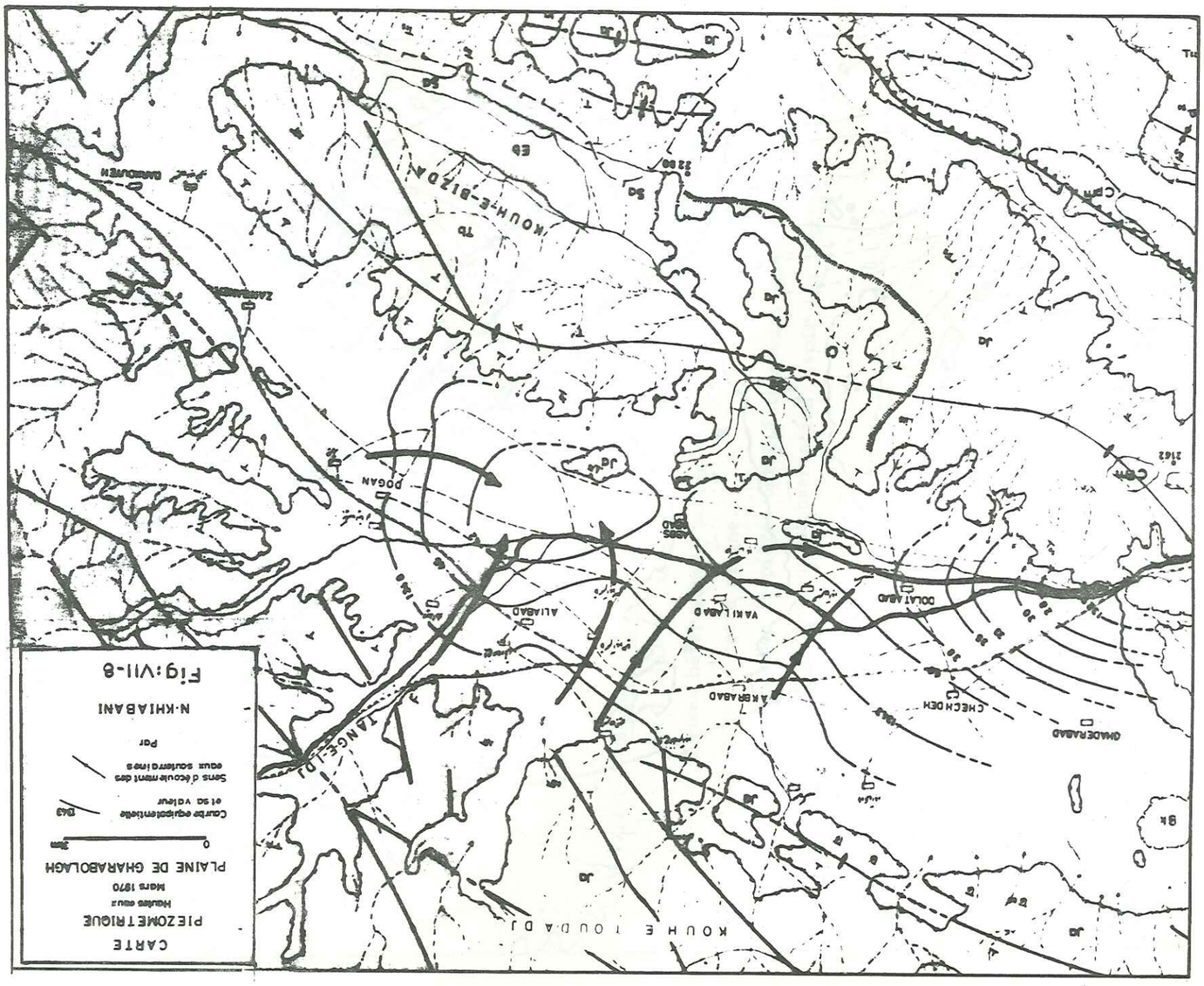
Les courbes isopièzes ont été tracées d'après les niveaux piézométriques des puits témoins d'observation (voir les figures VII-4 et VII-7).

Nous avons tracé les lignes de courant et dégagé les axes principaux d'écoulement. La surface piézométrique n'est pas régulière et présente une morphologie complexe. Sa profondeur, par rapport au niveau du sol, importante au nord, diminue vers le sud de 30 à 5 m (voir fig. VII-1). L'écoulement de direction générale N.W-E.S. n'est pas uniforme, caractère qui se traduit par des formes et des lignes de courant sinueuses.

Le profil général de la surface piézométrique est affecté d'une pente de l'ordre de 5°/$_{oo}$ au nord, qui augmente vers le sud avec un gradient hydraulique de 10 °/$_{oo}$. Sa forme est due au relief et surtout aux caractéristiques de l'écoulement.




SENAN
KANGAN
FEDECHKOUYEH
AHARANDJAN
MAROUN SAKEZ
NASAR ABAD
ZAHEDAN
MALEK ABAD
MIANDEH
ALIABAD
NASSIR ABAD
HOSSAIN ABAD
BOUBECHOUR
Bk
Cpm
As
Aj
Rz
As-Ja
Ja
SP
Sa
Ta
Tb
2025
1446
CARTE
PIEZOMETRIQUE
Hautes eaux
Mars 1970
PLAINE DE GHARABEYGOUN
0
3km
Courbe equipotentielle et sa valeur
1150
Sens d'écoulement des eaux souterraines
Par
N·KHIABANI
Fig:VII-9


KOUH-E-BIZDAN
KOUH-E TOUDAJ
ZANGESTAN
DOGAN
ALIABAD
YAKILABAD
DOLATABAD
CHECHDEH
AKBARABAD
GHADERABAD
CARTE
PIEZOMETRIQUE
Hautes eaux
Mars 1970
PLAINE DE GHARABOLAGH
Courbe equipotentielle et sa valeur
Sens d'écoulement des eaux souterraines
Par
N·KHIABANI
Fig:VII-8

La zone septentrionale présente des courbes isopièzes moins serrées que la zone sud à concavité orientée vers l'aval. La profondeur de la surface piézométrique est de 20 à 40 m. L'axe général d'écoulement est NW-SE. L'espacement des courbes diminue progressivement dans cette direction, traduisant un profil parabolique avec un gradient hydraulique moyen de 8 à 10 °/oo au sud. Sur les bordures les courbes se ressèrent et s'incurvent sub-parallèlement ou parfois presque parallèlement aux reliefs avec accroissement du gradient hydraulique. Les bordures sont donc des zones d'alimentation à plus ou moins fort débit. Mais l'alimentation principale de la nappe se fait à partir de la vallée de Tang-é-Karam et de l'Oued Akbarabad qui alimente la nappe par ses crues. Cette zone de la plaine est très sollicitée pour les besoins en eau potable de l'agglomération de Fassa.

La zone S.E. présente des courbes isopièzes serrées à très faible concavité orientée vers l'aval. C'est la zone, qui est l'exutoire de la plaine de Gharabolagh. Les courbes isopièzes sont presque rectilignes, perpendiculaires aux bordures, caractérisant presque une nappe cylindrique. La direction générale d'écoulement est NE-SW. La surface piézométrique est à une dizaine de mètres de profondeur (fig. VII-1) L'alimentation est nulle par les reliefs, ce qui est justifié par leur très faible développement.

Des sondages de reconnaissances implantées dans cette zone ont montré la présence d'alluvions colmatées à faible perméabilité, surtout vers le N.E. L'alimentation de cette zone se fait par des eaux de crues de l'oued de Vasselabad ainsi que l'excédent d'eaux souterraines de la nappe de la plaine de Gharabolagh.

VII-7-2- Nappe alluviale de la plaine de Gharabolagh

C'est la plaine située au N.E. de la région étudiée. Elle est formée par un comblement de dépôts continentaux quaternaires, renfermant une nappe libre. La surface piézométrique présente une morphologie complexe. Sa profondeur, par rapport au niveau du sol, du nord vers le centre, diminue de 35 à 20 m (voir fig. VII-2).

Nous pouvons distinguer deux zones à l'ouest et au centre de la plaine.

La zone ouest est caractérisée par des courbes isopièzes régulières parallèles aux bordures et à l'axe des reliefs. Cette zone présente des courbes isopièzes à forte concavité orientée vers l'aval. Le profil de dépression est régulier et parallèle à la surface topographique. La direction générale d'écoulement est N-S.-W. (fig. VII-5 et 8). Le gradient hydraulique moyen est de l'ordre de 3 °/oo . L'écoulement est relativement lent. L'alimentation s'effectue par les calcaires situés au nord, soit par les bordures, soit par le substratum (ce que confirme le forage 17.J.45) et par la vallée de Tang-è-Idj.

Nous notons dans le centre de la plaine une anomalie importante des courbes isopièzes. Les courbes régulières, à très forte concavité orientée vers l'aval, dessinent une courbe fermée traduisant un intense prélèvement d'eau dans cette zone.

VII-7-3- Nappe alluviale de la plaine de Gharabeigoun

La plaine de Gharabeigoun est située au sud de celle de Fassa dont elle est séparée par les reliefs de la montagne de Kouh-è-Kolahghazi continuant jusqu'à l'Est de la région. Elle est comblée de dépôts continentaux quaternaires. Ces formations renferment une nappe libre dont les caractéristiques hydrogéologiques apparaissent sur la carte en courbes isopièzes (fig. VII-6 et VII-9). La surface piézométrique présente une morphologie complexe. Sa profondeur, par rapport au niveau du sol, importante en amont (au Nord) diminue vers l'aval de 25 à 15 m (voir la fig. VII-3). Nous pouvons distinguer deux zones Nord et Sud.

La zone Nord est caractérisée par des courbes sinueuses avec un gradient relativement très faible de l'ordre de 1,7 à 2 °/oo, par rapport à ceux de Fassa et de la zone sud. L'écoulement est très lent. La direction d'écoulement est N.W-S.E. L'alimentation s'effectue par le nord et le nord-ouest. L'allure générale des courbes isopièzes dans la zone N.W. indique une alimentation de la nappe à partir des eaux salées du dôme de sel situé à cet endroit. Par conséquent , la nappe serait polluée par ces eaux qui alimentent la nappe, ce qui est justifié par leur très faible développement.

La zone sud présente des courbes isopièzes plus serrées à forte concavité orientée vers l'aval. La profondeur de la surface piézométrique est de 18 à 15 m. L'axe général d'écoulement est N.W.-S.E.
L'espacement des courbes augmente progressivement dans cette direction.
L'alimentation par les bordures est faible, parfois nulle.
L'alimentation principale se fait par les bordures septentrionales où il y a l'exutoire de la plaine de Fassa et aussi notamment des eaux de crues de la rivière Roud-è-Chour.

VII-8- CONCLUSION

L'alimentation de la nappe a été mise en évidence par les cartes piézométriques. On peut en conclure que l'alimentation des nappes se fait d'une part à partir des eaux météoriques qui s'infiltrent dans les alluvions grossières des plaines, chaque fois que la nature pétrographique du terrain permet une telle infiltration et d'autre part, à partir des eaux de crues des oueds, ainsi que les premiers résultats de jaugeages (comme nous avons étudié dans le chapitre précédent) de crues à la station hydrométrique construite sur la rivière Roud-e-Chour,(la station de Tamchir)nous l'ont montré.

L'alimentation à partir du substratum et aussi par les bordures des reliefs est également certaine. Nous avons surtout vu cette alimentation dans le chapitre précédent, dans le forage de reconnaissance qui est implanté près des calcaires de Djahrom et foré au fond dans ceux-ci sur une longueur de cinq mètres (forage de reconnaissance 17.J.45).

B - ETUDE HYDRODYNAMIQUE DES SOURCES DE BASSIN VERSANT

VII-9- COURBE DE TARISSEMENT

Pendant l'étude des versants de la région de Fassa, nous avons pu étudier les sources qui existent dans la région.

Toutes ces sources sont alimentées par les calcaires fissurés de l'Eocène (F. de Djahrom et Asmari-Djahrom) des massifs Nord et Nord-Est.

Nous avons essayé de tracer les courbes de tarissement pour les quatre sources, à partir des formules de Maillet et de Tison. 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 la période de tarissement n'est pas influencée par des précipitations, donc leur débit est uniquement fonction du volume d'eau accumulé dans la nappe qui l'alimente.

VII-10- RAPPEL DES EQUATIONS

VII-10-1- Formule de Maillet

Maillet a établi la formule suivante de la courbe de tarissement supposant un milieu homogène et isotrope. Il est évident que ces conditions ne sont pas souvent réalisées dans les calcaires.

$$Q_t = Q_o \cdot e^{-\alpha t}$$

d'où nous pouvons écrire :

$$\log Q_t = \log Q_o - (\alpha \log e)\, t$$

Q_t = le débit à l'instant t, en m3/s
Q_o = le débit à un instant t_o, pris comme origine du tarissement
e = 2,718 est la base des logarithmes népériens
t = le temps écoulé depuis le début du tarissement en jours
α = le coefficient du tarissement

en remplaçant lg e par sa valeur numérique 0,4343 :

$$\log Q_t = \log Q_o - (0{,}4343\,\alpha)t$$

Nous avons porté sur un graphique semi-logarithmique en ordonnées les débits en l/s et en abscisse les temps en jours pour chaque source de la région qui était sous contrôle mensuel et nous avons calculé les coefficients de tarissement α et également la capacité d'emmagasinement W au début du tarissement. Celle-ci est calculée à partir de l'intégration de la courbe de tarissement qui donne approximativement le volume total d'eau emmagasiné par les matériaux aquifères alimentant la source à l'instant t_o :

$$W = \int_{t_o}^{\infty} Q_t dt$$

$$W = \int_{t_o}^{\infty} Q_o \; e^{-\alpha t} \; dt = \frac{Q_o}{\alpha}$$

Comme t exprime en secondes d'où :

$$W = \frac{Q_o}{\alpha} \cdot 86400 \text{ m3}$$

a) Source Ghomp-è-Atachkadeh n° 10.C.8

Cette source est située sur le flanc sud de la montagne de Kharman-Kouh à peu près 25 km au Nord de Fassa. Les calcaires liés à cette source sont fissurés, avec des cavités fréquentes.

Le débit varie entre 80 et 360 l/s. La cote de l'émergence est de 1610 m.

La courbe de cette source en fonction des débits et du temps, permet de tracer la droite représentative moyenne qui donne les valeurs correspondantes :

1) En 1972 du 1er juin au 31 septembre, pendant 122 jours, le débit est passé de 253 à 187 l/s (fig. VII-10), d'où le coefficient du tarissement est de :

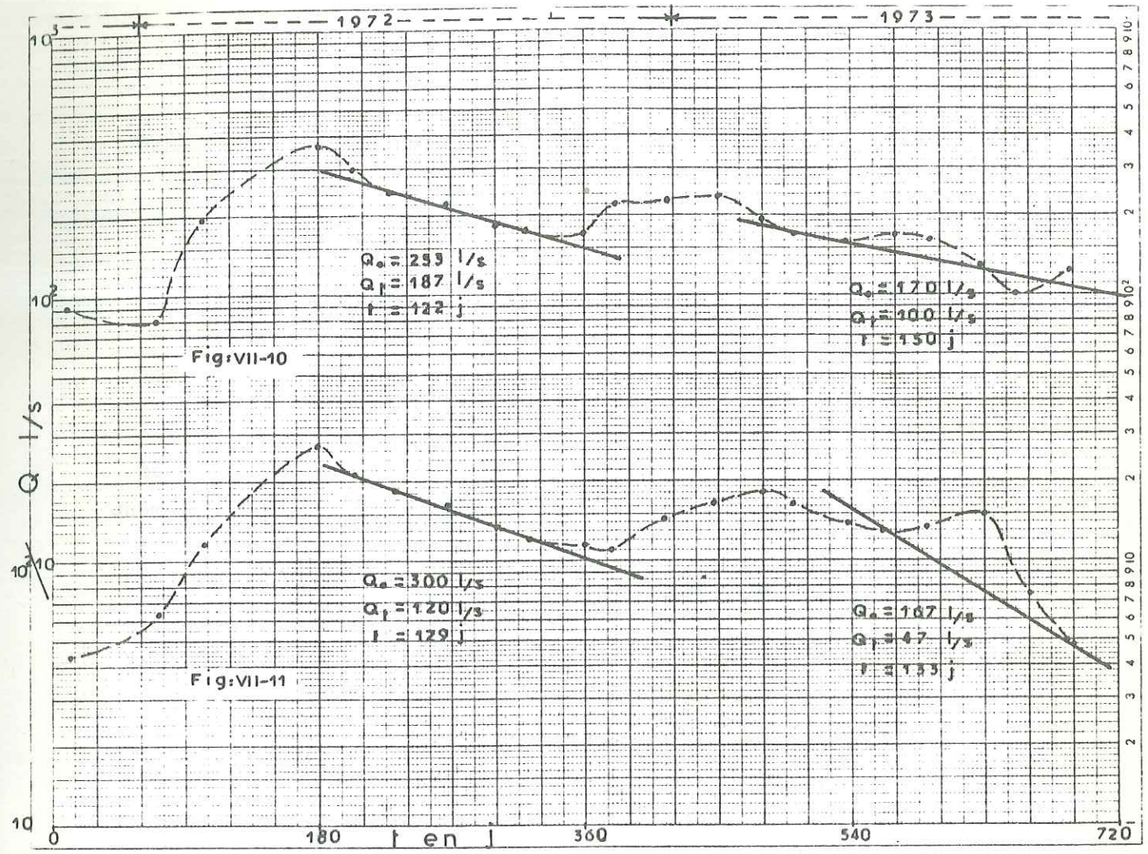
$$\frac{\log Q_o - \log Q_t}{0{,}4343 \; t} = \alpha = 0{,}0033$$

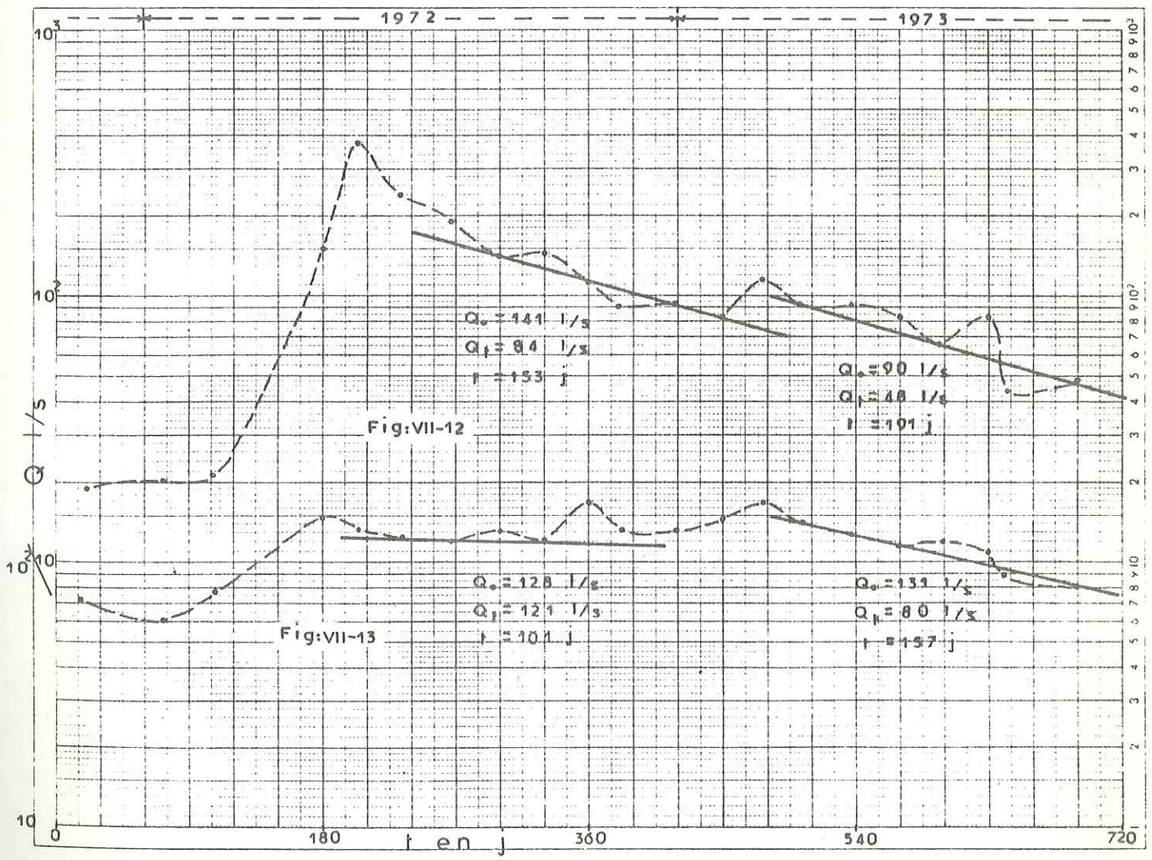
La formule de vidange de cette source est donc :

$$Q_t = 0{,}27 \; e^{-0{,}0033 \; t}$$

La capacité d'emmagasinement est de :

$$W = 6{,}5 \cdot 10^6 \text{ m3}$$





2) En 1973, du 24 mars au 20 août (150 jours) le débit est passé de 170 à 100 l/s,
d'où : $\alpha = 0,0035$

La formule de vidange de cette source pour cette année est donc :

$$Q_t = 0,17\ e^{-0,0035t}$$

et le volume d'eau emmagasinée est de :

$$W = 4 \cdot 10^6 \text{ m3}$$

La valeur du coefficient de tarissement pour cette source est en moyenne de 0,034 et la capacité d'emmagasinement au début du tarissement est de $5 \cdot 10^6$ m3. La formule de vidange de la source est donc :

$$Q_t = 0,211\ e^{-0,0034t}$$

b) Source Tchehel Tchechmeh n° 10.C.9

Elle est située à 20 km d'environ au Nord de Fassa sur le flanc sud des massifs de Kouh-é-Toudadj, constitués par les calcaires de la formation de Djahrom. La cote de l'émergence est de 1610 m, le débit de cette source varie entre 40 et 280 l/s. Les calcaires à l'émergence de cette source sont comparables à ceux de la source Ghompé Atachkadeh.

La droite du tarissement de cette source donne les valeurs suivantes :

1) En 1972, du 24 mai au 31 septembre (129 jours) le débit est passé de 300 à 120 l/s (fig. VII-11).
d'où :

$$\alpha = 0,00757$$

La formule de vidange de cette source pour cette année est donc :

$$Q_t = 0,21\ e^{-0,00757t}$$

et le volume d'eau emmagasiné est de :

$$W = 3,4 \cdot 10^6 \text{ m3}$$

2) En 1973, du 22 mai au 31 septembre (131 jours) le débit est passé de 167 à 47 l/s.
d'où :

$$\alpha = 0,0096$$

La formule de vidange de cette source pour cette année est donc :

$$Q_t = 0,167\ e^{-0,0096t}$$

et le volume d'eau emmagasiné est de :

$$W = 1,5 \cdot 10^6 \text{ m3}$$

En effet, on trouve que la valeur $\alpha = 0,00858$. A partir de cette valeur avec un débit moyen de 233 l/s on a une capacité d'emmagasinement d'environ $2,5 \cdot 10^6$ m3 au début de la période de tarissement.

La formule de vidange de la source serait donc :

$$Q_t = 0,19\ e^{-0,00858t}$$

c) Source Neydab n° 13.C.1

Elle est située au N.W. de la région (65 km) et au fond du défilé de Tang-é-Idj. Elle sort toujours des calcaires Djahrom et est comparable avec les autres sources. La cote de l'émergence est de 1550 m ; le débit de cette source varie entre 20 et 380 l/s.
La droite du tarissement de cette source permet de déterminer les valeurs suivantes :

1) En 1972 du 1er septembre au 31 janvier (153 jours) le débit est passé de 141 à 84 l/s (fig. VII-12).
d'où :

$$\alpha = 0,0033$$

La formule de tarissement de cette source pour cette année est donc :

$$Q_t = 0,141\ e^{-0,0033t}$$

et le volume d'eau emmagasiné est de :

$$W = 3,7 \cdot 10^6 \text{ m3}$$

2) En 1973, pendant 191 jours, le débit est passé de 90 à 48 l/s, d'où :

$$\alpha = 0{,}003$$

La formule de tarissement pour cette année est donc :

$$Q_t = 0{,}092\ e^{-0{,}003t}$$

et la capacité d'emmagasinement est de :

$$W = 2{,}5 \cdot 10^6 \text{ m3}$$

Le coefficient de tarissement de la source est de 0,00315 et la capacité d'emmagasinement est de $3 \cdot 10^6$ m3 au début de la période du tarissement.

d) Source de Bondarreh n° 13.D.1

Cette source est située près de celle de Neydab. Les caractéristiques des calcaires y sont très comparables. La cote de l'émergence est de 1650 m ; le débit varie entre 60 et 165 l/s.

La droite du tarissement de cette source donne les valeurs suivantes :

1) En 1972 du 22 juin au 31 septembre (101 jours), le débit est passé de 128 à 121 l/s (fig. VII-13),

d'où :

$$\alpha = 0{,}0005$$

La formule de vidange de cette source pour cette année est donc :

$$Q_t = 0{,}128\ e^{-0{,}0005t}$$

et le volume d'eau emmagasiné est de :

$$W = 22 \cdot 10^6 \text{ m3}$$

2) En 1973 pendant 157 jours, le débit est passé de 131 à 80 l/s

d'où :

$$\alpha = 0{,}0032$$

La formule de tarissement de la source pour cette année est donc :

$$Q_t = 0{,}131\ e^{-0{,}0032t}$$

et la capacité d'emmagasinement est de :

$$W = 3{,}5 \cdot 10^6 \text{ m3}$$

On peut donc dire que le coefficient de tarissement de cette source est de 0,0018 et la capacité d'emmagasinement est de $6 \cdot 10^6$ m3 au début de la période du tarissement.

VII-10-2- Formule de G. Tison

On peut essayer d'appliquer à nos sources la formule de Tison qui est valable pour un milieu à écoulement turbulent.

La formule de Tison admet que les débits décroissent en fonction du temps comme l'inverse de leur racine carrée :

$$Q_t = \frac{Q_o}{(1+\alpha t)^2}$$

$$\sqrt{Q_t} = \frac{\sqrt{Q_o}}{1 + \alpha t}$$

La capacité d'emmagasinement à l'instant t_o est :

$$W_o = \frac{Q_o}{\alpha} \cdot 86400$$

et à l'instant t est :

$$W_t = \frac{Q_o}{1 + \alpha t} \cdot 86400$$

Pour la représentation graphique nous portons sur un diagramme arithmétique, en ordonnées l'inverse de la racine carrée des débits et en abscisse les temps en jours.

a) Source Ghomp é Atachkadeh n° 10.C.8

La droite de tarissement de cette source à partir de la méthode de Tison donne les valeurs suivantes :

1) En 1972, pendant 153 jours le débit est passé de 287 à 169 l/s (fig. VII-14).

d'où :

$$\alpha = 0{,}0019$$

$$W_o = 13 \cdot 10^6 \text{ m3}$$

2) En 1973, pendant 185 jours le débit est passé de 188 à 96 l/s

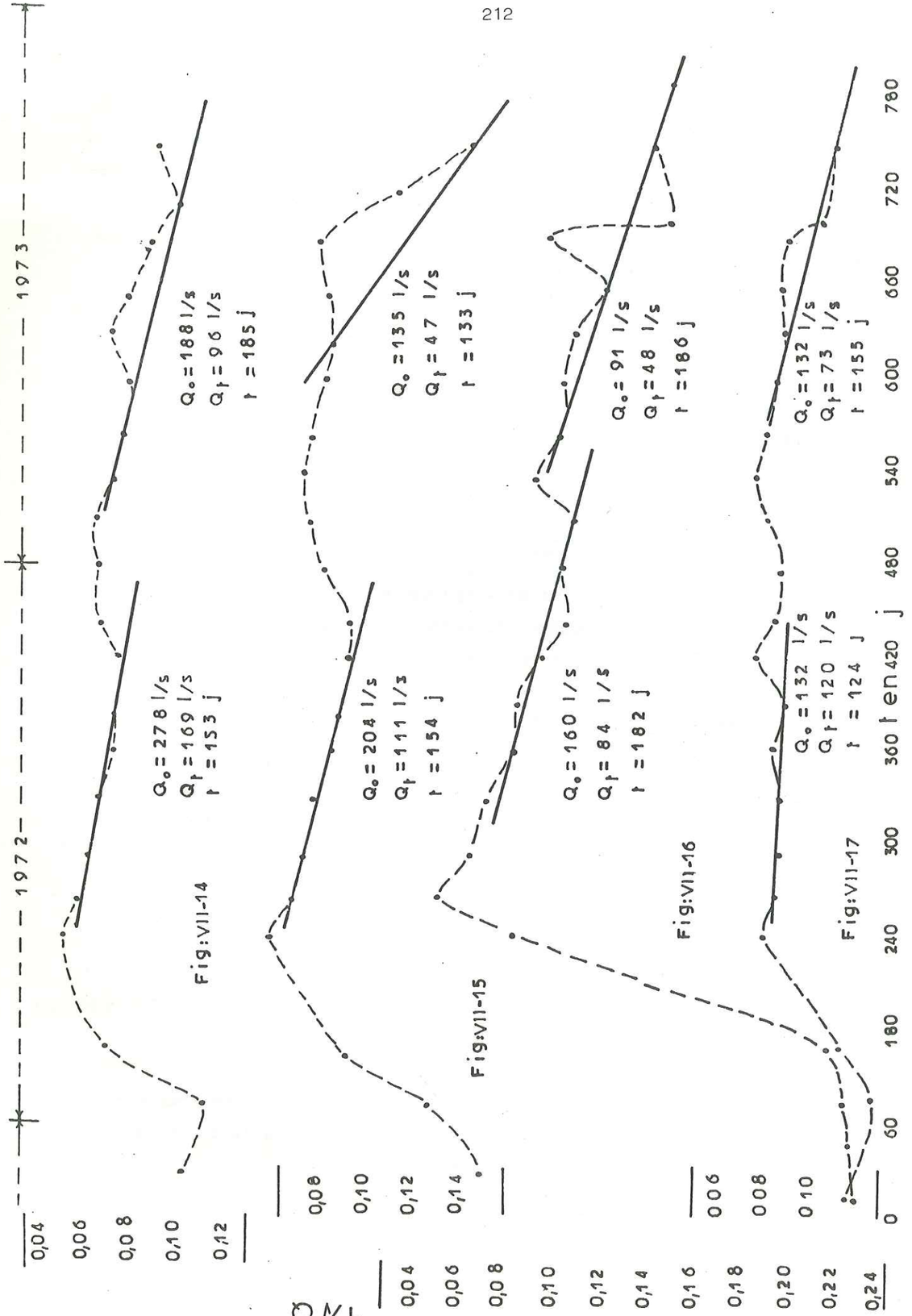
d'où :

$$\alpha = 0{,}0021$$

$$W_o = 7{,}7 \cdot 10^6 \text{ m3}$$

On peut donc dire que la valeur de α pour cette source est de 0,002 avec un débit moyen de 237 l/s. La formule de la droite de tarissement de cette source est donc :

$$Q_t = \frac{0{,}237}{(1 + 0{,}002\,t)^2}$$



b) Source Tchéhél Tchechmeh n° 10.C.9

La droite représentative du tarissement de cette source donne les valeurs correspondantes :

1) En 1972, pendant 154 jours le débit est passé de 204 à 111 l/s (fig. VII-15).

d'où :

$$\alpha = 0{,}0023$$

et $W_o = 7{,}7 \cdot 10^6$ m3

2) En 1973, pendant 133 jours le débit est passé de 135 à 47 l/s d'où :

$$\alpha = 0{,}0052$$

et

$W_o = 2{,}2 \cdot 10^6$ m3

La formule de vidange de cette source pourrait être :

$$Q_t = \frac{0{,}17}{(1 + 0{,}00375t)^2}$$

c) Source Neydab n° 13.C.1

La droite de tarissement grâce à la méthode de Tison donne les facteurs correspondants :

1) En 1972 pendant 182 jours le débit est passé de 160 à 84 l/s (fig. VII-16). d'où on peut donc tirer :

$$\alpha = 0{,}002$$

et

$$W_o = 7 \cdot 10^6 \text{ m3}$$

2) En 1973, pendant 186 jours le débit est passé de 91 à 48 l/s. d'où on a donc :

$$\alpha = 0{,}0019$$

et

$$W_o = 4 \cdot 10^6 \text{ m3}$$

Enfin, on peut dire que la formule de vidange de la source est :

$$Q_t = \frac{0{,}125}{(1 + 0{,}00195t)^2}$$

d) Source Bondarreh n° 13.D.1

La droite représentative du tarissement permet de déterminer les valeurs correspondantes :

1) En 1972, le débit est passé de 132 à 120 l/s en 124 jours (fig. VII-17). D'où on peut déterminer

$$\alpha = 0{,}0003$$

et

$$W_o = 38 \cdot 10^6 \text{ m3}$$

2) En 1973, le débit est passé de 132 à 73 l/s en 155 jours.

d'où $\alpha = 0{,}0022$

et $W_o = 5 \cdot 10^6$ m3

Dans ce cas, on peut déterminer la formule de tarissement de cette source qui est :

$$Q_t = \frac{0{,}132}{(1 + 0{,}00125t)^2}$$

VII-11- CONCLUSIONS GENERALES DU CHAPITRE

Les résultats obtenus sont reportés sur le tableau VII-18 pour les années 1972 et 1973.

On note que pour deux sources, telles que Chompé Atachkadeh et Neydab, le coefficient de tarissement α obtenu par la formule de Maillet reste très constant au cours des deux années et le volume des réserves dynamiques est également constant.

Mais par contre, les deux autres sources, telles que Tchehel-Tchechmeh et Bondarreh indiquent des fluctuations importantes d'une année à l'autre. Ces fluctuations ne s'effectuent pas dans le même sens pour toutes les sources. Le phénomène ne doit pas être entièrement lié à la pluviométrie mais paraît provenir de conditions géologiques différentes et en particulier du voisinage des fractures. Malgré tout, les volumes des réserves emmagasinés sont comparables d'une source à l'autre, sauf pour la source de Bondarreh qui a des réserves dynamiques plus importantes.

Ces réserves traduisent l'importance du volume des vides dans les massifs calcaires de Djahrom.

On constate, en outre, que les valeurs des réserves calculées par la méthode de Maillet sont approximativement égales à la moitié de celles calculées par la formule de G. Tison. Ce fait est à imputer à ce que malgré leurs caractères fracturés et faillés, les calcaires de la formation Djahrom ne sont pas le siège d'un écoulement véritablement turbulent, mais se comportent plutôt dans leur ensemble comme un milieu poreux.

o o

o

Tableau VII-18 : Comparaison des valeurs des coefficients de tarissement et des volumes des réserves des sources.

Année	1972				1973			
Méthode	Maillet		Tison		Maillet		Tison	
Source	α	W	α	W_o	α	W	α	W_o
Ghompé Atach Kadeh 10.C.8	0,0033	6,5	0,0019	13	0,0035	4	0,0021	7,7
Tchéhel Tchechmeh 10.C.9	0,00757	3,4	0,0023	7,7	0,0096	1,5	0,0052	2,2
Neydab 13.C.1	0,0033	3,7	0,002	7	0,003	2,5	0,0019	4
Bondarréh 13.D.1	0,0005	22	0,0003	38	0,0032	3,5	0,0022	5

W et W_o en 10^6 m3

CHAPITRE VIII

ETUDE DES CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

- Introduction
- Informations utilisées
- Classification des eaux adoptées
- Conclusion

CHAPITRE VIII

ETUDE DES CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

VIII-1- INTRODUCTION

Pendant nos études dans la région de Fassa, nous avons prélevé 1537 échantillons d'eau de tous les points d'eau. La conductivité et la teneur en chlorures ont été déterminées systématiquement sur tous les points d'eau. Les analyses chimiques complètes n'ont intéressé qu'un certain nombre de puits et de forages répartis dans toute la région et l'on dispose d'environ 643 analyses.

Les échantillons prélevés ont été analysés au laboratoire du "Service Départemental des eaux du Fars" à Chiraz.

Les prélèvements ont été effectués dans les meilleures conditions possibles : sur des pompages marchant depuis un temps suffisant, dans les puits mères de ghanats ayant un écoulement, dans les résurgences des ghanats et aux sources en bordure des plaines. La campagne de prélèvement d'échantillons à servi pour l'établissement des cartes chimiques des eaux souterraines.

VIII-2- PRESENTATION-TRAITEMENT ET QUALITE DES ANALYSES

La totalité des informations disponibles a été utilisée. 643 analyses chimiques ont été répertoriées et regroupées dans un recueil.

Toutes les analyses ont fait l'objet d'un calcul de qualité de la balance ionique et, seules les analyses dont le rapport de la différence entre la somme des cations (en meq/l) et celle des anions (en meq/l) sur la somme des anions (en meq/l) est inférieure à 5 % ont été prises en compte par la suite, soit environ 500 analyses.

L'ensemble des analyses disponibles ayant été utilisées, un contrôle d'homogénéité a été fait.

Lorsque la conductivité n'était pas suivie de la température de référence, on a considéré que la mesure de la conductivité était effectuée à 25°C. Le résidu sec a été mesuré à la température constante de 180°C.

Ainsi sur le recueil figurent en outre :

. la somme des cations exprimée en meq/l ;

. la somme des anions exprimée en meq/l ;

. la valeur mesurée de sels dissous exprimée en mg/l ;

. la teneur en chlorure exprimée en mg/l ;

. le dHT ou dureté totale exprimé en mg/l de CO_3Ca ; ;

. le pourcentage de sodium ;

. le rapport d'absorption de sodium ou S.A.R. égal à :

$$S.A.R. = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa + rMg}{2}}}$$

. le P H.

VIII-3- INTERPRETATION HYDROGEOLOGIQUE DES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

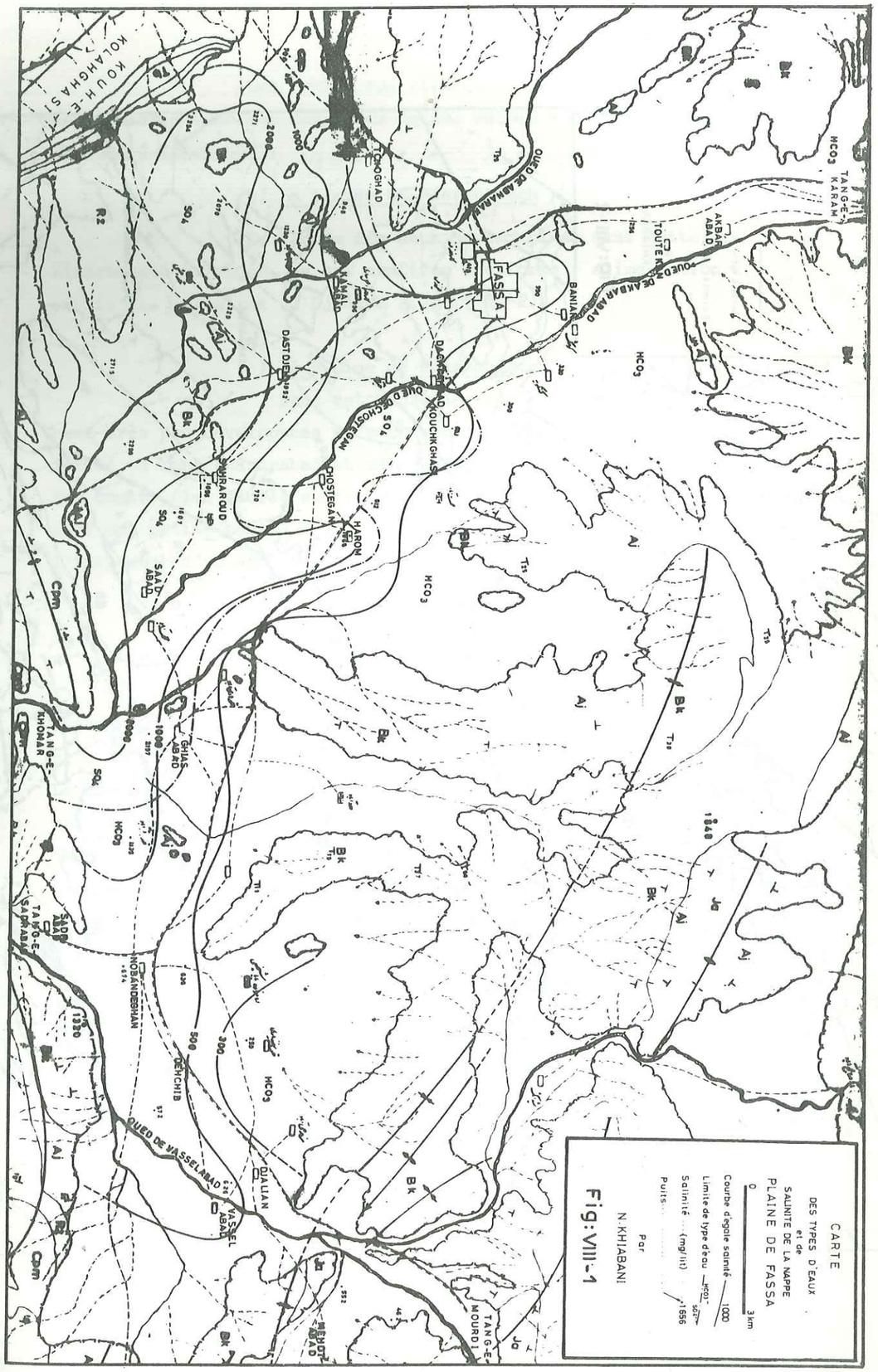
Toutes les cartes préparées, détectent les caractères généraux déjà mis en évidence dans l'étude des aquifères et de leurs conditions géologiques et géomorphologiques, des zones d'alimentation et d'évaporation et des directions d'écoulement. Nous allons donc voir ces caractères en analysant particulièrement chaque carte.

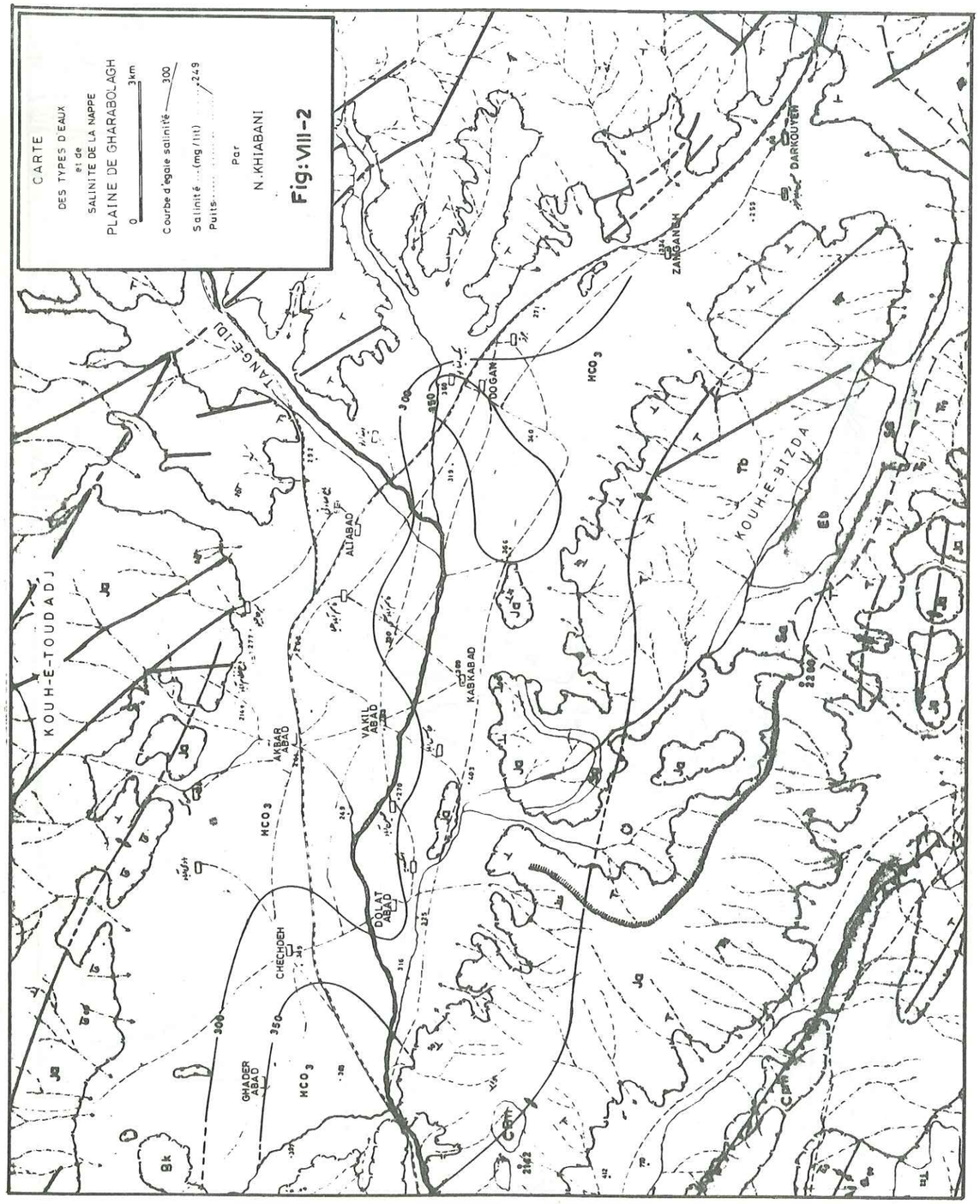
VIII-3-1- Cartes des types d'eaux ou des faciès chimiques

Les "eaux douces" sont du type bicarbonaté calcique ; elles caractérisent les zones d'alimentation et les zones directement influencées par les eaux provenant de ces zones d'alimentation.

a) La plaine de Fassa

Selon la carte hydrogéochimique (fig. VIII-1) les eaux douces du type bicarbonaté calcique sont moins développées que celles de type sulfaté . Ce faciès se trouve sur les piémonts orientaux et particulièrement à l'entrée de la plaine au Nord, où il y a le défilé de Tang-e-Karam et la principale zone d'alimentation de la plaine.





Les faciès sulfatés qui occupent la plus grande partie de la plaine sont dûs aux dômes de sel situés à l'Ouest dans la montagne de Kouh-é-Kolahghazi.

b) La plaine de Gharabolagh

Le faciès des eaux souterraines dans cette plaine est bicarbonaté calcique, ce qui confirme une forte alimentation à partir des calcaires de Djahrom (fig. VIII-2).

c) La plaine de Gharabeigoun

Dans cette plaine, les eaux bicarbonatées calciques sont très peu développées et correspondent aux secteurs alimentés par le défilé de Tang-é-Sadrabad et aussi par les conglomérats de Bakhtiari. Par contre, les faciès sulfatés s'étendent sur la plupart de la plaine sauf une petite partie à l'Ouest où existe un faciès chloruré dû à l'influence d'un dôme de sel situé au voisinage (fig. VIII-3).

VIII-3-2- Carte de salinité (RS)

Cette carte est établie à partir des résultats des déterminations du résidu sec (R.S.) par évaporation. Elle est très précise du fait du très grand nombre d'analyses effectuées (environ 500). La concentration en sel dissous augmente de l'amont vers l'aval. Les eaux très douces (moins de 200 mg/l) sont absentes dans notre région.

Il faut ajouter que le résidu sec est une donnée sur la minéralisation totale d'une eau. Suivant leur minéralisation globale "V. Vernadski" subdivise toutes les eaux naturelles en quatre grands classes :

A - Eaux douces à minéralisation globale inférieure à 1g/l ;

B - Eaux faiblement salées et saumâtres à minéralisation globale de 1 à 10 g/l ;

C - Eaux salées à minéralisation globale de 10 à 50 g/l ;

D - Saumures (eaux très minéralisées) à minéralisation globale de 50 à 300 g/l

a) Dans la plaine de Fassa, les valeurs de salinité varient entre 300 et 2000 mg/l respectivement de l'amont vers l'aval, ce qui montre une alimentation certaine par l'amont et également aux extrémités Ouest et S.E. de la plaine (fig. VIII-1).

b) Dans la plaine de Gharabeigoun, la salinité augmente encore vers l'aval. Elle atteint 3000 mg/l et même plus (fig. VIII-3). L'accroissement de la salinité de l'amont vers l'aval, dans ces deux plaines, résulte de plusieurs facteurs convergents :

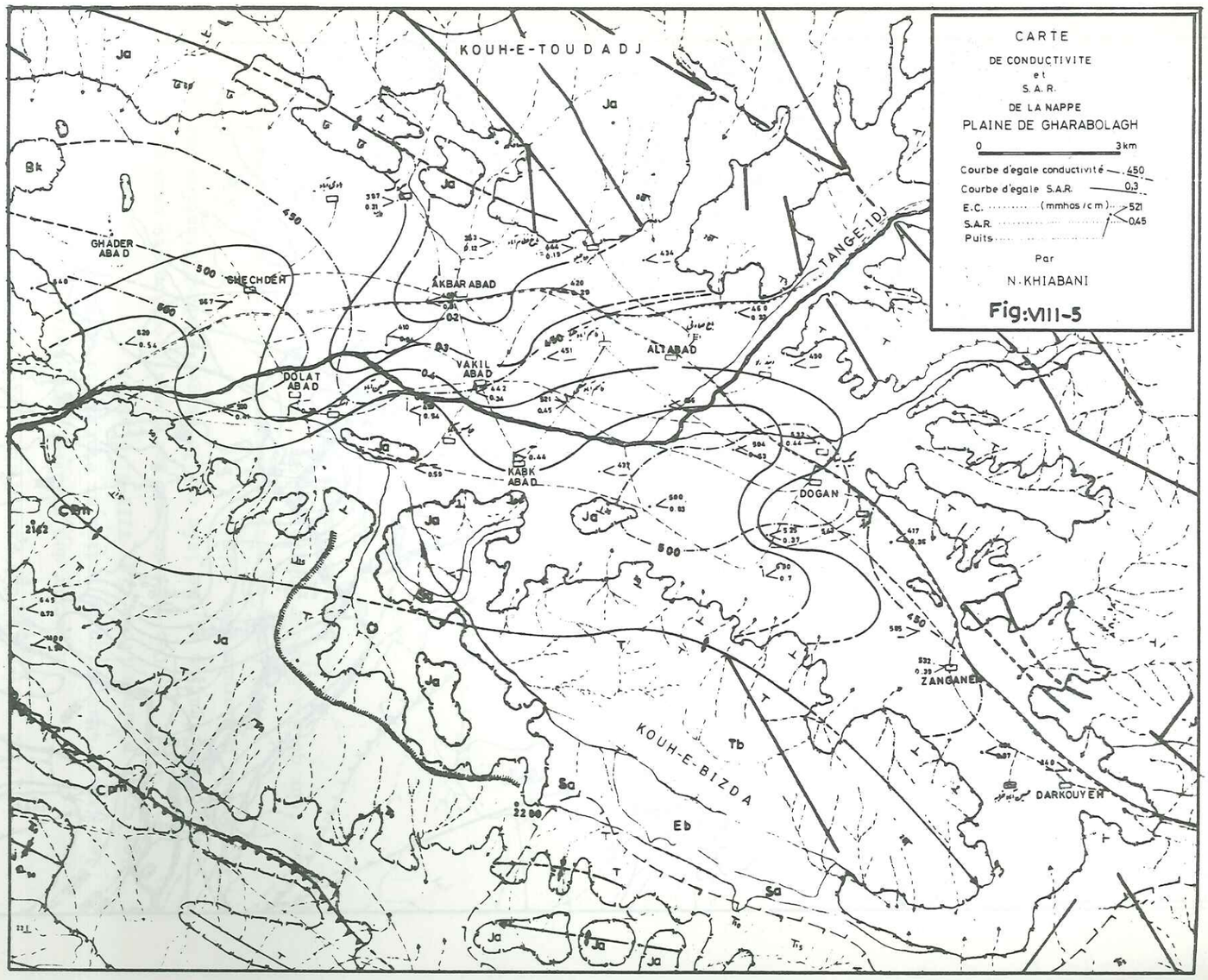
- Salinité progressive de l'amont vers l'aval "zonalité" ;
- passage des zones d'alimentation vers les zones évaporations ;
- Diminution de la pente topographique et de l'altitude, ce qui permet un rapprochement des eaux souterraines près de la surface ;
- lithologie plus fine à l'aval ; les surfaces de contact eau-aquifère sont donc plus grandes ;
- salinisation géologique des terrains de l'amont vers l'aval.

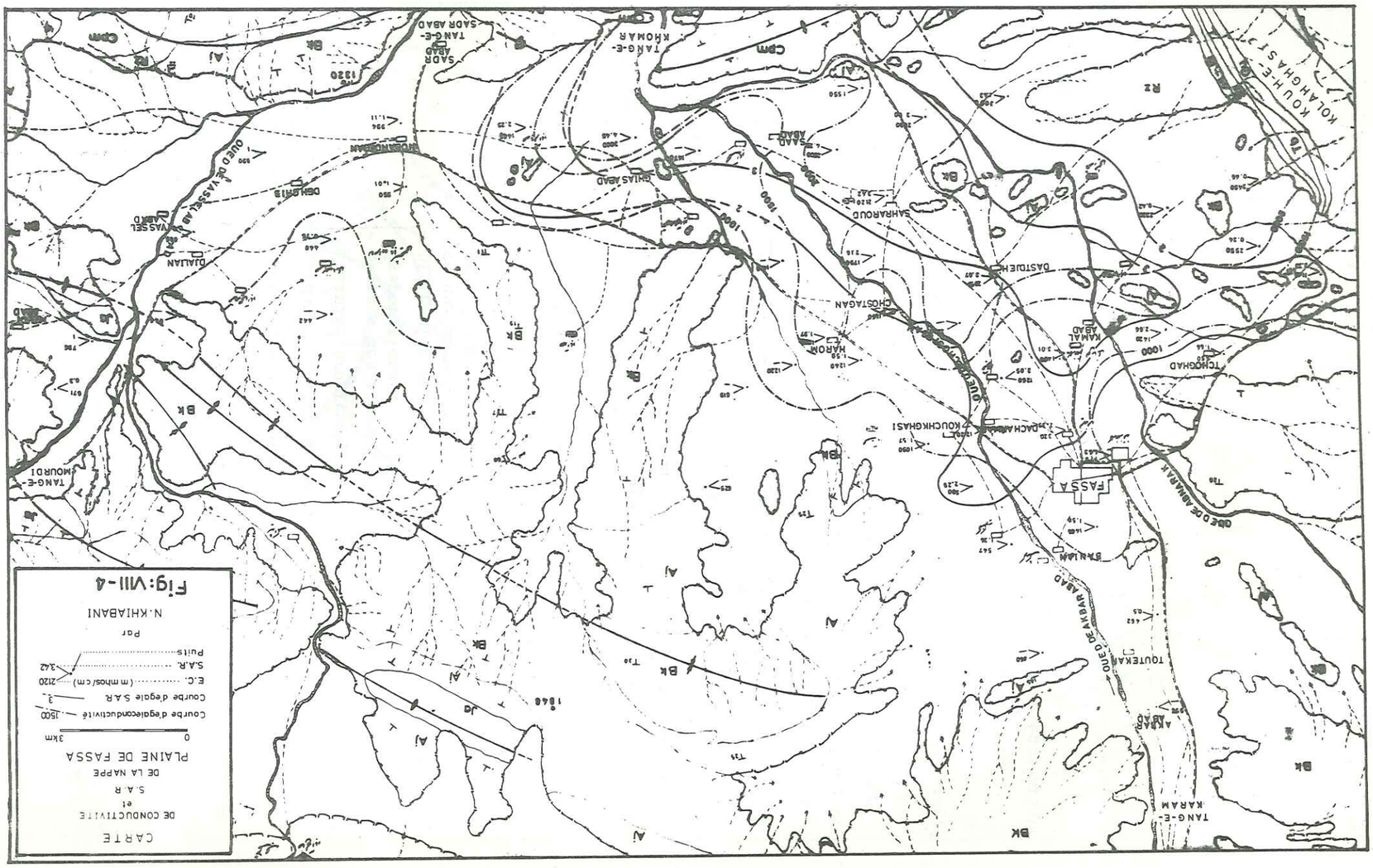
c) Dans la plaine de Gharabolagh, les valeurs de salinité sont d'environ 300 mg/l, ce qui montre une alimentation par des calcaires (fig. VIII-2).

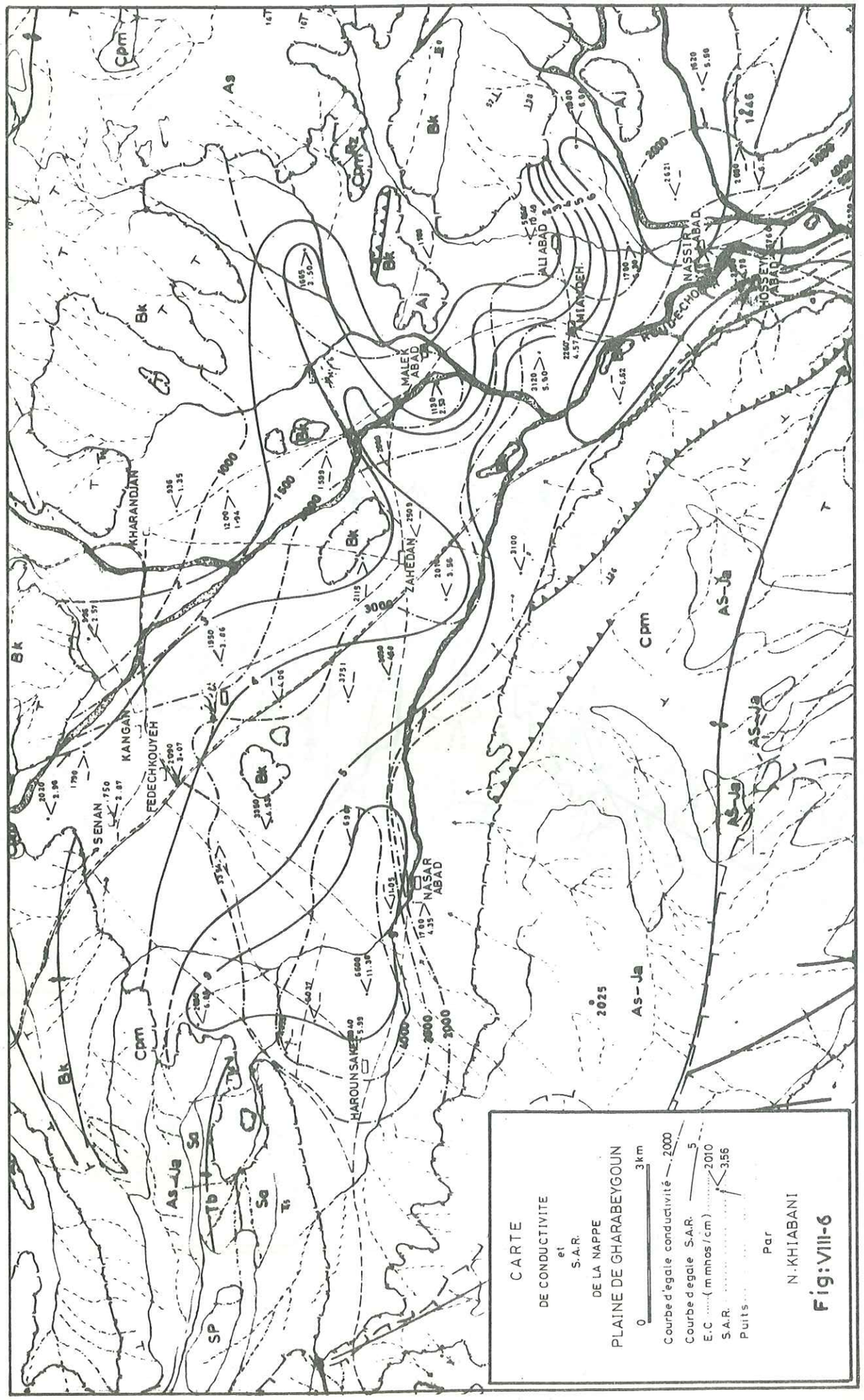
VIII-3-3- Carte des conductivités des eaux souterraines

A partir des mesures de la conductivité des eaux de la nappe, nous avons dressé cette carte, qui est en parfaite corrélation avec la carte de salinité. Les zones de faible conductivité correspondent aux zones les moins chargées de la carte de salinité. Les courbes 500 et 1000 μ mhos/cm se superposent aux courbes de la carte précédente et localisent les zones d'alimentation (voir les fig. VIII-4, 5 et 6).

Les cartes de conductivité nous permettent donc de préciser les résultats déjà obtenus par l'étude des cartes isopiézométrique (écoulement) et de la salinité de la nappe.


CARTE
DE CONDUCTIVITE
et
S.A.R.
DE LA NAPPE
PLAINE DE GHARABOLAGH
0 3km
Courbe d'egale conductivité 450
Courbe d'egale S.A.R. 0,3
E.C. ..... (mmhos/cm) 521
S.A.R. 045
Puits
Par
N.KHIABANI
Fig:VIII-5
KOUH-E-TOUDADJ
TANGE-IDJ
GHADER ABAD
SHECHDEH
AKBAR ABAD
VAKIL ABAD
ALTABAD
DOLAT ABAD
KABK ABAD
DOGAN
ZANGANEH
DARKOUYEH
KOUH-E-BIZDA
Ja
Bk
Cpm
Tb
Eb
Sa


CARTE
DE CONDUCTIVITE
et
S.A.R
DE LA NAPPE
PLAINE DE FASSA
0 3km
Courbe d'egaleconductivité 1500
Courbe d'egale S.A.R 1,5
E.C. ..... (mmhos/cm) 2120
S.A.R. 3,42
Puits
Par
N.KHIABANI
Fig:VII-4
FASSA
DACHAB
KOUCHKGHASI
TOUTEKAM
TCHOGHAD
KAHAL
HAROM
CHOSTAGAN
DASTOUEH
SAHRAOUD
GHILAS ABAD
SADR ABAD
TANG-E-KHOMAR
DJALIAN
TANG-E-MOURDI
TANG-E-KARAM
KOUH-E-KOLAKHGHASTI
Bk
Cpm
Rz



VIII-3-4- Carte des taux d'absorption de Sodium (S.A.R.)

A partir des résultats obtenus, nous avons pu calculer les taux d'absorption de sodium et établir la carte de S.A.R. pour les trois plaines (voir fig. VIII-4, 5 et 6).

Ces taux donnent une classification des eaux au point de vue d'irrigation et une idée sur le danger d'alcalinisation des sols, dont nous parlerons plus loin.

Comme on peut le constater sur les cartes, les écarts des taux du S.A.R. pour chaque plaine sont les suivantes :

- pour la plaine de Fassa entre 1 et 3
- pour la plaine de Gharabolagh entre 0,2 et 0,5
- pour la plaine de Gharabeigoun entre 6 et 11

VIII-3-5- Carte des teneurs en chlore

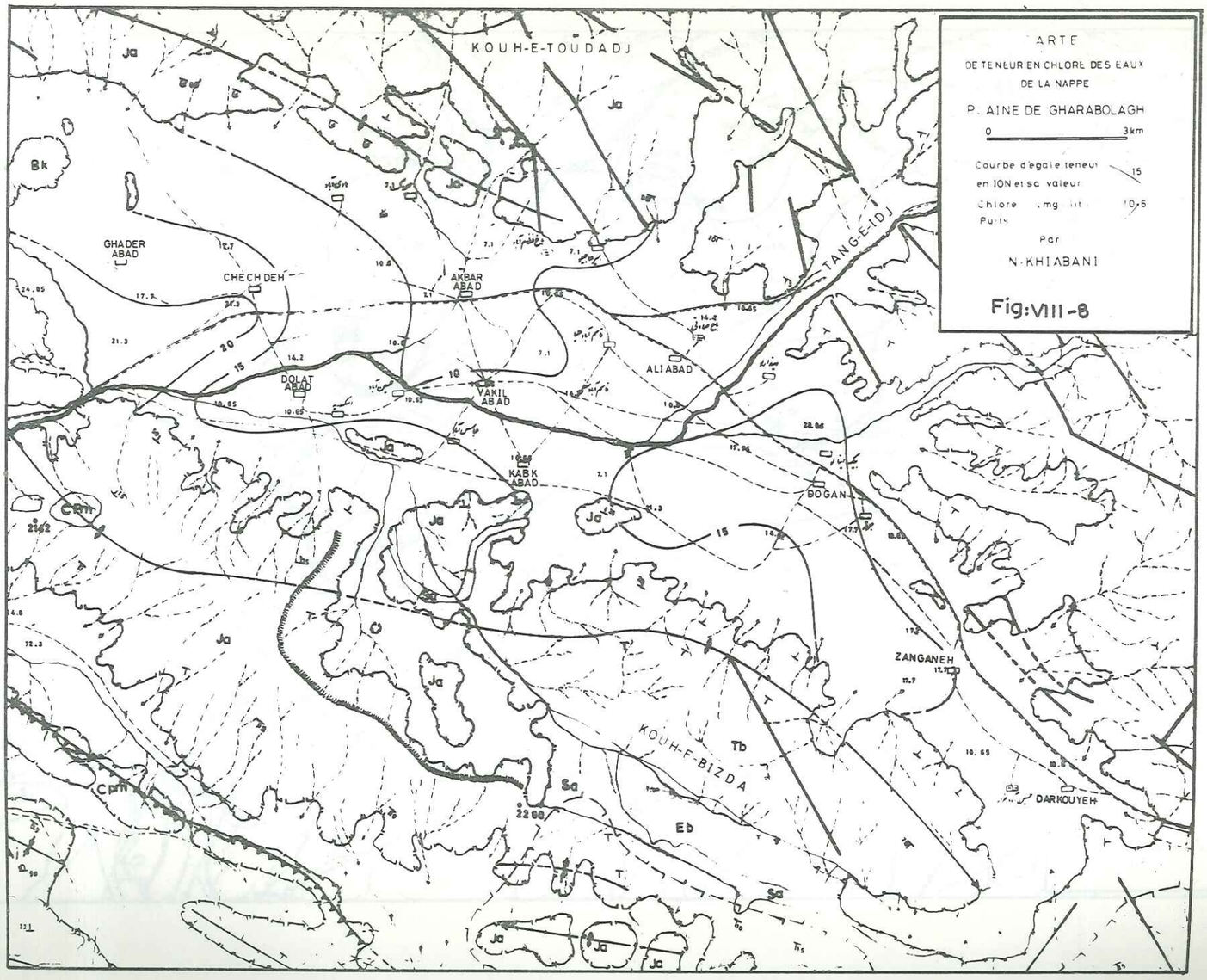
Elle se superpose aisément aux cartes précédentes et est en accord avec les constatations qui précèdent.

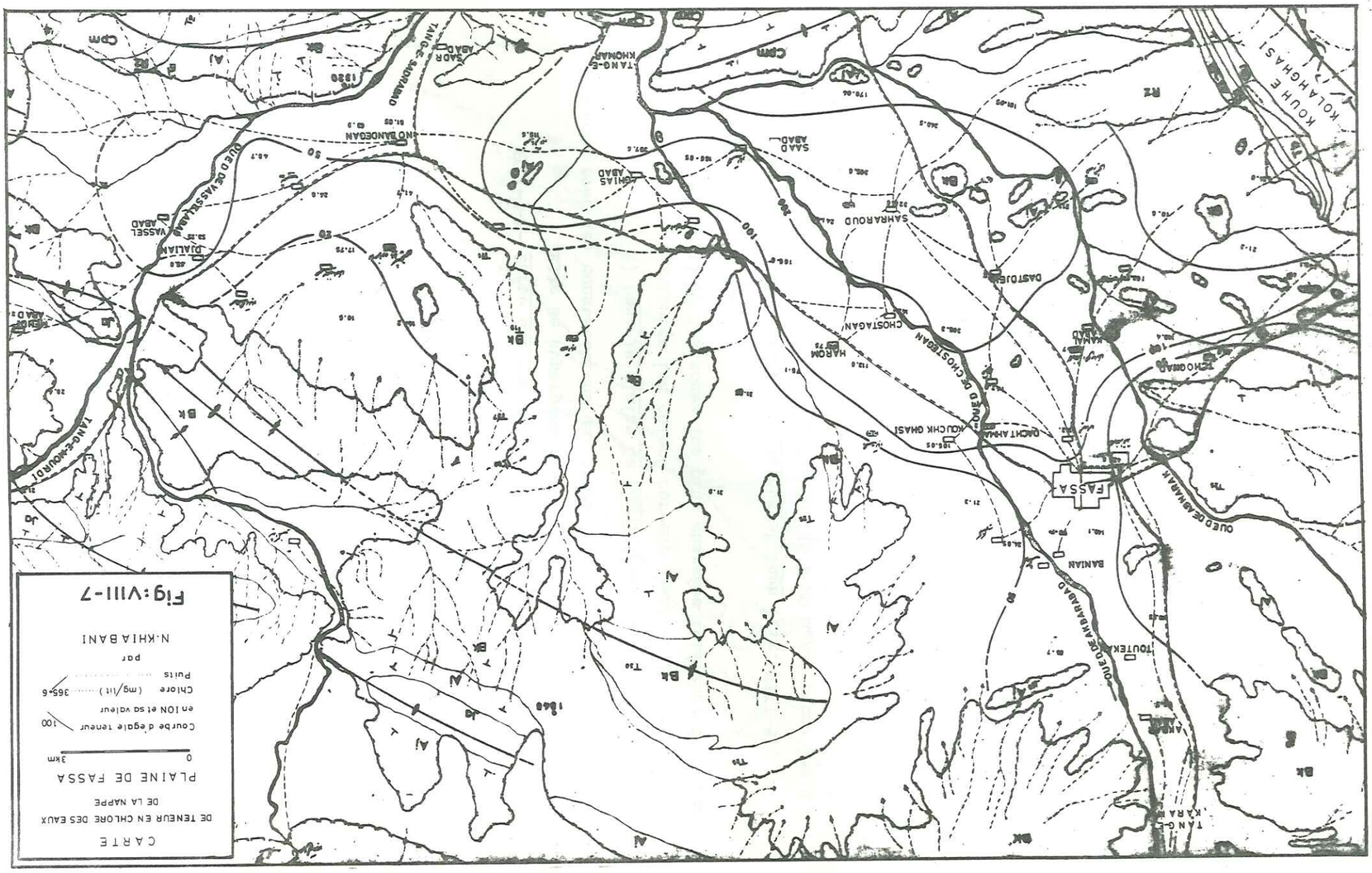
a) Dans la plaine de Fassa (fig. VIII-7), les zones de faibles concentrations en ion chlore correspondent au Nord—Est et au S.E. (20 à 100 mg/l) et les zones les plus chargées intéressent l'Ouest de la plaine ($\geqslant$ 200 mg/l).

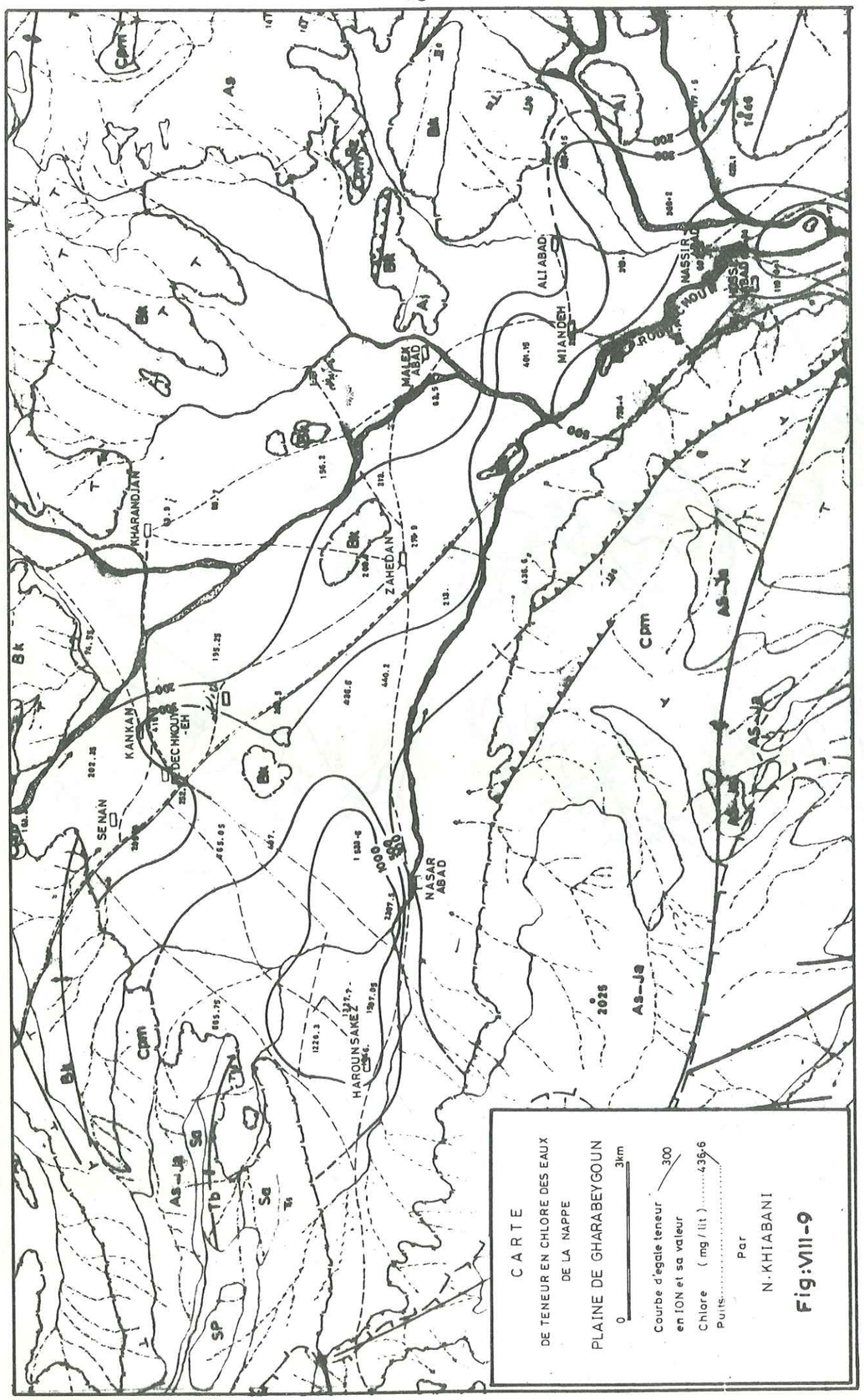
b) Dans la plaine de Gharabolagh (fig. VIII-8), la teneur en ion chlore reste toujours faible (15 à 20 mg/l) comme les autres substances.

c) Dans la plaine de Gharabeigoun (fig. VIII-9), à cause du lessivage des terrains salifères et gypseux, particulièrement à l'extrémité ouest au village de Haroun Sakez, la teneur en ion chlore augmente énormément et atteint 1000 mg/l.

De façon générale, la teneur en ion chlore dans cette plaine par rapport à celles de deux autres plaines est sensiblement supérieure.


CARTE
DE TENEUR EN CHLORE DES EAUX
DE LA NAPPE
PLAINE DE GHARABOLAGH
0
3km
Courbe d'égale teneur en ION et sa valeur
15
Chlore (mg/lit)
Puits
10.6
Par
N.KHIABANI
Fig:VIII-8
KOUH-E-TOUDADJ
TANG-E-IDJ
GHADER ABAD
CHECHDEH
AKBAR ABAD
ALIABAD
DOLAT ABAD
VAKIL ABAD
KABK ABAD
DOGAN
ZANGANEH
KOUH-E-BIZDA
DARKOUYEH
Ja
Bk
Cpm
Tb
Sa
Eb


CARTE
DE TENEUR EN CHLORE DES EAUX
DE LA NAPPE
PLAINE DE FASSA
0
3km
Courbe d'égale teneur
en ION et sa valeur
100
Chlore (mg/lit)
Puits
365-6
par
N.KHIABANI
Fig:VIII-7
KOUHE KOLAGHASI
TANG-E-KHONAR
SADR ABAD
TANG-E-SADRABAD
OUED DE VASSEL ABAD
DJALIAN
TANG-E-BOURDJ
SAHARROUD
DASTDJERD
CHOSTAGAN
HAROM
OUED DE CHOSTAGAN
DACHT AHMAD KOUCHK GHASI
FASSA
TCHOMAK
OUED DE ABANAK
BANIAN
TOUTEKA
OUED DE ABARABAD
TANG-E-KARAN
Al
Bk
Cpm



VIII-4- ANALYSES CHIMIQUES ET REPRESENTATION GRAPHIQUE DES ANALYSES

Les principales données de l'analyse chimique des eaux souterraines sont :

cations : Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, K^{+}

anions : $Co3^{--}$, $HCO3^{-}$, So_4^{--}, Cl^{-}

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

Nous allons donc classer les eaux qui se trouvent dans les trois plaines de la région étudiée d'après leurs éléments chimiques.

VIII-4-1- Les eaux bicarbonatées calciques

Les eaux de pluie chargées de Co_2 en traversant les calcaires de la formation de Djahroun et les éboulis de cette formation se chargent rapidement en bicarbonates de calcium ; par la suite, si une eau a une concentration égale ou inférieure à la solubilité normale du carbonate de chaux (300 à 490 mg), elle est normalement du type bicarbonaté calcique. Le rapport r Na/rCa est aussi inférieur à l'unité et souvent inférieur à 0,05.

Les ions Cl^{-} et So_4^{--} sont en petites quantités et le rapport rSo_4/rCl est généralement supérieur à l'unité et rarement supérieur à 2.

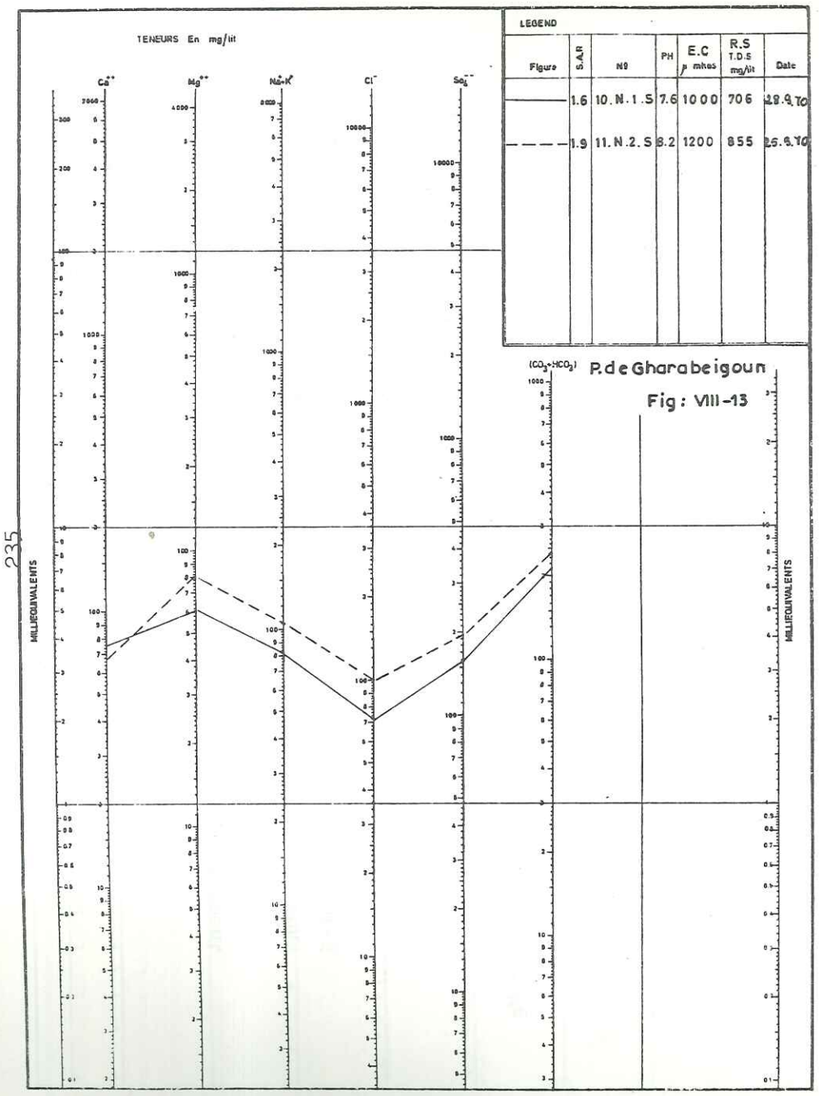
La formule de relation des ions dans les eaux de cette famille est plus ou moins constante.

Ce faciès caractérise les zones directement alimentées par les épandages des crues et les calcaires de Djahrom. La relation générale des ions de ces eaux est : (fig. VIII-10, 11, 12 et 13).

$r\,(H\,Co_3 + Co_3) > r\,So_4 > rCl$ et $rCa > r\,Mg > r\,(Na + K)$

Elles sont présentes dans toute la plaine de Gharabolagh et également au Nord de celle de Fassa.

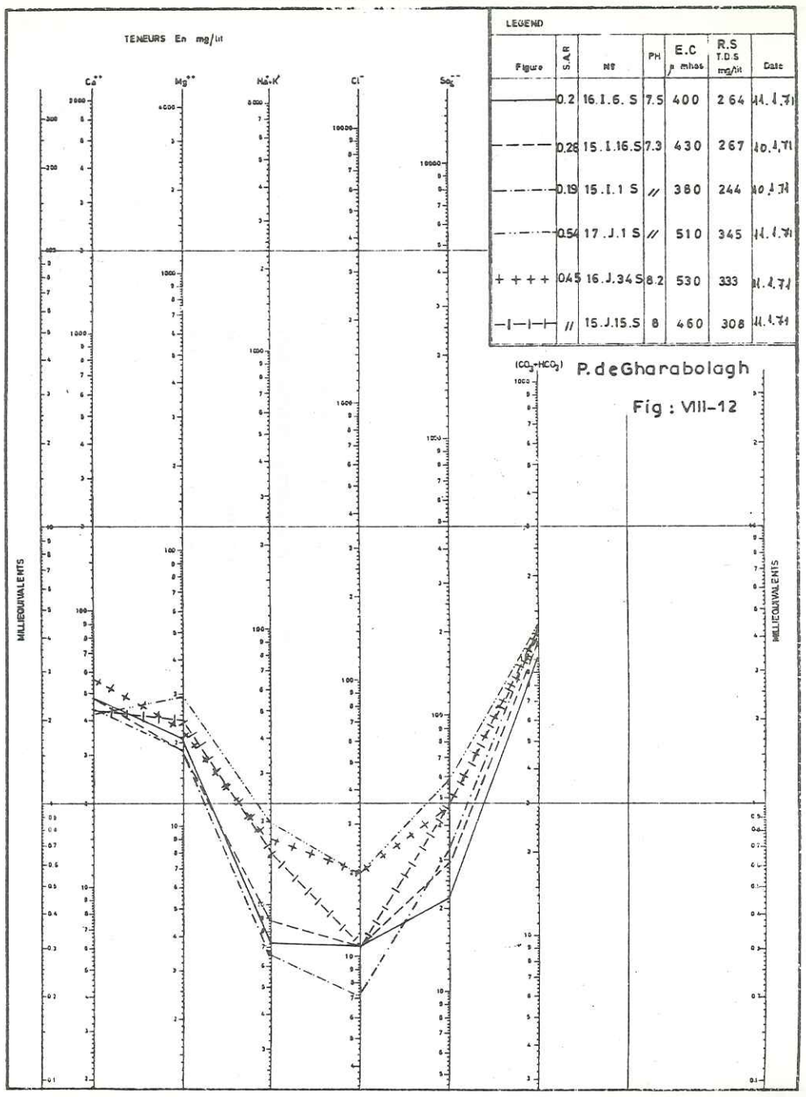
DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



P. de Gharabeigoun

Fig : VIII-13

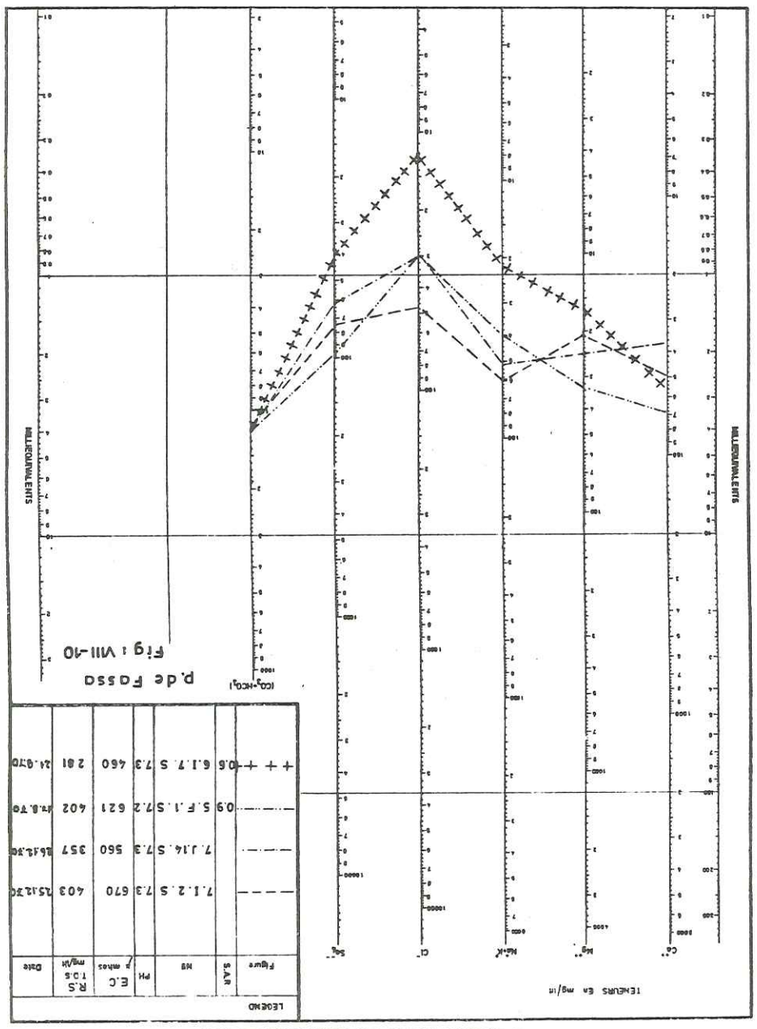
DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



P. de Gharabolagh

Fig : VIII-12

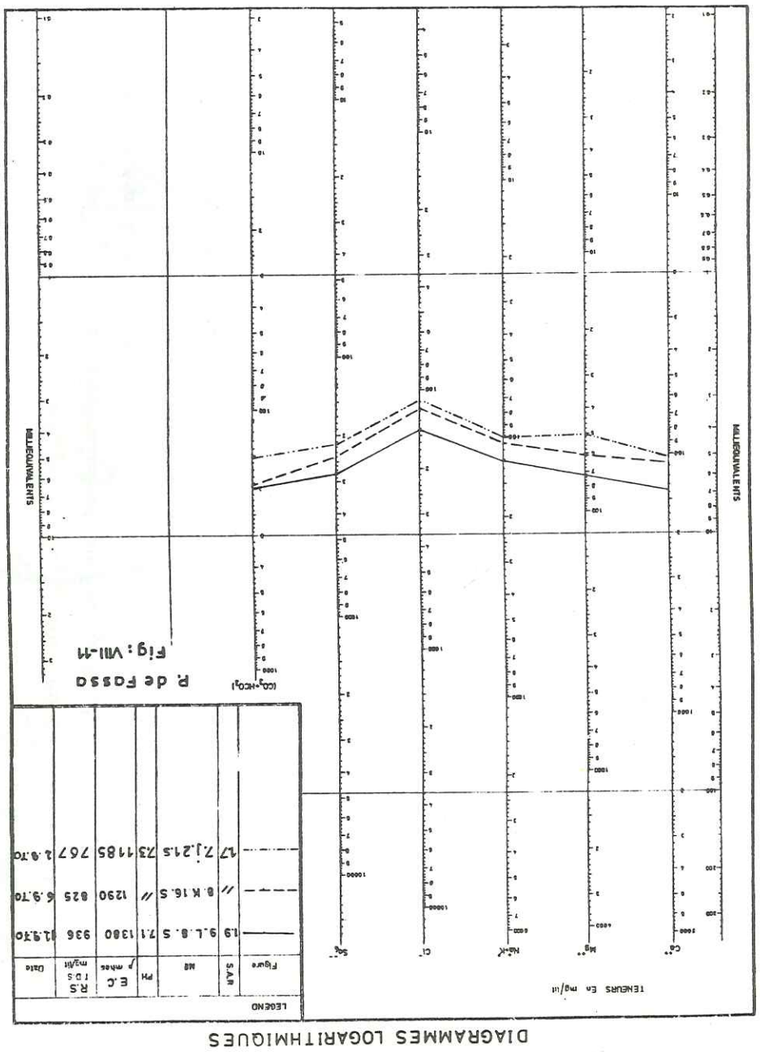
DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



P. de Fassa

Fig : VIII-10

DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



R. de Fassa

Fig : VIII-11

VIII-4-2- Les eaux bicarbonatées sodiques

Ces eaux caractérisent les zones non directement alimentées par les épandages des crues. Par suite, cette famille d'eau n'est pas très répandue dans la région étudiée. Nous l'avons trouvée dans la partie basse de la plaine de Fassa et à l'extrémité Est de celle de Gharabeigoun.

La formule de relation des ions de ces eaux est (voir fig. VIII-14):

$$r\ (H\ Co_3 + Co_3) > r\ So_4 > r\ Cl \quad \text{et} \quad r\ (Na + K) > r\ Ca \text{ ou } r\ Mg$$

VIII-4-3- Les eaux sulfatées sodiques

Généralement, ces eaux sont caractérisées par :

$$r\ So_4 > r\ HCo_3 + Co_3 \text{ ou } r\ Cl \quad \text{et} \quad r\ (Na + K) > r\ Ca \text{ ou } r\ Mg$$

Dans notre région, la relation des ions est (fig. VIII-15 et 16) :

$$r\ So_4 > r\ Cl > r\ (H\ Co_3 + Co_3) \quad \text{et} \quad r\ (Na + K) > r\ Mg > r\ Ca$$

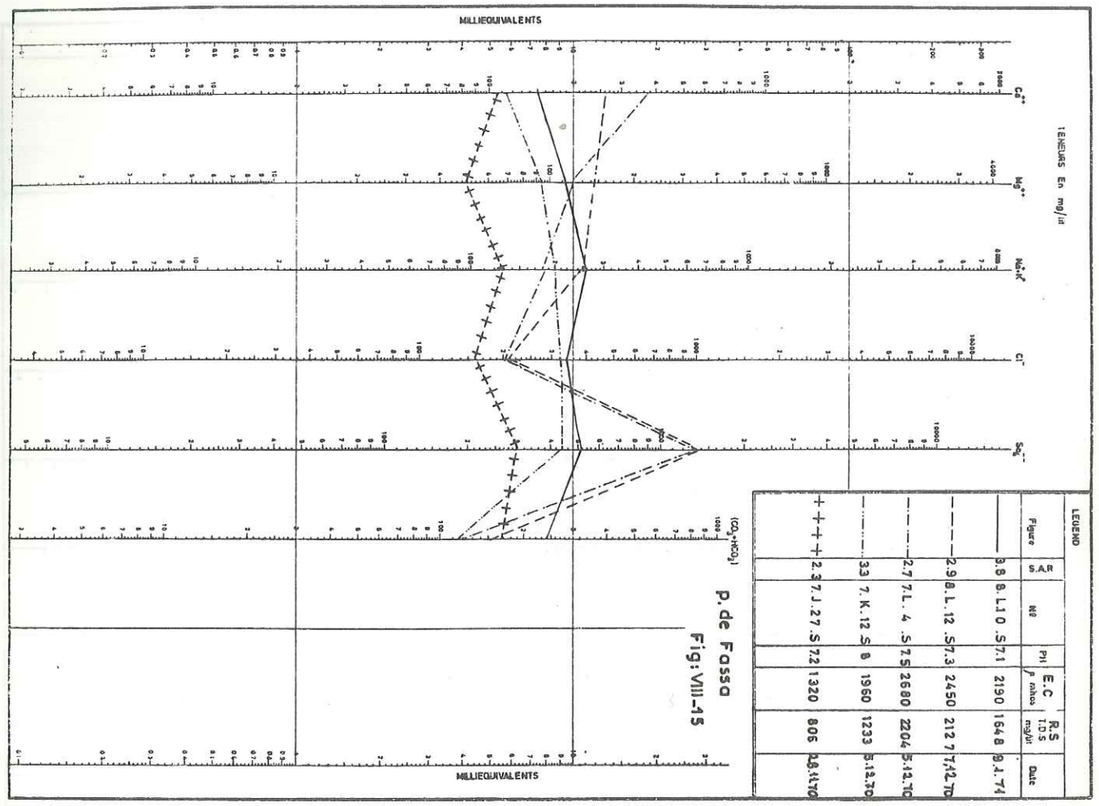
La plupart des eaux souterraines de la plaine de Fassa et celles de la plaine Gharabeigoun sont du type sulfaté sodique ce qui reflète une alimentation lointaine.

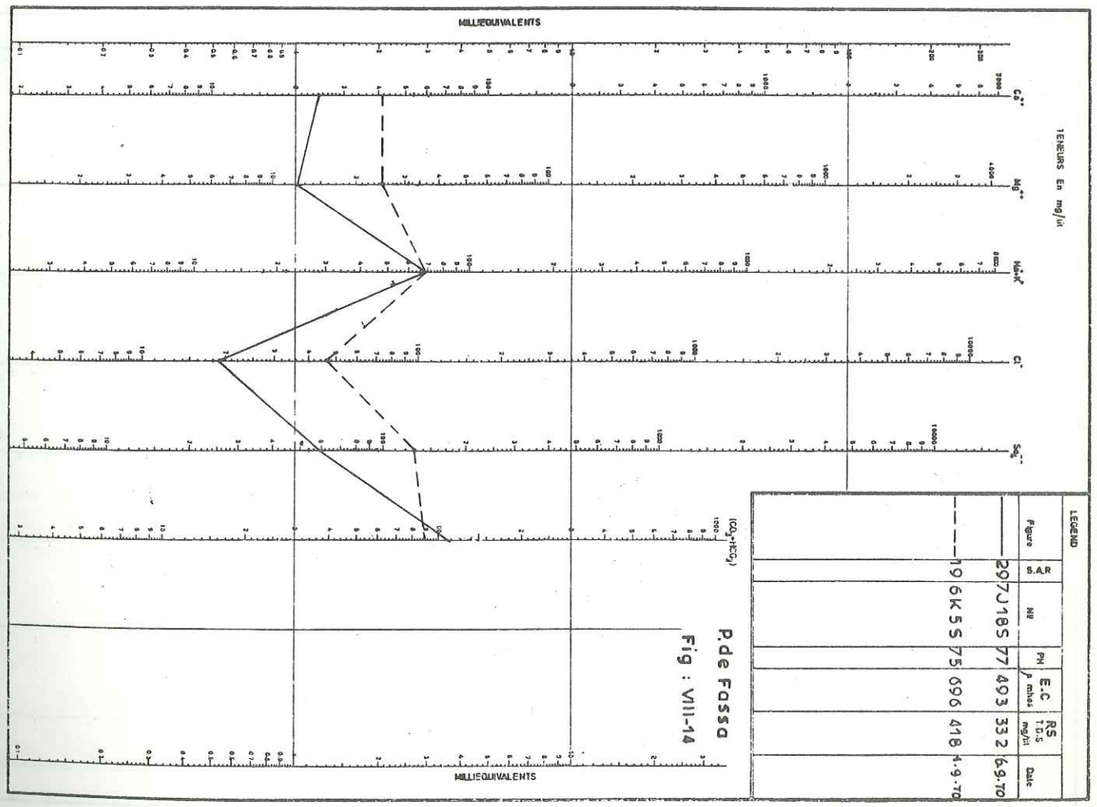
VIII-4-4- Les eaux chlorurées sodiques

La relation de faciès chimique de ces eaux est

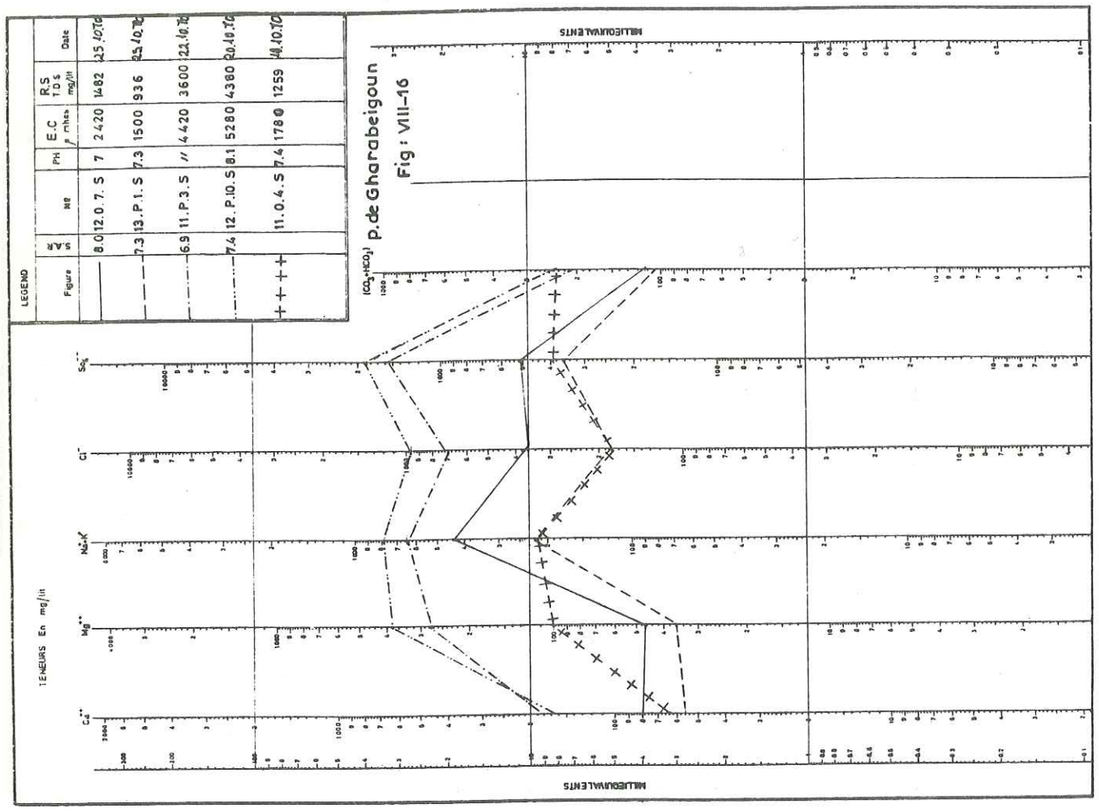
$$rCl > r\ So_4 \text{ ou } Co3 \quad \text{et} \quad r\ Na + K > r\ Mg \text{ ou } Ca$$

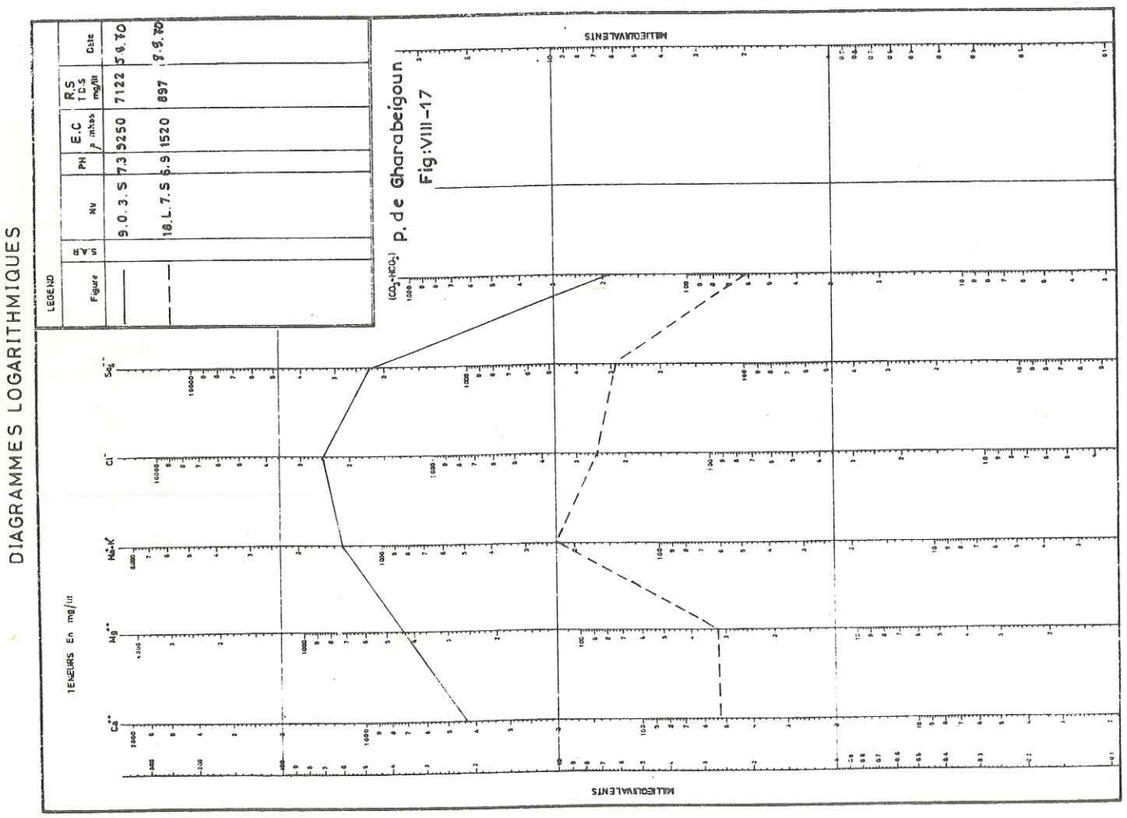
Les eaux d'après la classification de O.A. Alekine (1953), appartiennent à la classe des eaux chlorurées et au groupe des eaux sodiques. Ce faciès est localisé dans l'extrême ouest de la plaine de Gharabeigoun, ce qui confirme le lessivage du terrain salifère et du dôme de sel situé à côté (fig. VIII-17).





DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES





VIII-5- CLASSIFICATION DES EAUX D'IRRIGATION

La qualité des eaux d'irrigation est conditionnée principalement par la salinité des eaux et le danger d'alcalinisation des sols.

VIII-5-1- Classification en fonction de la salinité des eaux et du danger d'alcalinisation des sols.

Wilcox a donné une classification des eaux d'irrigation reposant sur :

- la conductivité électrique des eaux à 25°C directement liée à la salinité des eaux ;
- le danger d'alcalinisation des sols estimée en fonction du taux d'absorption de sodium (S.A.R.).

D'après la thèse de Wilcox , les eaux d'irrigation sont divisées en 4 classes séparées par les valeurs de conductivité égales à 250, 750 et 2250 μ m hos/cm.

Ainsi, compte-tenu de la salinité, la classification adoptée est la suivante (voir fig. VIII-18) :

Classe 1 : - Conductivité à 25°C inférieur à 250 μ mhos/cm, eaux de salinité très faible ;

Classe 2 : - Conductivité à 25°C comprise entre 250-750 μ mhos/cm, eaux de salinité faible ;

Classe 3 : - Conductivité à 25°C comprise entre 750-2250 μ mhos/cm, eaux de salinité moyenne ;

Classe 4 : - Conductivité à 25°C comprise entre 2250-5000 μ mhos/cm, eaux de salinité forte.

VIII-5-2- Taux d'absorption de sodium (S.A.R.)

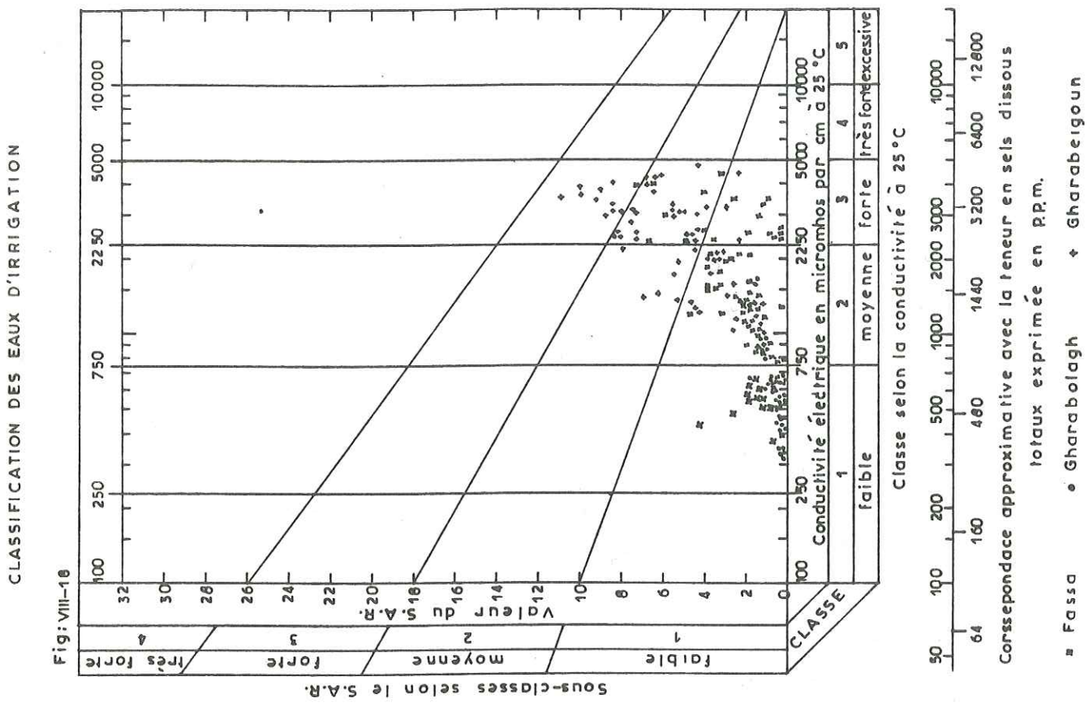
Compte-tenu du danger d'alcalinisation des sols, 4 sous-classes sont déterminées par Wilcox , d'après le taux d'absorption de sodium et la conductivité de l'eau.

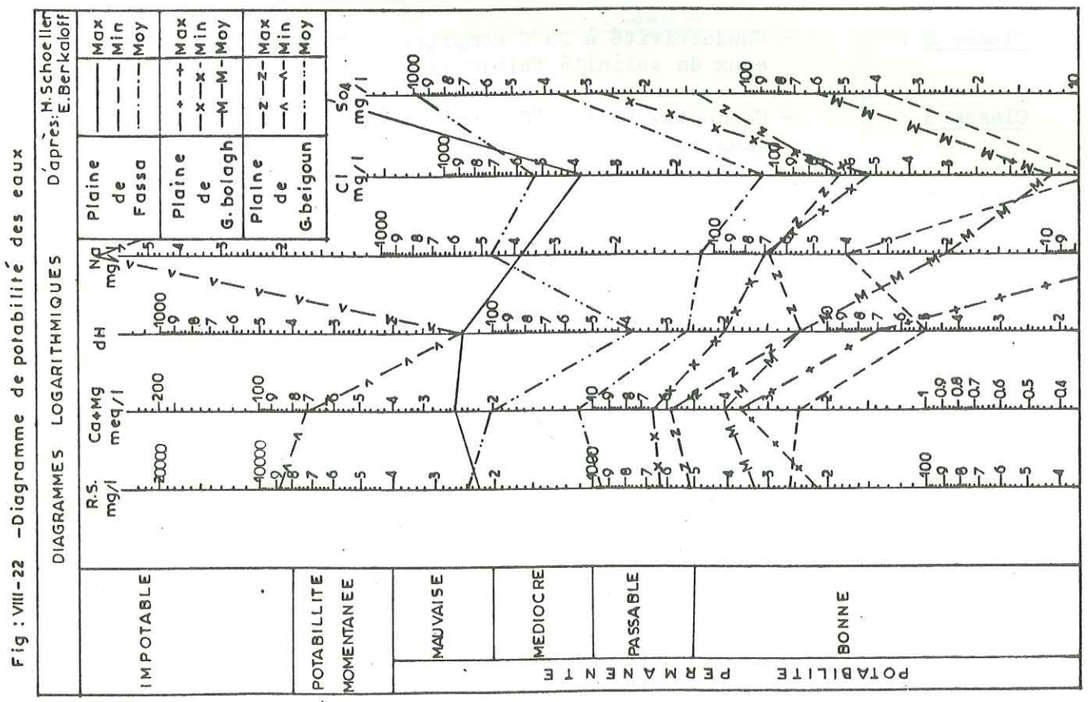
Les courbes de séparation des quatres sous-classes ont été déterminées empiriquement pour tenir compte du facteur additif conductivité. Leur équation est :

Courbe inférieure S.A.R. = 18,87 - 4,44 log C.E.

Courbe moyenne S.A.R. = 31,31 - 6,66 log C.E.

Courbe supérieure S.A.R. = 43,75 - 8,87 log C.E.





où C.E. exprime la conductivité électrique en micromhos/cm à 25°C.

Ainsi, dans la classification adoptée, les classes déterminées suivant la conductivité des eaux sont elles-même divisées en fonction du S.A.R. en quatre sous-classes, qui sont (voir fig. VIII-18) :

Sous-classe 1 : - Eaux utilisables avec peu de danger d'alcalinisation des sols (S.A.R. $<$ 10) ;

Sous-classe 2 : - Eaux utilisables avec un danger d'alcalinisation des sols appréciable (S.A.R. = 10 à 18);

Sous-classe 3 : - Eaux pouvant provoquer une alcalinisation des sols dangereux (S.A.R. = 18 à 26) ;

Sous-classe 4 : - Eaux présentant un danger d'alcalinisation des sols forte (S.A.R. $>$ 26).

VIII-6- PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques des eaux des trois plaines en vue d'une éventuelle utilisation soit pour la consommation humaine, soit pour l'irrigation (tableau VIII-19).

Tableau VIII-19 : Principales caractéristiques physico-chimiques.

Plaine	Pl. de Fassa	Pl. de Gharabolagh	Pl. de Gharabeigoun
Conductivité μmhos/cm	500 à 2000	450 à 600	1000 à 5000
Résidu sec mg/l	300 à 2000	300 à 350	1000 à 3000
TH degré français mg/l de Co_3Ca	5 à 73	7 à 20	12 à 120
S.A.R.	2 à 3	0,2 à 0,5	2 à 9
Classification pour l'irrigation	C_2-S_1 et C_3-S_1 20 % 60 % 10 % Divers	C_2-S_1 et C_3-S_1 90 % 10 %	C_3-S_1, C_4 S_2 et C_4S_3 20 % 50 % 15 % 15 % Divers

Les valeurs figurants sur ce tableau représentent des plages de valeurs dans lesquelles se situent la majorité des eaux.

VIII-7- CLASSE DE POTABILITE DES EAUX SOUTERRAINES

Il existe de nombreuse classifications des eaux au point de vue de la potabilité. H. Schoeller en 1937 propose une classification pour les pays de la zone aride ou semi-aride qui est bien adaptée aux conditions locales de notre région (tableau VIII-20).

Tableau VIII-20 : Classification des eaux d'après leur potabilité

Ordre	Classe de potabilité absolue	Ca+Mg Meq/l	Na mg/l	So4 mg/l	Cl mg/l	R.S. mg/l	T H degré français mg/l CO3Ca
1	Potabilité permanente, eau bonne sans saveur particulière	5	115	144	177,5	<500	5
2	Potabilité permanente, eau potable à saveur faiblement perceptible	10	230	288	355	500 à 1000	50
3	Potabilité permanente, eau médiocre, saveur peu prononcée	20	460	576	710	1000 à 2000	100
4	Potabilité permanente, eau mauv aise, saveur peu désagréable	40	920	1152	1420	2000 à 4000	200
5	Potabilité momentanée, eau mauv aise saveur désagréable	80	1840	2304	2840	4000 à 8000	400
6	Impotabilité, les valeurs sont supérieures à :	80	1840	2304	2840	8000	400

Nous avons classé les eaux souterraines de la région au point de vue de potabilité dans le tableau suivant (tableau VIII-21) :

Tableau VIII-21 : Classification des eaux souterraines d'après la potabilité dans les plaines étudiées.

Plaine	Quantité	Ca+Mg meq/l	Na mg/l	So 4 m g/l	Cl mg/l	R.S. mg/l	TH degrés français
Fassa	Min.	2,4	4	38	10	260	5
	Max.	25	390	2026	380	2300	120
	Moy.	11	110	360	110	960	26
Gharabolagh	Min.	3,6	4	7	7	215	7
	Max.	6,4	70	273	53	635	20
	Moy.	4	20	60	15	325	12
Gharabeigoun	Min.	5,8	67	140	64	515	12
	Max.	71	1725	3900	2380	8760	120
	Moy.	20	465	960	525	2460	38

Selon les schémas de potabilité, les eaux souterraines de Fassa sont bonnes à médiocres, celles de Gharabolagh sont "bonnes" et les eaux de la plaine de Gharabeigoun sont "passables à mauvaises" (voir fig. VIII-22).

VIII-8- CONCLUSIONS GENERALES DU CHAPITRE

L'étude des propriétés chimiques des eaux souterraines et de la répartition des faciès chimiques apporte quelques confirmations aux hypothèses géologiques formulées dans les chapitres précédents, et nous a permis également de les classer suivant des faciès chimiques, afin de les comparer.

L'inégale répartition des masses alluviales entraîne celle des masses des eaux souterraines, et par suite une forte distinction dans la répartition des faciès chimiques. Les zones alluviales récentes qui représentent de bons aquifères, sont saisonnièrement alimentées par l'infiltration des eaux de crues ou par les calcaires et particulièrement par les calcaires de Djahrom comme le confirment les faibles concentrations de ces eaux.

L'étude des cartes d'isoconcentration en chlorures, conductivité, résidu sec et type d'eau montre une augmentation des teneurs en ions So_4 et Cl en descendant vers le sud dans les plaines. Mais malgré cela, les eaux souterraines de la plaine de Gharabolagh restent toujours bicarbonatées, ce qui confirme une alimentation par les calcaires, soit par le fond, soit par les bordures. Le chimisme de l'eau est donc sensible aux conditions du milieu alluvial et de ses bordures.

o o
o

CHAPITRE IX

EVALUATION DES RESSOURCES EXPLOITABLES

- Généralités
- Exploitation actuelle
- Réserves en eaux souterraines de la région
- Fluctuations du niveau de la nappe
- Les ressources régulatrices
- Les réserves permanentes
- Calcul des apports à la nappe
- Calcul des débits de fuite en aval
- Essai de bilan et balance hydrogéologique
- Confrontation des éléments du bilan et des caractéristiques hydrodynamiques
- Conclusion

CHAPITRE IX

EVALUATION DES RESSOURCES EXPLOITABLES

Généralités

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

De façon générale, 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 tiré 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.

IX-1- EXPLOITATION ACTUELLE

Les eaux souterraines de la région de Fassa sont surtout exploitées pour les besoins en eau d'irrigation du vaste domaine de l'agriculture de la région de Fassa qui possède la majorité des terres agricoles.

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

- 97 ghanates exploitent actuellement la nappe des plaines de la région de Fassa. Le débit exploité varie d'une plaine à une autre :

a) Dans la plaine de Fassa, le débit varie entre 2 à 155 l/s (moyen 20 l/s). L'exploitation est de l'ordre de 1620 l/s en débit fictif continu ce qui correspond pour les 75 ghanates à un volume de $51 \cdot 10^6$ m3/an environ ;

b) Dans la plaine de Gharabolagh, les variations de débit se situent entre 3 et 74 l/s (moyenne 24 l/s). Le débit fictif continu qui correspond aux 5 ghanates de cette plaine est de l'ordre de 86 l/s soit un volume d'environ $2,7 \cdot 10^6$ m3/an ;

c) Dans la plaine de Gharabeigoun, le débit varie entre 2 et 33 l/s (moyenne 12 l/s). L'exploitation de la nappe est égale à un débit fictif continu de 212 l/s correspondant pour 17 ghanates à un volume de $6,7 \cdot 10^6$ m3/an environ.

- 590 puits creusés à la main et équipés d'un moteur exploitent la nappe des plaines de la région de Fassa (voir les tableaux IX-1 et 2).

Le débit exploité varie d'une plaine à l'autre :

a) Dans la plaine de Fassa, le débit varie entre 2 et 18 l/s (moyenne 10 l/s). Nous avons une exploitation de l'ordre de 435 l/s en débit fictif continu qui correspond à un nombre de 96 puits et à un volume de $13,7 \cdot 10^6$ m3/an environ ;

b) Dans la plaine de Gharabolagh, les variations de débit sont entre 2 et 29 l/s (moyenne 10 l/s). Dans cette plaine l'exploitation est de l'ordre de 2140 l/s en débit fictif continu correspondant à un nombre de 330 puits et à un volume de $67,4 \cdot 10^6$ m3/an environ ;

c) Dans la plaine de Gharabeigoun, le débit varie entre 2 et 33 l/s (moyenne 12 l/s) et nous avons une exploitation de l'ordre de 776 l/s en débit fictif continu correspondant à 164 puits et à un volume de $24,5 \cdot 10^6$ m3/an environ.

- 8 forages profonds sont exploités dans la nappe de la région (voir les tableaux IX-1 et 2).

- Dans la plaine de Fassa, le débit de ces forages varie entre 20 à 25 l/s (moyenne 24 l/s).

. Trois forages sont localisés dans la ville de Fassa. Leur eau sert essentiellement pour l'alimentation de Fassa.

. Trois autres forages fournissent les besoins en eau d'une entreprise de sucrerie.

Un dernier forage situé dans la plaine de Fassa fournit de l'eau pour l'alimentation de l'établissement militaire.

Tableau IX-1 : Exploitation des eaux souterraines dans la région de Fassa

Ressources / Plaine	Ghanates				Puits (1)				Forages (2)				Exploitation totale dans chaque plaine		
	Nombre	Exploitation m3/an	Débit fictif l/s	%	Nombre	Exploitation m3/an	Débit fictif l/s	%	Nombre	Exploitation m3/an	Débit fictif l/s	%	m3/an	Débit fictif l/s	%
Fassa	75	51 077 500	1620	76	96	13 729 024	435	20	7	2 641 910	84	4	$67 \cdot 10^6$	2125	100
Gharabolagh	5	2 724 708	86	3,9	330	67 489 432	2140	96	1	284 600	9	0,1	$70 \cdot 10^6$	2235	100
Gharabeigoun	17	6 689 500	212	22	164	24 470 568	776	78	-	-	-	-	$31 \cdot 10^6$	984	100

1- Puits peu profonds creusés à la main avec un diamètre de 3 à 4 m et foré de 6 mètres dans la nappe à partir du niveau de l'eau statique.

2- Forages ou puits profonds creusés à la machine avec un diamètre de tubage de 200 mm.

Tableau IX-2 : Caractéristiques détaillées des points d'eau

Ressources \ Plaine			Fassa	Gharabolagh	Gharabeigoun
Ghanates	Prof. de puits mère m	Min.	7	3	4
		Max.	37	34	22
		Moy.	20	17	16
	Débit	Min.	2	3	2
		Max.	155	74	33
		Moy.	25	24	12
Puits	Prof. m	Min.	12	10	5
		Max.	45	71	48
		Moy.	25	27	24
	Débit l/s	Min.	2	2	2
		Max.	18	29	33
		Moy.	10	10	12
Forages	Prof. m	Min.	75	100	-
		Max.	93	150	-
		Moy.	85	120	-
	Débit l/s	Min.	20	10	-
		Max.	25	18	-
		Moy.	24	14	-

- Dans la plaine de Gharabolagh, il y a un seul forage qui exploite l'eau de la nappe avec un débit de 18 l/s. L'exploitation de ce forage est de l'ordre de 9 l/s en débit fictif soit $28,5 \cdot 10^4$ m3/an environ.

IX-2- RESERVES EN EAUX SOUTERRAINES DE LA REGION DE FASSA

Les réserves en eaux souterraines de la région de Fassa peuvent être classées en quatre catégories déterminées essentiellement par le rythme des précipitations :

a) Les réserves régulatrices

C'est la quantité d'eau libre emmagasinée par l'aquifère au cours d'une recharge par alimentation naturelle. Cette quantité ou ce volume varie donc sous l'effet du rythme saisonnier et interannuel des précipitations.

b) Les ressources permanentes

Ou réserves profondes sont en relation avec le cycle pluriannuel des précipitations. Elles ne varient qu'à l'échelle des temps géologiques. C'est le volume d'eau des nappes à surface libre situées au-dessous de la zone des fluctuations de cette surface.

c) Les réserves totales

C'est la quantité d'eau qui passe par une section de l'horizon aquifère, normale à la direction de l'écoulement du mouvement des eaux souterraines.

d) Les réserves exploitables

On ne peut exploiter la totalité des réserves totales pour des raisons techniques ou de sécurité. Mais le volume maximum d'eau libre qui peut être exploitée d'un horizon aquifère constitue la réserve d'exploitation.

C'est le volume d'eau souterraine qui peut être tiré judicieusement, sans altération du régime d'exploitation et de la qualité de l'eau.
Les réserves d'exploitation sont donc les réserves régulatrices et une partie des réserves permanentes pendant la durée prévue.

Les paramètres qui permettent de connaître les volumes des réserves d'eaux souterraines de la plaine, sont les caractéristiques hydrodynamiques des nappes telles que :

T = K H Transmissivité qui s'exprime en m2/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 s'exprime en %

Ces éléments sont déterminés :

- à partir de l'étude des échantillons prélevés sur les forages de reconnaissances de N°1 à 10 ;
- à partir de la méthode de Rorabaugh ;
- à partir des essais de pompages effectués sur les forages de reconnaissances ;
- à partir des études géophysiques par prospection électrique.

IX-2-1- Etude granulométrique

Dans le chapitre précédent nous avons calculé le coefficient d'emmagasinement (porosité utile) de l'aquifère à partir de l'analyse de granulométrique des échantillons prélevés lors de l'exécution des forages de reconnaissances. Les résultats sont rapportés dans le tableau (VI-47). On remarque que les résultats obtenus sont généralement élevés et ne sont pas tous admissibles sauf quelques uns.

IX-2-2- Calcul de 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 piézomètres alignées sur une même ligne de courant dans un aquifère de grandes dimensions en période de tarissement qui correspondapproximativement au régime d'équilibre :

Cette équation est obtenue en égalant le volume de la recharge calculé à partir de la variation du niveau piézométrique de la nappe et du coefficient d'emmagasinement au volume correspond au débit de la nappe calculé à partir de la transmissivité et du gradient selon la méthode de Darcy.

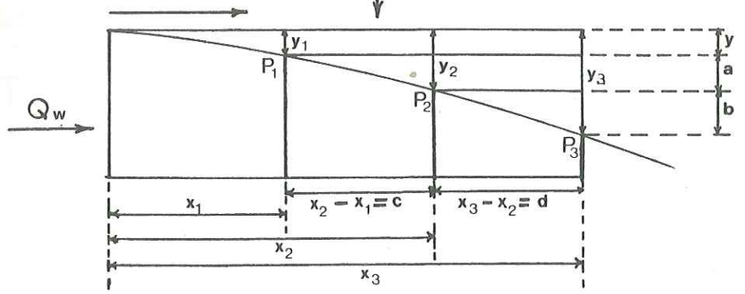


Fig. IX-3 : Figure schématique du rabattement selon la méthode de Rorabaugh.

On a : $T/S = \frac{\Delta h}{\Delta t} \cdot \frac{Cd\ (C + d)}{2\ (bc - ad)}$

- Les valeurs de c et de d (fig. IX-3) sont déterminées et mesurées à partir des cartes piézométriques en nappe basse. Les valeurs a et b sont les différences de niveaux d'eau que l'on peut déterminer aussi à partir de la carte piézométrique (ces paramètres sont exprimés en mètres) ;

. Δ h : est la variation du niveau d'eau entre la période de nappe haute et de nappe basse, exprimée en mètre ;
. Δ t : est l'intervalle de temps entre nappe haute et nappe basse exprimé en secondes.

Pour vérifier la valeur de S dans la région, nous avons appliqué cette formule dans différentes zones des plaines (voir les tableaux IX-4, 5 et 6).

Tableau IX-4- Calcul de T/S et de S par la méthode de Rorabaugh dans la plaine de Fassa

Coordonnées de puits	Distance c et d m	Gradient hyd. a et b (m)	h moy m	T moy m2/s	T/S	S %	Observations
6 I 9 7 J 36 7 J 38	4500 2000	37,07 5,83	1,32	$1,05 \cdot 10^{-2}$	0,0433	23	t= 215 jours
7 J 39 8 K 12 9 L 10	3500 7500	31,47 59,63	1,27	$1,05 \cdot 10^{-2}$	0,36	2,9	
7 K 18 7 K 19 8 L 14	2600 2700	24,67 13,38	1,01	$9,8 \cdot 10^{-4}$	0,032	3	
7 K 17 8 L 14 8 L 15	4500 3300	28,93 25,61	1,17	$7,21 \cdot 10^{-3}$	0,18	4	
7 L 7 8 L 16 9 L 10	1950 5800	9,98 30,88	0,91	$2,7 \cdot 10^{-2}$	0,92	2,9	
11 L 9 10 L 3 10 M 14	2850 2150	10,19 18,83	0,87	$3,39 \cdot 10^{-3}$	0,22	1,5	

Tableau IX-5- Calcul de T/S et de S par la méthode de Rorabaugh dans la plaine de Gharabolagh

Coordonnées de puits	Distance c et d m	Gradient hyd. a et b m	h moy m	T moy m2/s	T/S	S %	Observations
17 J 47 16 J 75 15 J 40	5400 2000	5,14 2,02	3,10	$4,71 \cdot 10^{-2}$	10,6	0,44	t = 215 jours
17 I 12 15 J 40 15 J 39	5000 1900	7,77 2,18	3,23	$4 \cdot 10^{-2}$	1,47	2,7	
15 J 39 14 J 17 13 J 4	2200 4200	3,36 11,59	2,48	$6 \cdot 10^{-3}$	0,35	1,7	
16 I 37 15 I 25 14 J 17	3100 3950	2,85 9,41	2,94	$6,5 \cdot 10^{-3}$	0,38	1,7	
15 I 25 14 I 18 13 J 4	4900 3400	5,44 15,56	2,12	$4,5 \cdot 10^{-3}$	0,136	3,3	
16 J 76 14 J 17 13 J 4	4900 4400	4,88 11,59	2,27	$6 \cdot 10^{-3}$	0,35	1,7	

Tableau IX-6- Calcul de T/S et de S par la méthode de Rorabaugh dans la plaine de Gharabeigoun

Coordonnées de puits	Distance c et d m	Gradient hyd. a et b m	h moy. m	T moy m2/s	T/S	S %	Observations
9 M 32 10 N 11 10 O 17	4250 3100	3,92 20,10	1,44	$6 \cdot 10^{-3}$	0,051	12	t=215 jours = 18576.10^{6} secondes
9 N 12 10 O 16 11 O 21	6000 3400	14,30 16,36	0,8	$6,5 \cdot 10^{-3}$	0,083	7,8	
8 N 23 9 O 13 10 O 16	3600 4550	2,95 5,57	0,89	$2,5 \cdot 10^{-3}$	0,48	0,5	
10 M 14 10 N 10 10 O 16	1350 4000	0,60 4,64	0,76	$2,3 \cdot 10^{-3}$	0,15	1,5	
10 O 17 11 O 21 11 P 8	2150 2800	6,13 14,07	1,07	$2,3 \cdot 10^{-3}$	0,065	3,5	
11 N 8 11 O 20 11 O 22	1900 2800	9,84 13,54	1,08	$8 \cdot 10^{-4}$	0,4	0,2	
11 O 20 11 O 22 12 P 26	2800 2950	13,54 9,42	1,17	$1,1 \cdot 10^{-2}$	0,11	10	

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 Fassa, la valeur de S est assez basse dans la plaine de Gharabolagh par rapport aux deux autres plaines.

Dans la plaine de Gharabolagh et aussi au Sud et au Centre de la plaine de Fassa ainsi qu'au milieu et à l'Est de celle de Gharabeigoun, les matériaux sont assez fins et en conséquence, la valeur de S est basse, mais par contre, au Nord de ces dernières et également au Sud de la plaine de Gharabeigoun où nous pensons que se trouve l'emplacement d'un lit ancien du Roud-e-Chour, la valeur de S trouvée est très élevée.

Sur les essais de pompages et lors des études granulométriques, nous avons déterminé que le coefficient d'emmagasinement S est effectivement élevé dans les secteurs cités ci-dessus, ce qui confirme bien la présence de matériaux plus grossiers dans ces zones par rapport au reste des plaines.

IX-2-2-1- Conclusion

En fonction des résultats d'étude granulométrique et des calculs de S par la méthode de Rorabaugh, nous adopterons pour le calcul des volumes des réserves régulatrices des plaines considérées, les valeurs suivantes :

Pour la plaine de Fassa S moy = 6 %
Pour la plaine de Gharabolagh S moy = 2 %
Pour la plaine de Gharabeigoun S moy = 5 %

IX-2-3- Essais de pompage

Au cours de l'étude hydrogéologique de la région étudiée, 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 T,

le coefficient d'emmagasinement S et la perméabilité K de l'aquifère, ce qui nous permettra de :

- connaître le débit des nappes ;
- connaître les emplacements les plus convenables pour une exploitation.

Les essais de pompage ont été réalisés uniquement dans les forages de reconnaissance.

Les essais de pompage dans les forages 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.

Le tableau VI-47 montre les résultats des déterminations de T, S, K suivant les essais de pompage effectués.

Pour le calcul des volumes des différentes ressources en eaux souterraines de chacune des plaines de la région de Fassa, nous adopterons les valeurs qui sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau IX-7 : Caractéristiques hydrodynamiques des plaines

Paramètres \ Plaines	Fassa	Gharabolagh	Gharabeigoun
T en m2/s	à $4{,}05 \cdot 10^{-2}$ $4{,}6 \cdot 10^{-3}$	à $3{,}55 \cdot 10^{-2}$ $5{,}19 \cdot 10^{-3}$	à $2{,}7 \cdot 10^{-2}$ $4 \cdot 10^{-3}$
K en m/s	à $3{,}2 \cdot 10^{-2}$ $4{,}99 \cdot 10^{-3}$	à $1{,}05 \cdot 10^{-2}$ $3{,}55 \cdot 10^{-3}$	à $3{,}4 \cdot 10^{-2}$ $1{,}3 \cdot 10^{-2}$
S	à $6{,}85 \cdot 10^{-2}$ $2{,}13 \cdot 10^{-3}$	à $4 \cdot 10^{-2}$ $4{,}7 \cdot 10^{-3}$	à $5{,}85 \cdot 10^{-3}$ $1{,}45 \cdot 10^{-3}$
Pe	$6 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$

En effet, ces valeurs moyennes nous paraissentplus proches de la réalité pour la détermination du bilan.

IX-2-4- Etude géophysique

Grâce à la campagne géophysique de sondages électriques et à partir de la carte du toit du substratum, nous avons pu calculer l'épaisseur moyenne de l'aquifère dans chaque plaine. La répartition des surfaces en fonction de l'altitude est la suivante :
(Il faut ajouter que, la cote de la ville de Fassa est de 1332,45 m; comme on avait donné à laquelle une cote de 1375 m, on soustrait 42,55 m de l'altitude de chaque courbe).

Tableau IX-8 : Répartition altimétrique du substratum de la plaine de Fassa

Tranches d'altitude m	Superficie partielle km2	$S \cdot \frac{h2 - h1}{2}$
1167,45 - 1182,45	17,7	20796,61
1182,45 - 1207,45	40,6	48514,97
1207,45 - 1232,45	32,8	40014,36
1232,45 - 1257,45	33,7	41954,81
Totaux	124,8	151280,75

Altitude moyenne du substratum = 1212,18 m

Altitude moyenne du plan d'eau en période de nappe basse = 1260,82 m

D'où l'épaisseur moyenne de l'aquifère de la plaine de Fassa est égale à 49 m.

Tableau IX-9- Répartition altimétrique du substratum de la plaine de Gharabolagh

Tranches d'altitude m	Superficie partielle km2	S. $\frac{h2 - h1}{2}$
1232,45 - 1257,45	23,3	29007,33
1257,45 - 1282,45	25,30	32129,73
1282,45 - 1307,45	29,25	37877,29
Totaux	77,85	99014,35

Altitude moyenne du substratum = 1271,86 m

Altitude moyenne du plan d'eau en période de nappe basse = 1336,03 m

D'où l'épaisseur de l'aquifère de la plaine de Gharabolagh est égale à 64 m.

Tableau IX-10- Répartition altimétrique du substratum de la plaine de Gharabeigoun

Tranches d'altitude m	Superficie partielle km2	S . $\frac{h2 - h1}{2}$
1057,45 - 1082,45	8,61	9212,27
1082,45 - 1107,45	21,06	23059,65
1107,45 - 1132,45	21,53	24112,52
1132,45 - 1157,45	26,39	30215,23
1157,45 - 1182,45	22,93	26826,95
1182,45 - 1207,45	3,56	4254,02
Totaux	104,08	117680,64

Altitude moyenne du substratum = 1130,67 m

Altitude moyenne du plan d'eau en période de nappe basse = 1147,63 m

D'où l'épaisseur de l'aquifère de la plaine de Gharabeigoun est égale à 17 m.

IX-3- FLUCTUATIONS DU NIVEAU DE LA NAPPE

Pour étudier les fluctuations du niveau de la nappe dans la région étudiée, nous avons préparé le diagramme unitaire pour chacune des plaines par la méthode de Thiessen à l'aide de 73 puits d'observation (fig. IX-11,12 et 13).

Les variations mensuelles du niveau de la nappe représentées sur la figure ci-dessus, montrent un niveau bas bien marqué au mois d'octobre qui correspond aux basses eaux de la nappe et un pic bien marqué aussi au mois de mars qui correspond aux hautes eaux de la nappe.

La variation annuelle du niveau de la nappe est tributaire des variations des précipitations sur la région. Si l'on compare la variation annuelle de la pluviométrie à celle du niveau de la nappe, nous remarquons une corrélation presque parfaite entre les deux graphiques.

En effet, les années de forte pluviosité correspondent aux pics de variations du niveau statique de la nappe en mars.

Les variations du plan d'eau de la nappe entre octobre 1971 (basses eaux) et mars 1972 (hautes eaux), obtenues sur 73 puits d'observation sont :

. Dans la plaine de Fassa : 1,39 m
. Dans la plaine de Gharabolagh: 2,36 m
. Dans la plaine de Gharabeigoun 1,30 m

IX-4- LES RESSOURCES REGULATRICES

C'est le volume d'eau qui joue le rôle de régulateur du débit de toute la nappe. Au cours d'une année, il passe au-dessus du niveau le plus bas de la nappe. Ce volume est donné par :

$$V_r = A.\Delta h.\ me$$

A = Superficie de chacune des plaines, (voir le tableau suivant) ;
h= valeur de variation du plan d'eau (voir tableau suivant) ;
me = valeurs de porosité efficace des aquifères obtenue par la méthode de Rorabaugh (voir le tableau suivant).

Ce volume représente la valeur minimum du volume de la recharge puisque

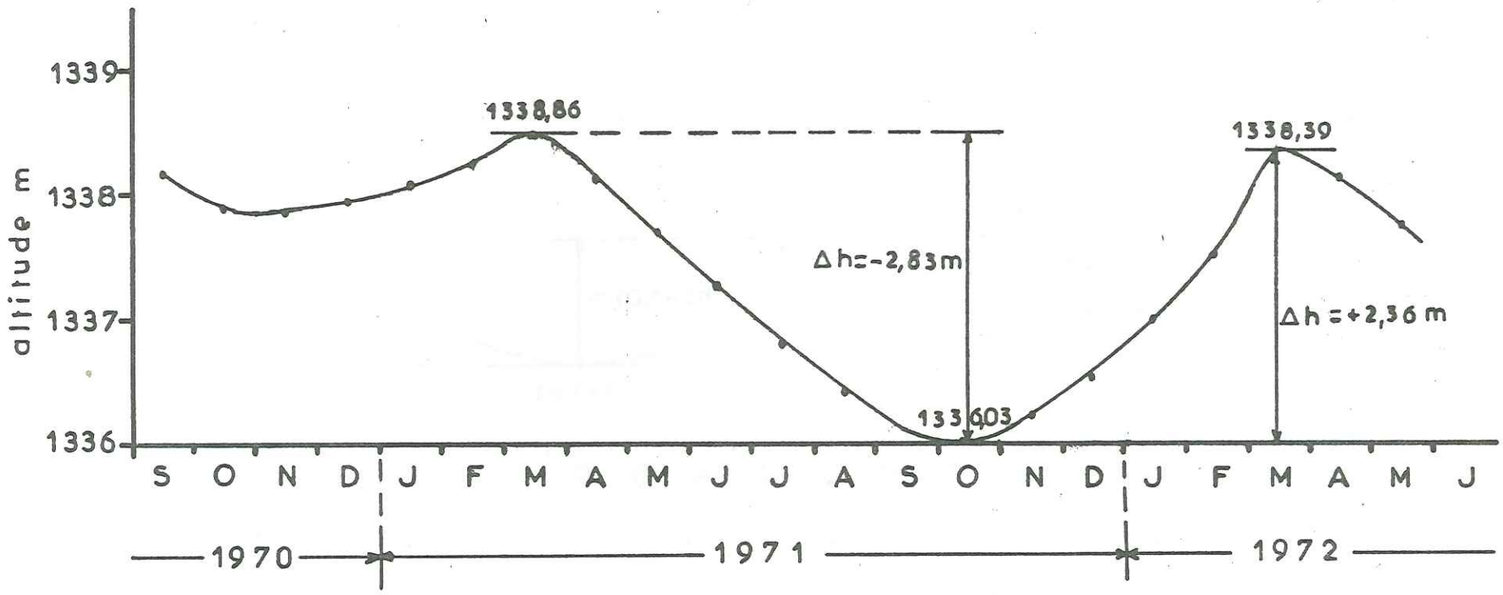


Fig: IX –12 –Variation du niveau piézomètrique de la plaine de

GHARABOLAGH

(hydrogramme unitaire)

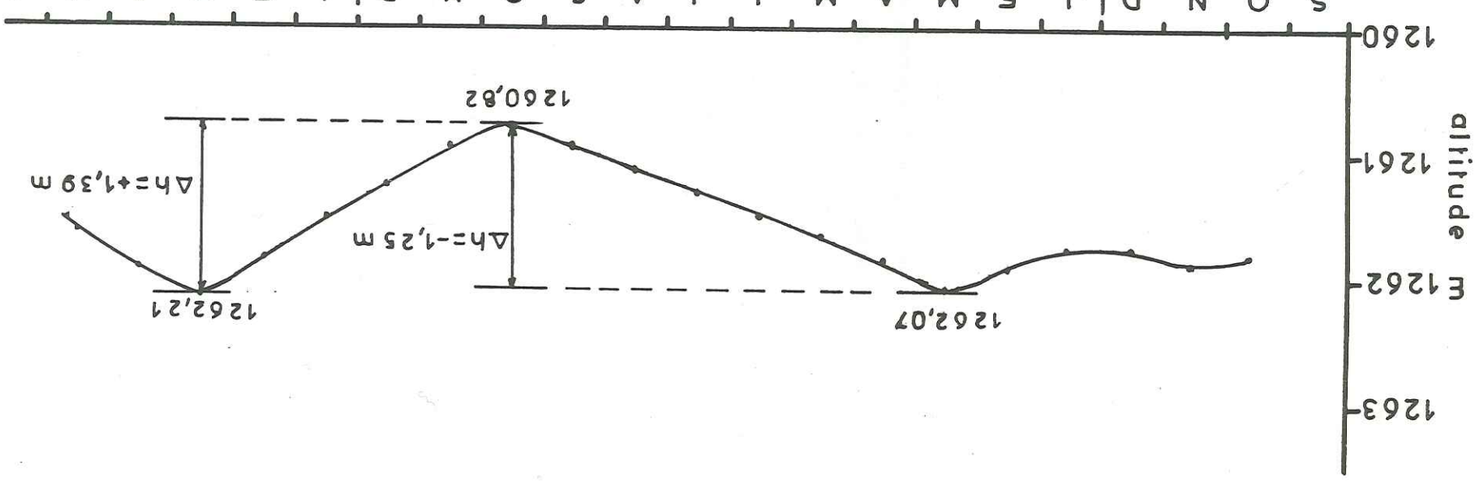


Fig: IX –11 –Variation du niveau piézomètrique de la plaine de

FASSA

(hydrogramme unitaire)

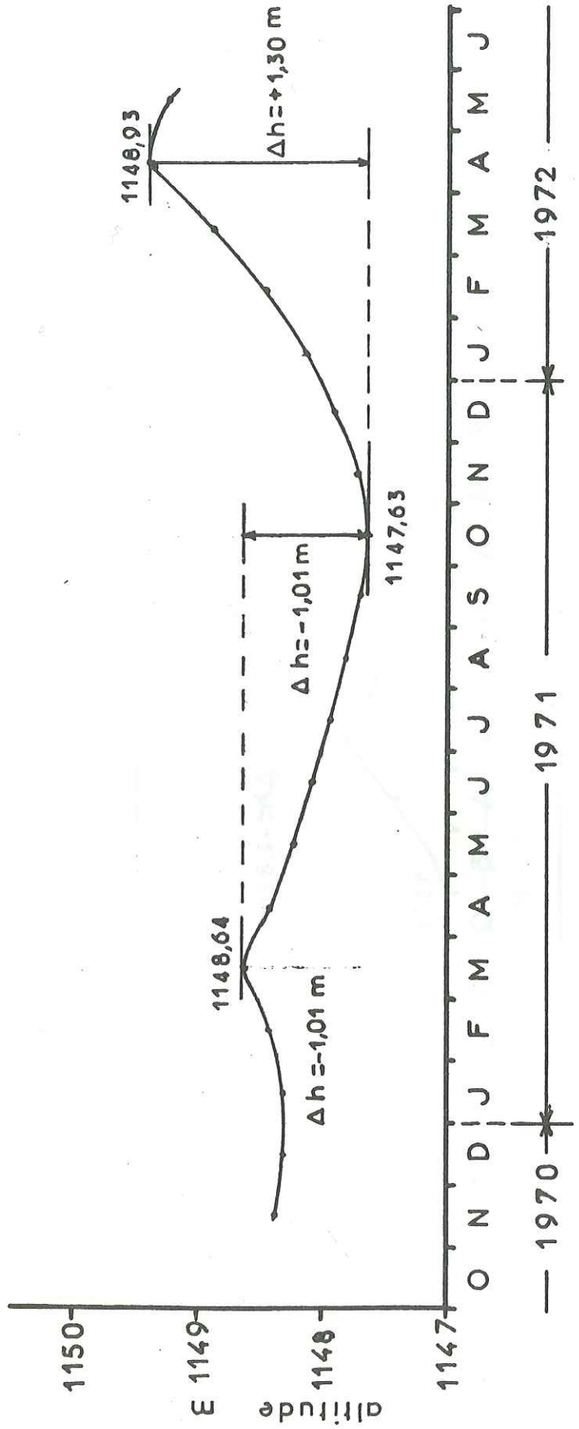


Fig:IX -13 —Variation du niveau piézométrique de la plaine de GHARABEIGOUN (hydrogramme unitaire)

des prélèvements et écoulements ont lieu de façon permanente pendant la recharge.

Tableau IX-14 : Paramètres permettant de calculer les réserves régulatrices.

Paramètres \ Plaines	Fassa	Gharabolagh	Gharabeigoun
A Km2	300	160	165
Δh_{moy} m en 1970-71	* +1,25	+ 2,83	+ 1,01
Δh_{moy} m 1971-72	+ 1,39	+ 2,36	+ 1,30
$(me)_{moy}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$

Nous aurions donc :

. Pour la plaine de Fassa, $V_r \simeq \begin{cases} + 22 \cdot 10^6 \\ + 25 \cdot 10^6 \end{cases}$ m3/an en $\begin{matrix} 1970\text{-}71 \\ 1971\text{-}72 \end{matrix}$

. Pour la plaine de Gharabolagh, $V_r \simeq \begin{cases} + 9 \cdot 10^6 \\ + 7 \cdot 10^6 \end{cases}$ m3/an en $\begin{matrix} 1970\text{-}71 \\ 1971\text{-}72 \end{matrix}$

. Pour la plaine de Gharabeigoun, $V_r \simeq \begin{cases} + 8 \cdot 10^6 \\ + 11 \cdot 10^6 \end{cases}$ m3/an en $\begin{matrix} 1970\text{-}71 \\ 1971\text{-}72 \end{matrix}$

IX-5- LES RESERVES PERMANENTES

C'est le volume d'eau emmagasinée au-dessous de la zone de fluctuation de la surface de la nappe.

La puissance moyenne de la nappe d'après les résultats de l'étude des forages de reconnaissances et des mesures géophysiques est de :

49 mètres dans la plaine de Fassa ;

64 mètres dans la plaine de Gharabolagh ;

17 mètres dans la plaine de Gharabeigoun.

* On a admis que le niveau des basses eaux en octobre 1970 était identique à celui observé en octobre 1971.

D'où le volume d'eau intéressant les nappes de ces plaines:

$$V_p = A \cdot H \cdot S$$

A = Superficie de la plaine ;

H = Epaisseur de la nappe non affectée par les fluctuations de la nappe ;

S = Coefficient d'emmagasinement de l'aquifère.

qui sont (voir le tableau suivant) :

Tableau IX - 15 : Paramètres permettant de calculer les réserves permanentes

Paramètre \ Plaines	Fassa	Gharabolagh	Gharabeigoun
H_{moy} m	49	64	17
S_{moy}	$2{,}42 \cdot 10^{-2}$	$1{,}65 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$ *

Les réserves permanentes d'eaux souterraines de chacune des plaines de la région de Fassa seraient donc égales à :

Fassa $V_p = 356 \cdot 10^6$ m3

Gharabolagh $V_p = 169 \cdot 10^6$ m3

Gharabeigoun $V_p = 140 \cdot 10^6$ m3

Ces volumes représentent les réserves permanentes en eaux souterraines de la région étudiée.

* Résultat obtenu par la méthode de Rorabaugh.

IX-6- CALCUL DES APPORTS A LA NAPPE A PARTIR DES RESERVES DYNAMIQUES

C'est le débit de l'écoulement souterrain qui correspond à la quantité d'eau qui passe par une section de l'horizon aquifère normale à la direction du mouvement des eaux souterraines. Le débit de l'écoulement souterrain est donné par la formule de Darcy.

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

K = perméabilité

S = surface de la section transversale de l'écoulement souterraine

T = transmissivité

L = longueur de la section transversale

I = gradient hydraulique.

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

La longueur de la section transversale est déterminée à l'aide des cartes piézométriques.

Le gradient hydraulique est donné de façon précise par le tracé des cartes piézométriques (voir le tableau IX-16).

Tableau IX-16 - Calcul du gradient hydraulique à partir des cartes piézométriques

Plaine	Zone	Secteur	L moy. Longueur Km	S Partielle km2	l moy. Largeur m moy. l=S/L	dh	I moy. Gradient hyd.
Fassa	Amont	1	5,75	5,818	1012	5	$4,94 \cdot 10^{-3}$
		2	2,3	0,7935	345	5	$1,45 \cdot 10^{-2}$
		3	5,00	4,628	925	5	$5,4 \cdot 10^{-3}$
		4	5,99	2,248	375	5	$1,33 \cdot 10^{-2}$
	Aval	1	8,86	5,686	642	5	$7,81 \cdot 10^{-3}$
Gharabolagh	Amont	1	13,65	20,73	1518	3	$1,97 \cdot 10^{-3}$
	Aval	2	2,95	1,851	627	3	$4,78 \cdot 10^{-3}$
Gharabeigoun	Amont	1	12,93	22,56	1745	5	$2,86 \cdot 10^{-3}$
		2	2,98	3,135	1052	5	$4,75 \cdot 10^{-3}$
	Aval	1	6,37	7,535	1183	5	$4,23 \cdot 10^{-3}$

Nous savons que :

$$S = L.\ l \text{ et } l = \frac{S}{L}$$

et gradient hydraulique $I = \frac{dh}{l\ moy}$

d'où :

$$Imoy = \frac{dh}{S/Lmoy}$$

a) Dans la plaine de Fassa

- Dans le secteur de Banian à Fassa

$I = 4,94 \cdot 10^{-3}$

$L = 5750$ m

$T = 4,15 \cdot 10^{-2}$ m2/s

$Qam_1 = 1,18$ m3/s

- Dans le secteur de Fassa à Tchoghad

$I = 1,45 \cdot 10^{-2}$

$L = 2300$ m

$T = 3,3 \cdot 10^{-3}$ m2/s

$Qam_2 = 0,11$ m3/s

- Dans le secteur de Ghias-abad

$I = 5,4 \cdot 10^{-3}$

$L = 5000$ m

$T = 3,7 \cdot 10^{-3}$ m2/s

$Qam_3 = 0,1$ m3/s

- Dans le secteur de Deh-chib

$I = 1,33 \cdot 10^{-2}$

$L = 5990$ m

$T = 3,64 \cdot 10^{-3}$ m2/s

$Qam_4 = 0,29$ m3/s

Donc le débit d'alimentation de la nappe à travers les sections amont est égal à :

$$Qam_t = \sum_1^4 Qam$$

$Qam_t = 1,68$ m3/s

soit

$Qam_t = 53 \cdot 10^6$ m3/an

b) Dans la plaine de Gharabolagh

_ Dans le seul secteur de Dogan à Aliabad

$I = 1,97 \cdot 10^{-3}$

$L = 13650$ m

$T = 3,55 \cdot 10^{-2}$ m2/s

Le débit d'alimentation de la nappe à travers la section amont est égal donc à :

$Qam = 0,955$ l/s soit $30 \cdot 10^{6}$ m3/an

c) Dans la plaine de Gharabeigoun

-Dans le secteur de Kharandjan à Kankan au Nord de la plaine

$I = 2,86 \cdot 10^{-3}$

$L = 12930$ m

$T = 2,25 \cdot 10^{-2}$ m2/s

$Qam_1 = 0,832$ m3/s

- Dans le secteur de Aliabad

$I = 4,75 \cdot 10^{-3}$

$L = 2980$ m

$T = 1,8 \cdot 10^{-3}$ m2/s

$Qam_2 = 0,025$ m3/s

En conséquence, le débit d'alimentation de la nappe à travers les sections amont est égal à :

$$Qam_t = \sum_{1}^{2} Qam$$

$Qam_t = 0,857$ m3/s soit $27 \cdot 10^{6}$ m3/an

IX-7- CALCULS DES DEBITS DE LA NAPPE AUX EXUTOIRES (Débits de fuite en aval)

Pour déterminer le débit de l'écoulement souterrain à travers les fronts d'exutoires, nous avons appliqué la formule de Darcy. Nous avons alors trouvé les valeurs suivantes :

a) Dans la plaine de Fassa

Le débit de l'écoulement souterrain à travers le seul front exutoire situé au sud de la plaine est égal à :

$I = 7,81 \cdot 10^{-3}$

$L = 8860$ m

$T = 3,47 \cdot 10^{-3}$ m2/s

Q aval = 0,24 m3/s soit $\simeq 7 \cdot 10^{6}$ m3/an

b) Dans la plaine de Gharabolagh

Le débit à travers le seul exutoire situé au S.W. de la plaine est égal à :

$I = 4,78 \cdot 10^{-3}$

$L = 2950$ m

$T = 5,19 \cdot 10^{-3}$ m2/s

Q aval = 0,073 m3/s soit $\simeq 2 \cdot 10^{6}$ m3/an

c) Dans la plaine de Gharabeigoun

Le débit à travers l'exutoire de Nassir-abad situé au sud de la plaine est égal à :

$I = 4,23 \cdot 10^{-3}$

$L = 6370$ m

$T = 1,1 \cdot 10^{-2}$ m2/s

Q aval = 0,296 m3/s soit $\simeq 9 \cdot 10^{6}$ m3/an

IX-8- ESSAI DE BILAN ET BALANCE HYDROGEOLOGIQUE

Le calcul du bilan hydrogéologique est fait pour l'année 1971-1972, connaissant les apports d'une part, et les prélèvements d'autre part.

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

$$\pm \Delta V = (Qam + Q_a + I_r + I_R + I_s) - (Q\ aval + Q_e + P + E_s + D)$$

Qam = apports de la nappe ;
Q_a = apports artificiels dans le bassin ;
I_r = réalimentation à partir des prélèvements effectués dans le bassin ;
I_R = alimentation à partir du lit des oueds ;
I_s = alimentation à partir du substratum ;
Q aval = débit de la nappe à travers les exutoires ;
Q_e = débit exporté artificiellement du bassin ;
P = volume prélevé dans la nappe ;
E_s = évaporation par la surface de la nappe ;
D = drainage de la nappe par la rivière ;
ΔV = variation des réserves de la nappe.

IX-8-1- Apports à la nappe (Qam)

Ils sont déterminés suivant la carte piézométrique et sont de l'ordre de :

Qam F (1) = 1680 l/s soit 53 · 10^6 m3/an
Qam Gbl (2) = 955 l/s soit 30 · 10^6 m3/an
Qam Gbg (3) = 85 l/s soit 27 · 10^6 m3/an

---

(1) F = plaine de Fassa
(2) Gbl = plaine de Gharabolagh
(3) Gbg = plaine de Gharabeigoun

IX-8-2- Débits de la nappe à travers les exutoires (Q aval)

Ils sont calculés dans le secteur de l'exutoire de chaque plaine et sont égaux à :

Q aval $_F$ = 240 l/s soit $\simeq$ 7 · 10^6 m3/an
Q aval $_{Gbl}$ = 73 l/s soit $\simeq$ 2 · 10^6 m3/an
Q aval $_{Gbg}$ = 296 l/s soit $\simeq$ 9 · 10^6 m3/an

IX-8-3- Prélèvements dans la nappe (P)

Les prélèvements dans les nappes des plaines par les systèmes des ghanates, forages et puits creusés à la main d'après les enquêtes sur tous les points d'eau sont estimés à :

P_F = 2125 l/s soit 67 · 10^6 m3/an
P_{Gbl} = 2235 l/s soit 70 · 10^6 m3/an
P_{Gby} = 984 l/s soit 31 · 10^6 m3/an

IX-8-4- Réalimentation à partir des prélèvements (I_r)

Si on tient compte qu'au moins 10 % du volume total prélevé pourrait réalimenter la nappe, nous aurons donc :

I_r F $\simeq$ 222 l/s soit 7 · 10^6 m3/an
I_r Gbl = 222 l/s soit 7 · 10^6 m3/an
I_r Gby = 95 l/s soit 3 · 10^6 m3/an

IX-8-5- Evaporation par la surface de la nappe (E_s)

En tenant compte que la profondeur de la nappe de la région étudiée est à plus de 5 mètres en-dessous de la surface du sol, nous admettons qu'il n'y a aucune évaporation à partir de la surface de la nappe.

IX-8-6- Drainage de la nappe (D)

Dans les plaines étudiées, nous n'avons pas aperçu de signe que les eaux souterraines soient drainées par la rivière. Par conséquent, cette valeur sera considérée comme nulle dans l'équation du bilan. Les apports artificiels dans le bassin Q_a et le volume d'eau exportée artificiellement Qe sont également considérés comme nuls.

IX-8-7- Alimentation par le substratum et/ou le lit des oueds

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

- Pour la plaine de Fassa :

$$(25-22)\ 10^6 = (53 + 7 + 0 + I_R + I_s)10^6 - (7 + 67 + 0 + 0 + 0)10^6$$

$$I_R + I_s = 17 \cdot 10^6 \text{ m3/an} \quad (\simeq 540 \text{ l/s})$$

- Pour la plaine de Gharabolagh:

$$(7 - 9)10^6 = (30 + 7 + 0 + I_R + I_s)10^6 - (2 + 70 + 0 + 0 + 0)10^6$$

$$I_R + I_s = 33 \cdot 10^6 \text{ m3/an (1050 l/s)}$$

- Pour la plaine de Gharabeigoun :

$$(11 - 8)\ 10^6 = (27 + 3 + 0 + I_R + I_s)10^6 - (9 + 31 + 0 + 0 + 0)\ 10^6$$

$$I_R + I_s = 13 \cdot 10^6 \text{ m3/an (410 l/s)}$$

On constate donc que pour l'année 1971-1972, la pluviosité est relativement faible (112 mm) par rapport à la moyenne annuelle calculée pour une période de 13 années (227 mm). Bien que la durée de pluviosité efficace et celle de l'écoulement n'aient pas été très longues ; l'alimentation, soit par le substratum, soit par le lit des oueds est assez forte. La porosité des alluvions récentes (lits des oueds) étant très forte, une partie importante des écoulements a pu s'infiltrer dans les nappes des plaines.

Le manque d'observation sur les années antérieures et postérieures à 1971-1972 ne nous a pas permis de comparer les bilans entre eux.

Dans les chapitres précédents, nous avons montré que le substratum des plaines de Fassa et de Gharabeigoun est constitué par des matériaux imperméables (marnes et argiles de Miocène), tandis que celui de la plaine de Gharabolagh est formé par les calcaires de l'Eocène (F. de Djahrom). On peut donc dire que l'alimentation des deux premières plaines correspond uniquement à l'infiltration des écoulements dans les lits des oueds, alors que la plupart de l'alimentation (même toute) de la nappe de la plaine de Gharabolagh est assurée par le substratum calcaire.

IX-9 - CONFRONTATION DES ELEMENTS DU BILAN ET DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

Ayant déterminé la part des diverses alimentations à la nappe, il est intéressant de confronter les valeurs des prélèvements calculés à partir du bilan avec le volume des réserves régulatrices calculé à partir des variations du niveau piézométrique. Dans des bassins où les prélèvements par les ghanates et les puits se font durant toute l'année, il est en effet difficile de comparer les apports à la nappe aux réserves régulatrices.

Les prélèvements dans la nappe de Fassa étant de 67.10^6 m3, l'alimentation par réinfiltration étant de 7.10^6 m3 et celle par les oueds et le substratum de 17.10^6 m3 le volume des emprunts aux réserves régulatrices est au minimum de 43.10^6 m3.

Nous avons vu antérieurement que le volume des réserves régulatrices était au minimum de 25.10^6 m3 si l'on admettait un coefficient d'emmagasinement de 6 %. On serait donc tenté de penser que le coefficient d'emmagasinement est de :

$$\frac{43.10^6}{25.10^6} \cdot 6\ \% \text{ soit } 10\ \%$$

De même, les volumes des emprunts aux réserves régulatrices pour les deux autres plaines (G. Bolagh et G. Beigoun) sont respectivement de 30.10^6 m3 et 15.10^6 m3 par an, alors que nous avons vu précédemment que les volumes de réserves régulatrices étaient de 9.10^6 m3 (P. de G.bolagh) et de 11.10^6 m3 (P. de G.beigoun), on pourrait penser que les coefficients d'emmagasinement seraient :

P. de G.bolagh $\quad \frac{30.10^6}{9.10^6} \cdot 2\ \% = 6{,}7\ \%$

P. de G.beigoun $\quad \frac{15.10^6}{11.10^6} \cdot 5\ \% = 6{,}8\ \%$

En fait les valeurs de S adaptées (6 %, 2 %, 5 %) pour les différentes plaines résultaient d'un premier ajustement entre T et S réalisé par la méthode de Rorabaugh. Il est donc plus logique de considérer que le volume des réserves régulatrices calculé à partir des variations du niveau piézométrique et du coefficient d'emmagasinement ne représente qu'une partie de la recharge qui permet les prélèvements réalisés dans l'année.

Si l'on admettait en effet une valeur plus forte de S, il faudrait augmenter T qui aurait aussi été sous-estimée mais dans ce cas il conviendrait de modifier l'équation du bilan.

Si l'on augmente S de 50 %, T augmente selon la formule de Rorabaugh dans les mêmes proportions et les débits d'entrée et de sortie de la nappe seraient alors pour la nappe de Fassa par exemple de :

80.10^6 m3 et $10{,}6.\ 10^6$ m3,

d'où :

$$3.10^6 = (80 + 7 + 0 + I_r + I_s)\ 10^6 - (10{,}6 + 67 + 0 + 0)\ 10^6$$

d'où : $I_R + I_S = 6{,}4.10^6$ m3

valeur que l'on peut considérer comme très faible.

Si l'on augmentait davantage la valeur de T en la multipliant par 2, on aurait alors :

$$3.10^6 = (106 + 7 + 0 + I_R + I_S)\ 10^6 - (14 + 67 + 0 + 0)\ 10^6$$

d'où : $I_R + I_S = -\ 29.10^6$ m3

Une valeur de S double de celle adoptée entraîne donc un doublement de la valeur de T observée mais on constate alors que le bilan devient négatif, c'est-à-dire qu'il y aurait des fuites par le substratum alors que les oueds et le substratum alimentent en fait la nappe comme le montrent les cartes isopièzes et l'étude hydrochimique.

On peut donc penser que les valeurs trouvées pour S et T sont très proches de la réalité et que le volume de la recharge de la nappe par la section amont est voisine de 43.10^6 m3 compte-tenu des apports du substratum, de l'infiltration et de la réinfiltration. Pour les plaines de Garhabolagh et Garhabeigoun les volumes des recharges seraient de $30 \cdot 10^6$ m3 et de $15 \cdot 10^6$ m3.

En conclusion, il apparaît donc que les valeurs des caractéristiques hydrodynamiques calculées par les diverses méthodes que nous avons utilisées sont vraisemblablement proches de la réalité et en tout cas parfaitement compatibles avec les éléments du bilan et en particulier permettent d'expliquer les volumes prélevés dans les nappes.

Il nous semble toutefois qu'il serait utile en dehors de la distinction classique entre variations des réserves annuelles et variations des réserves interannuelles, d'introduire la notion de réserves régulatrices minimum annuelles pour désigner le volume des réserves régulatrices calculées par la formule classique $\Delta h \times S \times A$.

Si, en effet dans les pays arides où la recharge annuelle est quasiment unique, ce calcul est aisé, il ne fournit dans les nappes où existent des prélèvements naturels ou artificiels permanents qu'une indication de la valeur minimale des ressources qui peuvent être tirées de la recharge.

IX-10 - CONCLUSIONS GENERALES DU CHAPITRE

Les résultats obtenus par le bilan hydrogéologique des plaines de la région de Fassa nous amènent à conclure que les apports à la nappe sont :

. Dans la plaine de Fassa = 1680 l/s soit 53 · 10^6 m3/an
. Dans la plaine de Gharabolagh ≃ 960 l/s soit 30 · 10^6 m3/an
. Dans la plaine de Gharabeigoun ≃ 860 l/s soit 27 · 10^6 m3/an

et que les infiltrations et réinfiltrations sont proches de :

. Dans la plaine de Fassa ≃ 770 l/s soit 24 · 10^6 m3/an
. Dans la plaine de Gharabolagh ≃ 1150 l/s soit 36 · 10^6 m3/an
. Dans la plaine de Gharabeigoun ≃ 510 l/s soit 16 · 10^6 m3/an

On s'aperçoit en comparant les apports dans la nappe et le débit de fuite à l'aval, qu'il existe une différence entre ces deux valeurs :

. Dans la plaine de Fassa 2450 - 240 = 2210 l/s soit 70 · 10^6 m3/an
. Dans la plaine de Gharabolagh 2110 - 70 = 2040 l/s soit 64 · 10^6 m3/an
. Dans la plaine de Gharabeigoun 1370 - 300 = 1070 l/s soit 34 · 10^6 m3/an

Ces excédents peuvent être prélevés dans chacune des nappes. En 1971-1972, les valeurs exploitées dans ces nappes étaient les suivantes :

. Plaine de Fassa : 67 · 10^6 m3/an
. Plaine de Gharabolagh : 70 · 10^6 m3/an
. Plaine de Gharabeigoun : 31 · 10^6 m3/an

En comparant ces valeurs avec celles des excédents, on obtient le bilan d'exploitation de chacune des nappes :

. Plaine de Fassa : (70 - 67) 10^6 m3/an = + 3 · 10^6 m3/an soit + 95 l/s
. Plaine de Gharabolagh : (64 - 70) 10^6 m3/an = - 6 · 10^6 m3/an soit - 190 l/s
. Plaine de Gharabeigoun : (34 - 31) 10^6 m3/an = + 3 · 10^6 m3/an soit + 95 l/s

On remarque que ces bilans d'exploitation sont excédentaires (3 · 10^6 m3/an) dans les nappes des plaines de Fassa et de Gharabeigoun, ce qui confirme l'élévation de la surface piézométrique de 14 cm dans la plaine de Fassa et de 29 cm dans la plaine de Gharabeigoun, c'est ainsi que l'on pourrait augmenter les volumes exploités de 20 % dans la plaine de Fassa et de 10 % dans la plaine de Gharabeigoun, sans altérer les réserves permanentes. Par contre, dans la plaine de Gharabolagh, on observe que, le bilan d'exploitation est déficitaire de 6 · 10^6 m3/an, ce qui est confirmé par l'abaissement de la surface piézométrique de l'ordre de 47 cm.

Ce déficit est donc dû à l'exploitation intensive des eaux de la nappe. Depuis le début de l'exploitation de la nappe de la plaine de Gharabolagh (environ 20 ans) la surface piézométrique s'est abaissée d'une vingtaine de mètres. Par conséquent, la surexploitation de la nappe conduira à l'épuisement progressif des réserves permanentes.

Cette étude dans la plaine de Gharabolagh nous montre le caractère dangereux voire catastrophique de l'exploitation anarchique et intensive d'une nappe, et il conviendrait d'envisager une réalimentation artificielle des nappes par injection d'eaux de surface que nous espérons pouvoir entreprendre dans les années à venir.

Dans cet esprit les résultats obtenus par la confrontation des caractéristiques hydrodynamiques et des données du bilan hydrogéologique seront essentiels car ils nous montrent les limites relativement étroites dans lesquelles se situent les capacités de stockage et de circulation des eaux souterraines.

CHAPITRE X

RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS ET CONCLUSION GENERALE

. Résumé des principaux résultats obtenus

. Conclusion générale

CHAPITRE X

RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS ET CONCLUSION GENERALE

X-1- RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

Le bassin versant de la région de Fassa situé au Sud de l'Iran, au milieu de la chaine méridionale du Zagros, a une superficie de 4531 km2.

Son altitude moyenne est de 1533 m. L'altitude la plus élevée qui est de 3202 m joue un grand rôle dans les variations climatiques.

La région possède un climat semi-aride avec des températures pouvant atteindre 44°C en été et -6°C en hiver.

La température moyenne annuelle est de 20°C.

Les précipitations moyennes annuelles sont de 239 mm sur l'ensemble des plaines et de 369 mm sur les versants montagneux, soit une moyenne pluviométrique annuelle sur l'ensemble des secteurs de 315 mm.

Les précipitations se produisent pour 97 % durant la saison froide (novembre-avril).

Sur les montagnes où nous n'avons pas pu installer de stations climatologiques les variations des précipitations et de la température sont encore plus intenses. Les précipitations y sont abondantes et la température souvent très basse.

De façon générale, l'ensemble des études climatiques nous a permis de voir que la valeur de la hauteur d'eau tombée sur les plaines est beaucoup plus faible que celle tombée sur les montagnes. Nous avons aussi constaté un fort gradient altimétrique de pluviosité de 26,8 mm pour 100 mètres pour l'ensemble du bassin versant, qui confirme le rôle important des variations d'altitude sur le changement du climat.

Les diverses méthodes de calcul et l'établissement du bilan nous conduisent à admettre que, sur l'ensemble du bassin l'évapotranspiration réelle représente le pourcentage élevé de 70 à 75 % des précipitations, que le ruissellement représente, lui, 3 % des précipitations et que l'infiltration sur l'ensemble du bassin représente, elle de 20 à 30 % de la lame d'eau précipitée.

L'infiltration dans les lits des cours d'eau est très importante et permet à une grande partie des eaux ruisselées de rejoindre les réserves souterraines des plaines alluviales, à cause de la nature très perméable des lits des oueds.

Ces déterminations nous fournissent une bonne connaissance des processus réglant l'alimentation des nappes des plaines.

En ce qui concerne la géologie, notre étude basée sur une cartographie détaillée de l'ensemble du bassin, nous a permis de montrer que les formations tertiaires, et plus spécialement les calcaires des formations Djahrom et Asmari-Djahrom qui s'étendent du Paléocène au Miocène inférieur, jouent un rôle très important dans l'hydrogéologie de la région. Leur épaisseur peut atteindre 760 m, et ils affleurent sur plus de 900 km2 environ.

Les évaporites jouent un grand rôle dans l'hydrogéologie de la région, car leur dissolution entraîne une modification considérable de la qualité des eaux superficielles et souterraines. Ces évaporites sont représentées, dans les dômes de sel de Kouh-é-Kolah-ghazi ou sont d'âge Miocène moyen et supérieur (group du Fars).

Une dernière formation joue un rôle hydrogéologique important, il s'agit de la masse des conglomérats de Bakhtiari, qui sont caractérisés par la présence de galets siliceux à côté des galets calcaires, ce qui permet de les distinguer des formations plus récentes.

Enfin, l'ensemble des études géologiques, géophysiques, sédimentologiques et des sondages mécaniques ont permis but de reconnaître le mode de remplissage plio-quaternaire, l'origine des dépôts, leur âge et leur évolution dans le temps et dans l'espace. Nous avons ainsi déterminé certaines caractéristiques hydrodynamiques des formations quaternaires.

Les nappes des trois plaines qui semblent ne posséder qu'un seul aquifère malgré la présence discontinue de passées argiles peu épaisses, sont localisées dans des matériaux plus ou moins homogènes (sables, graviers et galets).

L'épaisseur des alluvions varie dans chacune des plaines de Fassa, G. Bolagh et G. Beigoun respectivement entre 40 à 80 m , 60 à 100 m et 40 à 60 m dans les différentes zones.

Les études de la nappe nous ont permis de situer les zones d'exutoires.

A la suite des essais de pompage faits sur les différents forages, les caractéristiques hydrodynamiques ont été calculées par les diverses méthodes classiques. Les valeurs de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement sont fortes dans les secteurs des forages : 6.I.8, 7.J.35, 17.J.35 et 9.M.31 forés dans les trois plaines étudiées. Ces valeurs fortes montrent et confirment l'importance des zones d'alimentation en eau de la nappe de ces plaines.

Les valeurs moyennes de la transmissivité obtenues sont de l'ordre de :

P. de Fassa de $1,1 .10^{-3}$ m2/s à $4,05.10^{-2}$ m2/s
P. de G. Bolagh de $5,19.10^{-3}$ m2/s à $4,71.10^{-2}$ m2/s
P. de Beigoun de $1,8 .10^{-3}$ m2/s à $3,59.10^{-2}$ m2/s

Nous avons essayé de déterminer la valeur du coefficient d'emmagasinement à partir d'une part de certains essais de pompage, d'autre part par la méthode de Rorabaugh, connaissant déjà la transmissivité et enfin à partir de l'étude granulométrique des sédiments.

Les valeurs moyennes de ce coefficient obtenues par les essais de pompage sont de l'ordre de :

P. de Fassa de $2,55.10^{-2}$ % à 23 %
P. de G. Bolagh de $3,55.10^{-2}$ % à 4 %
P. de G. Beigoun de $1,45.10^{-1}$ % à $5,85.10^{-1}$ %

Celles calculées par la méthode de Rorabaugh vont :

P. de Fassa de 1,5 % à 23 %
P. de G. Bolagh de 0,44 % à 3,3 %
P. de G. Beigoun de 0,2 % à 12 %

et à partir de l'étude granulométrique les valeurs moyennes de ce coefficient ou porosité utile sont :

P. de Fassa de 3,8 % à 20 %
P. de G. Bolagh de 4 % à 12 %
P. de Beigoun de 4 % à 10 %

Les perméabilités calculées par la méthode de Dupuit sont :

P. de Fassa de $6{,}4.10^{-4}$ m/s à $3{,}2 .10^{-2}$ m/s
P. de Bolagh de $1{,}3.10^{-3}$ m/s à $1{,}05 .10^{-2}$ m/s
P. de G. Beigounde $1{,}3.10^{-2}$ m/s à $3{,}4 .10^{-2}$ m/s

L'étude des fluctuations des nappes entre les périodes de "hautes-eaux" et de "basses-eaux" nous a permis de connaître les variations piézométriques dans chacune des plaines qui sont :

	Pendant basses-eaux	Pendant hautes-eaux
P. de Fassa	- 1,25 m	+ 1,39 m
P. de G. Bolagh	- 2,83	+ 2,36
P. de G. Beigoun	- 1,01	+ 1,30

L'étude des propriétés physico-chimiques des eaux souterraines montre que la plupart des eaux souterraines de la plaine de Fassa et de celle de Gharabeigoun sont sulfatées à chlorurées suivant les secteurs, mais que celles de la plaine de Gharabolagh, en raison de son alimentation par le substratum calcaire sont bicarbonatées.

Nous avons classé les eaux issues des différentes zones en différents faciès. En comparant ces faciès entre eux, nous avons pu vérifier le système d'écoulement de l'aquifère.

Quant au calcul du bilan, nous avons essayé de calculer le bilan hydrogéologique pour l'année 1971-1972, connaissant les apports et les prélèvements, par l'équation classique.

Le calcul des débits de l'écoulement souterrain à travers les sections amont et aval du volume d'eau qui s'infiltre soit par les lits des cours d'eau, soit par le substratum montre que dans la plaine de Fassa et celle de Gharabeigoun existe une alimentation satisfaisante vis à vis du régime d'exploitation actuel, et qu'il est possible d'augmenter les

prélèvements dans la nappe de ces plaines respectivement d'environ 20 % et 10 %, sans compromettre les réserves permanentes. Par contre, dans la plaine de Gharabolagh, on remarque que, le bilan est déficitaire.

Le débit exploitable est donc fonction des infiltrations dans les lits des cours d'eau et des précipitations dans les parties montagneuses de la région.

La confrontation des données du bilan et des caractéristiques hydrodynamiques montre que les valeurs calculées à partir des essais de pompage et des études granulométriques mais surtout à partir de la méthode de Rorabaugh, pour ce qui concerne le coeffficient d'emmagasinement sont assez proches de la réalité.

X-2- CONCLUSIONS GENERALES

En terminant ici notre étude, nous pensons avoir mis en évidence la plupart des caractéristiques hydrogéologiques de cette région jusqu'ici peu connue, du fait de son isolement relatif.

L'étude hydrogéologique de ce bassin versant, nous a permis d'apporter un certain nombre de précisions et de données sur le régime des eaux superficielles et souterraines dans les régions arides à semi-arides. C'est la co-naissance détaillée de la géologie de la région qui permet de définir les possibilités hydrogéologiques et hydrauliques des ensembles décrits, de prévoir la qualité des eaux rencontrées et d'expliquer les systèmes d'écoulements.

Nous avons essayé de passer du stade de l'étude qualitative à celui de l'étude quantitative, c'est-à-dire de chiffrer et de prévoir l'utilisation et la gestion des réserves découvertes. Ce travail est possible grâce aux données obtenues.

Comme nous venons de le voir, l'exploitation actuelle dans la région étudiée est loin d'être négligeable ($67 + 70 + 31 = 168.10^6$ m3/an au total respectivement dans les plaines de Fassa, G. Bolagh et G. Beigoun). Les ressources exploitables peuvent alors se définir ainsi : volume correspondant à l'exploitation actuelle et volume supplémentaire pouvant être extrait du réservoir (à l'exception de la plaine de Gharabolagh), l'exploitation conjuguée de ces deux volumes devant respecter un certain nombre de contraintes préalablement fixées.

La prolongation de l'exploitation actuelle sur un certain nombre d'années montre, l'épuisement partiel des réserves non renouvelables dans la plaine de Gharabolagh.

Cette étude a mis en évidence le caractère dangereux, sinon catastrophique, de l'exploitation anarchique et intensive de la nappe de Gharabolagh dont la recharge est très faible. Un contrôle systématique et divers procédés doivent être envisagés dans cette plaine afin de limiter la baisse brutale du niveau piézométrique :

- une règlementation et un contrôle du forage des nouveaux puits ;

- un contrôle du niveau piézométrique pour suivre les conditions prévues pour l'exploitation future ;
- la création d'écluses stockant les eaux de ruissellement, pour permettre l'injection des eaux dans la nappe, afin d'éviter les pertes en sortant de la plaine, mais les eaux salées de nombreuses rivières s'avèrent inutilisables ;
- une meilleure connaissance des besoins en eau des plantes et de leur tolérance aux eaux salées.

Il serait également fondamental de réaliser une étude complète des apports en eaux qui se produisent en profondeur sous les plaines depuis les massifs calcaires et dont nous avons constaté les effets tout au long de notre étude sans pouvoir les chiffrer. L'alimentation occulte des nappes depuis les versants montagneux est un fait important, connu dans d'autres régions d'Iran (Chiraz, Kerman) mais dont l'étude quantitative ne pourra être réalisée qu'à partir de forages profonds et d'analyses de la composition isotopique des eaux et nécessitera de ce fait de longs délais.

Les estimations quantitatives que nous avons réalisées sont en effet à confirmer et seule une expérimentation plus poussées et plus précise peut permettre de parvenir à une meilleure connaissance des phénomènes. Malgré ses imprécisions liées à un manque de moyens sur le terrain et à l'impossibilité de faire appel à des techniques de plus en plus évoluées, nous espérons que notre étude sera utile non seulement pour la région de Fassa, mais pourra servir de base de comparaison avec d'autres régions de l'Iran où la connaissance des valeurs de l'infiltration, des apports depuis le bedrock et du coefficient d'infiltration reste un problème véritablement crucial sur les plans scientifique et pratique qui sont indissociables en hydrogéologie plus peut être qu'en toute autre spécialité.

o o

o

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

ABKAV Ingénieurs conseils (1971).- Etude géophysique par prospection électrique dans la région de Fassa et la plaine de Gharabolagh (Ministère de l'eau et de l'électricité).

ALLEMMOZ M. (1976).- Alimentation des nappes en pays arides. Etude de l'infiltration et de l'évapotranspiration en Tripolitaine (Libye), thèse 3e cycle, Université de Grenoble.

ARMAND C., DELAQUAIZE B. (1977).- Analyse physico-chimique des eaux. Mémento pratique. Université de Grenoble, Institut Dolomieu.

ASTIER J.-L. (1971).- Géophysique appliquée à l'hydrogéologie.

BERKALOFF E. (1970).- Interprétation des pompages d'essai. Bull. B.R.G.M. (2) III-I.

BLAVOUX B. (1965).- Les sources minérales d'Evian. Etude climatologique, hydrogéologique et hydrochimique des formations fluvio-glaciaires quaternaires du Bas-Chablais. Thèse 3e cycle, Faculté des sciences de l'Université de Paris.

BOGOMOLOV G., SILIN-BETCHOURINE A.I. (1955).- Hydrogéologie spécialisée. Moscou.

BOGOMOLOV G. (1962).- Hydrogéologie et notions de géologie d'ingénieur, Moscou, 278 p.

BONNET M. (1970).- Critique de la notion d'essai de puits, Bull. B.R.G.M. (2) III-I.

B. R. G. M. (1972).- La station expérimentale d'étude des mouvements de l'eau dans la zone non saturée au Service géologique national à Orléans-la-Source. 72-SGN-295 AME (Rapport interne).

CASTANY G. (1962).- Méthodes d'études et de recherches des nappes aquifères. B.R.G.M.

CASTANY G. (1963)/- Traité pratique des eaux souterraines. Dunod, Paris.

CASTANY G. (1968).- Prospection et exploration des eaux souterraines, Dunod - Paris.

C. G. G. (1970).- Prospection hydrogéologique par sondages électriques dans la région de Fassa (Ministère de l'eau et de l'électricité - Iran).

CHERNYSHEV S.N. (1972).- Estimation de la perméabilité des roches jointives en massif, International Society for rock mechanics. Proceeding sumposium Stuttgart.

DEGALLIER R. (1968).- Interprétation des variations naturelles du niveau des nappes souterraines. Secrétariat permanent pour l'étude des problèmes de l'eau.

DEMATONNEE (1957).- Traité de géographie physique. Tome 1 : Notions générales de climatologie et hydrographie. Librairie Armand-Colin.

DERIDDER N.A. (1967).- Quelques remarques importantes concernant la détermination du "Specific yield" des divers sédiments. Pub. Ministère de l'eau et de l'électricité (Projet de varamin).

DE WIEST R.J.M. (1965).- Geohydrology Princeton University. Ed. Joh, Wiley et Sons, Inc. New-York.

DUPRAT A., SIMLER L. et UNGEMACH P. - Contribution de la prospection électrique à la recherche des caractéristiques hydrodynamiques d'un milieu aquifère. Extrait de "Terres et eaux", vol. XXIII, n° 62.

EGHBALI A. (1967).- Hydrogéologie. Université de Téhéran, Pub. n° 1112-1.

EGHBALI A. (1967).- Hydrogéologie Université de Téhéran, Pub. n° 1112-2.

ELBATTI D. (1974).- Hydrogéologie de la plaine d'Enfidaville, thèse de 3e cycle. Université de Grenoble.

ENGALENC M. (1968).- Contribution à la géologie, géomorphologie, hydrogéologie de la région de Téhéran. Thèse d'Etat, Montpellier.

FORKASIEWICZ J. (1970).

. Etablissement du programme des pompages d'essai. Bull. B.R.G.M. (2) 111-1.

. Guide bibliographique méthodique sur l'interprétation des données de pompages d'essai (évaluation des paramètres des aquifères). Bull. B.R.G.M. (2) - 111-1.

FOROUGHI H. (1976).- Contribution à l'étude des nappes en pays aride. Essai de bilan hydrogéologique de la nappe de Kerman (Iran). Université de Grenoble - Thèse docteur ingénieur.

GEOLOGICAL map of Iran (1959).- par N.I.O.C. 1 : 2,500 000.

GEOLOGICAL maps (1963).- South west of Iran 1 : 250 000.

GEOLOGICAL maps (1969).- South west of Persia 1 : 1 000 000

GEOLOGICAL Survey of Iran (1971).- Stratigraphic Lexicon of Iran. Part I : Central, North and East Iran.

GEOLOGICAL Survey of Iran - Complited by STOCKLIN and NABAVI, 1 : 250 000.

INSTITUT d'Hydrologie de l'Iran. Etude de la région de Chiraz. Pub. n° 18.

IRANIAN METEOROLOGICAL (1963-73).- Meteorological year book Department.

IRAN-PANAH A. (1968-.- Géologie structurale. Université de Téhéran, Pub. n° 1184.

JAMES G.A. and WYND J.C. (1965).- Stratigraphic nomenculature of Iranien oil consortium Agrement Area Am. Assoc. pet. Geologist. vol. 49 n° 12.

JEREMIE J.J. (1976).- Contribution à l'étude des paramètres hydrologiques de la région Lémanique - Thèse 3e cycle - Université Pierre et Marie Curie (Paris VI).

KHIABANI-DALILI N. (1973).- Rapport de reconnaissance des eaux souterraines de la région de Fassa. Pub. n° 141 et 154, Ministère de l'eau et de l'électricité. Département des eaux souterraines.

KRUREMAN G.P., DE RIDDER N.A. et MEILHAC A. (1974).- Interprétation et discussion des pompages d'essai. Bul. 11 F.

LAHNI M. (1971).- Hydrologie de la région de Fassa, rapport n° 93. Département des eaux souterraines.

LEMORDANT Y. (1977).- Infiltration et transfert des eaux souterraines en pays karstique. Le plateau du Mont Revard (Savoie). Thèse 3e cycle, Université de Trenoble.

LETOURNEUR J. et MICHEL R. (1971).- Géologie du Génie Civil. Ed. Dunod - Paris.

MAILLAND-ROSSET G. (1976).- Etude d'un aquifère profond hétérogène en zone aride : plaine du Wadi Al Hira et du Wadi Abu Shaybah Tripolitaine (Libye). Thèse 3e cycle. Université de Grenoble.

MAHVI M.R. (1977).- Alimentation d'un aquifère hétérogène en pays aride. Hydrogéologie de la plaine de Mehmandoust (Iran). Thèse de 3e cycle, Université de Grenoble.

MANGIN A. (1975).- Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Thèse de Docteur es-Sciences. Université de Dijon.

MORETTE A. (1964).- Précis d'Hydrologie. Ed. Masson et Cie - Paris.

NABAVI M.H. (1976).- Une introduction sur la géologie de l'Iran. Pub. G.S.I.

N.A.S. (1974).- More water for arid lands - Promising technologies and reseach opportunities. National Academy of Science (U.S.A.).

NICOUD G. (1973).- Hydrogéologie de la Haute vallée du Chéran massif des Bauges (Savoie). Thèse 3e cycle, Université de Grenoble.

RASHIDI H. (1971).- Rapport des essais de pompage. Ministère de l'eau et de l'électricité, Département des eaux souterraines.

REMENIERAS G. (1960).- L'Hydrologie de l'Ingénieur Ed. Eyrolles Paris.

RODIER J. (1966).- L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Edd. Dunod - Paris.

RORABAUGH M. I. and SIMONS W.D. (1966).- Exploration.of methode of relating ground water to surface columbia river basin second phase : U.S. Geological Survey.

RORABAUGH M. I. (1969).- Bull. du B.R.G.M. sect. III.

SABETI H. (1969).- Les études bioclimatiques de l'Iran. Université de Téhéran - Pub. n° 1231.

SAHABI Cy. (1940).- Géologie générale. Pub. Université de Téhéran.

SARROT-REYNAULD J. (1964).- Hydrogéologie dans le massif du Vercors. Association internationale des hydrogéologues. Mémoires 5, réunion d'Athènes, 1962.

SCHOELLER H. (1959).- Hydrologie des régions arides. Progrès récents U.N.E.S.C.O.

SCHOELLER H. (1962).- Les eaux souterraines. Ed. Masson Paris.

S.P.E.P.E. (1972).- Etude des mouvements de l'eau dans les sols non saturés. Secrétariat permanent pour l'étude des problèmes de l'eau. Réunion de Versailles. 20-21 janvier.

STOECKLIN J. (1960).- A review of the structural history and tectonics of Iran. Geotektonika n° 1.

STOECKLIN J. (1968).- Salt deposits of the middle East. Geological Society of America special. paper 88.

TEHRANI Kh. (1971).- Stratigraphie de l'Est et du Sud de l'Iran. Mémoires de la Fac. Ing. de Téhéran n° 18-19.

TEHRANI Kh. (1974).- Stratigraphie. Université de Téhéran n° 1452.

TODD D. K. (1959).- Ground water hydrology. Ed. John Wiley et Sons, Inc. New-York.

VISTAMEHRE H. (1972).- Etude hydrogéologique du bassin versant de Zayanderud. Iran. Thèse Montpellier.

ZAMANKHAN M. (1975).- Hydrogéologie du bassin versant du Moharlu. Hydrodynamique des massifs calcaires de la région de Chiraz (Iran). Thèse de Docteur es-Science. Université de Grenoble.

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Pages

CHAPITRE I :

Fig. I-1 - Situation géographique de la région de Fassa..... 5
Fig. I-2 - Carte topographique et climatologique..... 7
Tab. I-3 - Répartition de la superficie par tranches d'altitude..... 9
Fig. I-4 - Courbe hypsométrique du bassin versant..... 10

CHAPITRE II :

Tab. II-1 - Situation géographique des stations..... 16
Fig. II-2 - Variations des précipitations annuelles..... 17
Tab. II-3 - Précipitations mensuelles pour la période 1959-1971..... 18
Tab. II-4 - Précipitations et pourcentages saisonniers..... 19
Fig. II-5 - Précipitations mensuelles et saisonnières..... 20
Tab. II-6 - Précipitations moyennes mensuelles, saisonnières et coefficient pluviométrique relatif..... 22
Tab. II-7 - Indices pluviométriques mensuels et annuels..... 22
Fig. II-8 - Fréquences pluviométrique mensuelles..... 23
Tab. II-9 - Précipitations annuelles pour la période 1965-1970..... 25
Fig. II-10 - Droite du gradient altimétrique de précipitation..... 26
Tab. II-11 - Répartition de la superficie par tranche d'altitude et calcul de la lame d'eau moyenne tombée sur le bassin versant de Fassa..... 27
Fig. II-12 - Carte des isohyètes pour la période de 1965-1971..... 28
Tab. II-13 - Températures moyennes mensuelles..... 31
Tab. II-14 - Ecarts des températures absolues..... 31
Fig. II-15 - Températures moyennes mensuelles pour la période 1959-1971. 32
Tab. II-16 - Moyenne des jours de gelées..... 33
Fig. II-17 - Variations d'humidité relative et évaporation mesurée..... 32
Tab. II-18 - Humidité relative moyenne..... 34
Fig. II-19 - Diagramme ombrothermique..... 35
Fig. II-20 - Courbe de variation de l'évaporation..... 36
Tab. II-21 - Evaporation moyenne mensuelle..... 37
Tab. II-22 - Les résultats de l'Ep mensuelle selon la méthode de Turc... 40
Tab. II-23 - Les résultats de l'Ep mensuelle selon la méthode de Penman. 41
Fig. II-24 - Variations des Ep selon des méthodes de Turc et Penman..... 36
Tab. II-25 - Bilan hydrologique du bassin versant à partir de la méthode de Thornthwaite..... 43
Fig. II-26 - Bilan hydrologique moyen annuel de l'eau (1959-1971)..... 44
Fig. II-27 - Profils longitudinaux des cours principaux de Roud-e-Chour. 48

Pages

CHAPITRE III :

Fig. III-1 - Carte géologique de la région de Fassa..... 59
Fig. III-2 - Colonne géologique du Fars..... 62
Fig. III-3 - Carte tectonique schématique de l'Iran..... 74
Fig. III-4 - Coupes géologiques de la région de Fassa..... 76
Tab. III-5 - Localisation des ghanates et des sources alimentées par les calcaires de As-Dj et Dj..... 79

CHAPITRE IV :

Fig. IV-1 - Les profils géophysiques (avec emplacement des forages de reconnaissance)..... 88
Fig. IV-2 - Quelques types de S.E. (P. de Fassa)..... 90
Fig. IV-3 - Les profils géophysiques..... 102
Fig. IV-4 - Quelques types de S.E. (P. de G.beigoun)..... 91
Fig. IV-5 - Carte des résistivités (P. de Fassa)..... 93
Fig. IV-6 - Carte des résistivités (P. de G.beigoun)..... 94
Fig. IV-7 - Carte des résistances transversales (P. de Fassa)..... 95
Fig. IV-8 - Carte des résistances transversales (P. de G.beigoun)..... 96
Fig. IV-9 - Carte du toit du substratum (P. de Fassa)..... 97
Fig. IV-10 - Carte du toit du substratum (P. de G.beigoun)..... 99
Fig. IV-11 - Quelques types de S.E. (P. de G.bolagh)..... 103
Fig. IV-12 - Carte de résistivité (P. de G.bolagh)..... 104
Fig. IV-13 - Carte des résistances transversales (P. de G.bolagh)..... 106
Fig. IV-14 - Carte du toit du substratum..... 107

CHAPITRE V :

Tab. V-1 - Caractéristiques générales des forages..... 138
Tab. V-2 - Caractéristiques générales des piézomètres..... 139
Tab. V-3 - Essai de rabattement par paliers (forage 6.I.8)..... 114
Tab. V-4 - Droites rabattement - débit et débit spécifique (forage 6.I.8) 115
Tab. V-5 - Coupe lithologique du forage 7.J.35..... 117
Tab. V-6 - Essai de rabattement par paliers (forage 8.K.12)..... 119
Fig. V-7 - Droites rabattement - débit et débit spécifique (forage 8.K.12)..... 115
Tab. V-8 - Essai de rabattement et de remontée (forage 11.L.8)..... 121
Fig. V-9 - Coupe lithologique du forage 17.J.45..... 122
Tab. V-10 - Essai de rabattement et de remontée (forage 17.J.45)..... 124
Tab. V-11 - Essai de rabattement par paliers (forage 17.J.45)..... 124
Fig. V-12 - Droites rabattemement débit et débit spécifique (forage 17.J.45)..... 126
Tab. V-13 - Essai de remontée par paliers (forage 17.J.46)..... 127
Fig. V-14 - Droite rabattement - débit spécifique (forage 17.J.46)..... 126
Tab. V-15 - Essai de rabattement et de remontée (forage 17.J.46)..... 128
Tab. V-16 - Essai de rabattement (forage 14.J.16)..... 129
Tab. V-17 - Essai de rabattement par paliers (forage 9.M.31)..... 132
Fig. V-18 - Droites de rabattement - débit et débit spécifique (forage 9.M.31)..... 133
Tab. V-19 - Essai de rabattement et de remontée (forage 11.0.23)..... 134
Tab. V-20 - Coupe lithologique du forage 12.P.25..... 117

Pages

Fig. V-21 - Essai de rabattement et de remontée (forage 12.P.25)..... 136
Fig. V-22 - Essai de rabattement par paliers de débit (forage 12.P.25).. 136
Fig. V-23 - Droite de rabattement - débit et débit spécifique (forage 12.P.25)..... 133

CHAPITRE VI :

Fig. VI-1 - Courbe de rabattement - logt du forage et du piézomètre 6.I.8..... 150
Fig. VI-2 - Courbe du log = f (log x^2/t) du forage 6.I.8..... 150
Fig. VI-3 - Courbe de la remontée - log t/t' du forage et du piézomètre 6.I.8..... 151
Tab. VI-4 - Résultat du calcul du S à partir de la granulométrie (forage 6.I.8)..... 152
Fig. VI-5 - Droite du rabattement - log x du forage 6.I.8..... 151
Fig. VI-6 - Courbe du rabattement spécifique - logt du forage et du rabattement - logt du piézomètre 7.J.35..... 154
Fig. VI-7 - Courbe du log = f (log s2/t) du forage 7.J.35..... 154
Fig. VI-8 - Courbe de la remontée - log t/t' du forage et du piézomètre 7.J.35..... 156
Tab. VI-9 - Résultat du calcul du S à partir de la granulométrie (forage 7.J.35)..... 157
Fig. VI-10 - Droite du rabattement - log x du forage 7.J.35..... 151
Fig. VI-11 - Courbe du rabattement spécifique - logt du forage et du piézomètre 8.K.12..... 156
Fig. VI-12 - Courbe du log = f (log x^2/t) du forage 8.K.12..... 159
Fig. VI-13 - Courbe de la remontée - log t/t' du forage 8.K.12..... 159
Tab. VI-14 - Résultat du calcul du S à partir de la granulométrie (forage 8.K.12)..... 160
Fig. VI-15 - Droite du rabattement - log x du forage 8.K.12..... 151
Fig. VI-16 - Courbe du rabattement spécifique - logt du forage et du rabattement - logt du piézomètre 11.L.8..... 162
Fig. VI-17 - Courbe de la remontée - log t/t' du forage et du piézomètre 11.L.8..... 164
Fig. VI-18 - Courbe du log = f (log x^2/t) du forage 11.L.8..... 162
Tab. VI-19 - Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie (forage 11.L.8)..... 163
Fig. VI-20 - Droite du rabattement - log x du forage 11.L.8..... 151
Fig. VI-21 - Courbe du rabattement - log t du forage et du piézomètre 17.J.45..... 164
Fig. VI-22 - Courbe du log = f (log x^2/t) du forage 17.J.45..... 166
Fig. VI-23 - Courbe de la remontée - log t/t' du forage et du piézomètre 17.J.45..... 166
Tab. VI-24 - Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie (forage 17.J.45)..... 167
Fig. VI-25 - Droite du rabattement - log x du forage 17.J.45..... 170
Fig. VI-26 - Courbe du rabattement - logt du forage et du piézomètre 17.J.46..... 168
Fig. VI-27 - Courbe du log = f (log x^2/t) du forage 17.J.46..... 168
Fig. VI-28 - Courbe de la remontée - log t/t' du forage et du piézomètre 17.J.46..... 170
Fig. VI-29 - Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie (forage 17.J.46)..... 171
Fig. VI-30 - Droite du rabattement - log x du forage 17.J.46..... 170
Fig. VI-31 - Courbe du rabattement - logt du forage et du piézomètre 17.J.16..... 172
Fig. VI-32 - Courbe du log = f (log x^2/t) du forage 14.J.16..... 172
Fig. VI-33 - Courbe de la remontée - log t/t' du forage et du piézomètre 14.J.16..... 174

Pages

Tab. VI-34 - Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie (forage 14.J.16)..... 175
Fig. VI-35 - Droite de rabattement - log x du forage 14.J.16..... 170
Fig. VI-36 - Courbe du rabattement - logt du forage et du piézomètre 9.M.31..... 174
Fig. VI-37 - Courbe du log = f (log x^2/t) du forage 9.M.31..... 177
Fig. VI-38 - Courbe de la remontée - logt/t' du forage et du piézomètre 9.M.31..... 177
Tab. VI-39 - Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie (forage 9.M.31)..... 178
Fig. VI-40 - Droite du rabattement - log x du forage 9.M.31..... 182
Fig. VI-41 - Courbe du rabattement - log t et de la remontée - log t/t' du forage 11.0.23..... 180
Tab. VI-42 - Résultat du calcul du S à partir de la granulométrie (forage 11.0.23)..... 181
Fig. VI-43 - Courbe du rabattement spécifique - logt du forage et du rabattement - logt du piézomètre 12.P.25..... 182
Fig. VI-44 - Courbe de la remontée - log t/t' du forage 12.P.25..... 180
Tab. VI-45 - Résultat du calcul de S à partir de la granulométrie (forage 12.P.25)..... 184
Fig. VI-46 - Droite du rabattement - log x du forage 12.P.25..... 182
Tab. VI-47 - Caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères.. 186

CHAPITRE VII :

Fig. VII-1 - Carte de situation des points d'eau et de la profondeur de la nappe de la plaine de Fassa..... 190
Fig. VII-2 - Carte de situation des points d'eau de la plaine de Gharabolagh..... 191
Fig. VII-3 - Carte de situation des points d'eau de la plaine de Gharabeigoun..... 192
Fig. VII-4 - Carte piézométrique de la plaine de Fassa (Basses eaux)... 195
Fig. VII-5 - Carte piézométrique de la plaine de Gharabolagh (basses eaux)..... 196
Fig. VII-6 - Carte piézométrique de la plaine de Gharabeigoun (basses eaux)..... 197
Fig. VII-7 - Carte piézométrique de la plaine de Fassa (hautes eaux)... 199
Fig. VII-8 - Carte piézométrique de la plaine de Gharabolagh (hautes eaux)..... 200
Fig. VII-9 - Carte piézométrique de la plaine de Gharabeigoun (hautes eaux)..... 201
Fig. VII-10 - Courbe de tarissement de la source n° 10.C.8 (Maillet)... 207
Fig. VII-11 - " " " " " n° 10.C.9 " 207
Fig. VII-12 - " " " " " n° 13.C.1 " 207
Fig. VII-13 - " " " " " n° 13.D.1 " 207
Fig. VII-14 - Courbe de tarissement de la source n° 10.C.8 (Tison)..... 212
Fig. VII-15 - " " " " " n° 10.C.9. " 212
Fig. VII-16 - " " " " " n° 13.C.1. " 212
Fig. VII-17 - " " " " " n° 13.D.1 " 212
Tab. VII-18 - Comparaison des valeurs des coefficients de tarissement... 216

Pages

CHAPITRE VIII :

Fig. VIII-1 - Carte des types d'eaux et de salinité (P. de Fassa)..... 221
Fig. VIII-2 - " " " " (P. de G.bolagh)..... 222
Fig. VIII-3 - " " " " (P. de G.beigoun)..... 224
Fig. VIII-4 - Carte de conductivité et S.A.R. de la nappe (P. de Fassa)... 226
Fig. VIII-5 - " " " " (P. de G.bolagh) 227
Fig. VIII-6 - " " " " (P. de G.beigoun) 228
Fig. VIII-7 - Carte de teneur en chlore des eaux de la nappe
Fig. VIII-8 - " " " " " (P. de Fassa)... 230
Fig. VIII-9 - " " " " " (P. de G.bolagh) 231
" (P. de G.beigoun) 232
Fig. VIII-10 - Diagramme logarithmique (groupe bicarbonatée calcique)..... 234
Fig. VIII-11 - " " " "..... 234
Fig. VIII-12 - " " " "..... 235
Fig. VIII-13 - " " " "..... 235
Fig. VIII-14 - Diagramme logarithmique (groupe bicarbonaté sodique)..... 237
Fig. VIII-15 - " " " "..... 237
Fig. VIII-16 - " " " "..... 237
Fig. VIII-17 - " " (groupe chloruré sodique)..... 238
Fig. VIII-18 - Classification des eaux d'irrigation..... 240
Tab. VIII-19 - Principales caractéristiques physico-chimiques..... 241
Tab. VIII-20 - Classification des eaux d'après leur potabilité..... 242
Tab. VIII-21 - Classification des eaux des plaines..... 243
Fig. VIII-22 - Diagramme de potabilité des eaux..... 240

CHAPITRE IX :

Tab. IX-1 - Exploitation des eaux souterraines dans la région de Fassa.... 249
Tab. IX-2 - Caractéristiques détaillées des points d'eau..... 250
Fig. IX-3 - Figures schématiques..... 253
Tab. IX-4 - Calcul de T/S et de S (P. de Fassa)..... 254
Tab. IX-5 - " " " (P. de G.bolagh)..... 255
Tab. IX-6 - " " " (P. de G.beigoun)..... 256
Tab. IX-7 - Les valeurs d'hydrodynamique obtenues..... 258
Tab. IX-8 - Répartition altimétrique du substratum (P. de Fassa)..... 259
Tab. IX-9 - " " " (P. de G.bolagh)..... 260
Tab. IX-10 - " " " (P. de G.beigoun)..... 260
Fig. IX-11 - Hydrogramme unitaire (P. de Fassa)..... 262
Fig. IX-12 - " " (P. de G.bolagh)..... 263
Fig. IX-13 - " " (P. de G.beigoun)..... 264
Tab. IX-14 - Paramètres permettant de calculer les réserves régulatrices... 265
Tab. IX-15 - " " " " " " permanentes.... 266
Tab. IX-16 - Calcul du gradient hydraulique moyen..... 268

TABLE DES MATIERES
==========

TABLE DES MATIERES

Pages

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

CHAPITRE I - INTRODUCTION

I-1- But et méthode de l'étude..... 3
I-2- Géographie et limite de la région..... 4
I-3- La superficie et division du bassin versant..... 6
I-4- Répartition altitudinale du bassin versant..... 6
I-5- Forme du bassin versant..... 9
I-6- Conclusion..... 11

CHAPITRE II - ASPECTS HYDROLOGIQUES DE LA REGION DE FASSA
PRINCIPAUX FACTEURS

II-1- Climatologie..... 15
II-2- Situation géographique des stations..... 16
II-3- Pluviométrie..... 18

II-3-1- Fréquence des précipitations..... 24
II-3-2- Ecarts des précipitations annuelles..... 24
II-3-3- Calcul de la lame d'eau précipitée..... 24
1°) Méthode de Thiessen..... 24
2°) Méthode arithmétique..... 25
3°) Méthode de gradient altimétrique des précipitations..... 27
4°) Méthode des isohyètes..... 29
II-3-4- Précipitations solides..... 31
II-4- Température..... 31

II-4-1- Régime thermique annuel..... 33
II-4-2- Les gelées..... 33
II-4-3- Humidité..... 33
II-4-4- Définition du climat de la région (aridité)..... 34

II-5- Evaporation..... 35

II-6- Evapotranspiration..... 37

A - Calcul de l'évapotranspiration réelle annuelle..... 37
II-6-1- Selon la méthode de L. Turc..... 37
II-6-2- Selon la méthode de A. Coutagne..... 37

B- Calcul de l'évapotranspiration potentielle..... 39
II-6-3- Selon la méthode de Turc..... 39
II-6-4- Selon la méthode de Penman..... 40
II-6-5- Selon la méthode de G.W. Thornthwaite..... 41
II-6-6- Calcul de l'évapotranspiration réelle selon le bilan hydrologique..... 42
II-6-7- Conclusion..... 46

Pages

II-7- Réseau hydrographique..... 47

a) Oued de Abnarak ou Djafarabad..... 47
b) Oued de Dobaneh..... 47
c) Oued de Akbarabad..... 47
d) Oued de Vasselabad

II-7-1- Régime du Roud-e-Chour à la station de Tamchir..... 49

II-8- Bilan hydrologique..... 50

II-8-1- Bilan hydrologique de la plaine..... 50
II-8-2- Bilan hydrologique sur les reliefs..... 51
II-8-3- Bilan hydrologique du bassin versant..... 52
II-8-4- Conclusion..... 52

II-9- Conclusion générale du chapitre

CHAPITRE III - SITUATION GEOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA REGION DE FASSA

Introduction..... 57

III-1- Stratigraphie..... 57

III-1-1- Infracambrien..... 57
III-1-2- Ere secondaire..... 58
III-1-2-1- Crétacé..... 58
III-1-2-1-1- Conditions de sédimentation 58
III-1-2-1-2- Crétacé inférieur..... 61
Groupe Khami..... 61
. Formation de Fahliyan..... 61
. Formation de Gadvan..... 63
. Formation de Darian..... 63
III-1-2-1-3- Crétacé moyen..... 63
Groupe Banguestan..... 63
. Formation de Kajdomi..... 63
. Formation de Sarvak..... 63

III-1-2-1-4- Crétacé Supérieur 64
. Formation de Gourpi..... 64
. Formation de Tarbour..... 64

III-1-3- Ere tertiaire..... 65

III-1-3-1- Conditions de sédimentation..... 65
III-1-3-2- Paléocène..... 66
. Formation de Satchoun..... 66
III-1-3-3- Eocène..... 66
. Formation de Djahrom..... 66
III-1-3-4- Oligo-Miocène..... 67
. Formation d'Asmari-Djahrom..... 67
III-1-3-5- Miocène inférieur..... 68
. Formation de Razak..... 68
III-1-3-6- Miocène (Groupe du Fars)..... 68

Pages

III-1-3-6-1- Fars inférieur..... 68
. Formation de Gatchsaran..... 68
- Assise de Tchampeh..... 69
- Assise de Mol..... 69

III-1-3-6-2- Fars moyen..... 69
- Formation de Michan..... 69
- Assise de Gouri..... 69

III-1-3-6-3- Fars supérieur..... 70
- Formation d'Aghadjari..... 70

III-1-3-7- Pliocène..... 70
- Formation Bakhtiari..... 70

III-1-4- Ere Quaternaire..... 71
- Les formations de couverture..... 71

III-1-4-1- Les alluvions anciennes..... 71
III-1-4-2- Les alluvions récentes..... 71
III-1-4-3- Les cônes de déjections..... 72
III-1-4-4- Les éboulis..... 72
III-1-4-5- Les limons..... 73

III-2- Tectonique 73

III-2-1- Structure générale du Sud de l'Iran..... 73
III-2-2- Classification de zone du Zagros..... 73
1°) La zone plissé du Zagros..... 73
2°) La zone de chevauchement du Zagros..... 75
III-2-3- Tectonique du bassin versant de Fassa..... 75

III-3- Paléogéographie..... 77

III-4- Caractéristiques hydrogéologiques des diverses formations 77

III-4-1- Les calcaires de l'Eocène (F. de Djahrom)..... 78
III-4-2- Les calcaires de l'Oligo-Miocène (F. de As-Dj).... 80
III-4-3- Les calcaires du Crétacé (Kgp et Bgp)..... 80
III-4-4- Les formations de conglomérats..... 81
III-4-5- Les alluvions et les cônes de déjections..... 81
III-4-6- Les formations imperméables..... 81

III-5- Résumé..... 82

III-6- Conclusion générale du chapitre..... 82

CHAPITRE IV - ETUDE GENERALE DES ALLUVIONS PAR PROSPECTION GEOPHYSIQUE

- Introduction..... 87

IV-1- Interprétation des résultats obtenus dans les plaines de Fassa et de Gharabeigoun..... 89

IV-1-1- Interprétation des résultats à partir des profils dans la plaine de Fassa..... 89
IV-1-2- Interprétation des résultats à partir des profils dans la plaine de Gharabeigoun..... 89
IV-1-3- Interprétation de la carte de résistivité (AB=600m) 92

Pages

IV-1-4- Interprétation de la carte des résistances transversales R.T..... 98
IV-1-5- Interprétation de la carte du substratum..... 98
IV-1-6- Conclusion..... 100

IV-2- Interprétation des résultats obtenus dans la plaine de Gharabolagh..... 101

IV-2-1- Interprétation des résultats à partir des profils résistivités..... 101
IV-2-2- Interprétation de la carte de résistivité..... 105
IV-2-3- Interprétation de la carte des résistances transversales..... 105
IV-2-4- Interprétation de la carte du substratum..... 105
IV-2-5- Conclusion..... 108

CHAPITRE V - LES FORAGES DE RECONNAISSANCE SUR LES ALLUVIONS DU BASSIN VERSANT ET LES ESSAIS DE POMPAGE

- Introduction..... 111

A - Les forages sur les alluvions de la plaine de Fassa.... 111

V-1- Forage de reconnaissance 6.I.8..... 111

V-1-1- Ouvrage de sondage..... 111
V-1-2- Les travaux de sondage..... 111
V-1-3- Lithologie des échantillons..... 112
V-1-4- Les essais de pompage..... 112
- Développement et nettoyage..... 112
- Essai de rabattement..... 112
- Essai de remontée..... 113
- Les mesures simultanées dans le piézomètre..... 113
- Essai de rabattement par paliers..... 113
V-1-5- Droites rabattement-débit et débit spécifique..... 114

V-2- Forage de reconnaissance 7.J.35..... 114

V-2-1- Ouvrage de sondage..... 114
V-2-2- Les travaux de sondage..... 114
V-2-3- Lithologie des échantillons..... 116
V-2-4- Les essais de pompage..... 116
- Développement..... 116
- Essai de rabattement..... 116
- Essai de remontée..... 116

V-3- Forage de reconnaissance 8.K.12..... 118

V-3-1- Ouvrage de sondage..... 118
V-3-2- Les travaux de sondage..... 118
V-3-3- Lithologie des échantillons..... 118
V-3-4- Les essais de pompage..... 118
- Développement..... 118
- Essai de rabattement..... 119
- Essai de remontée..... 119
- Les mesures simultanées dans le piézomètre..... 119
- Essai de rabattement par paliers..... 119

Pages

V-3-5- Droite rabattement-débit et débit spécifique..... 120

V-4- Forage de reconnaissance 11.L.8..... 120

V-4-1- Ouvrage de sondage..... 120
V-4-2- Les travaux de sondage..... 120
V-4-3- Lithologie des échantillons..... 120
V-4-4- Les essais de pompage..... 121
- Essai de rabattement et de remontée..... 121

V-5- Forage de reconnaissance 12.K.9..... 121

B - Les forages sur les alluvions de la plaine de Gharabolagh.... 123

V-6- Forage de reconnaissance 17.J.45..... 123

V-6-1- Ouvrage de sondage..... 123
V-6-2- Les travaux de sondage..... 123
V-6-3- Lithologie des échantillons..... 123
V-6-4- Les essais de pompage..... 123
- Développement..... 123
- Essai de rabattement et de remontée..... 123
- Essai de rabattement par paliers..... 124
V-6-5- Droite rabattement-débit et débit spécifique..... 125

V-7- Forage de reconnaissance 17.J.46..... 125

V-7-1- Ouvrage de sondage..... 125
V-7-2- Les travaux de sondage..... 125
V-7-3- Lithologie des échantillons..... 125
V-7-4- Les essais de pompage..... 127
- Développement..... 127
- Essai de remontée par paliers..... 127
V-7-5- Droite-rabattement-débit spécifique..... 127
- Essai de rabattement et de remontée..... 128

V-8- Forage de reconnaissance 14.J.16..... 128

V-8-1- Ouvrage de sondage..... 128
V-8-2- Les travaux de sondage..... 128
V-8-3- Lithologie des échantillons..... 129
V-8-4- Les essais de pompage..... 129
- Essai de rabattement..... 129

C - Les forages sur les alluvions de la plaine de Gharabeigoun... 130

V-9- Forage de reconnaissance 9.M.31..... 130

V-9-1- Ouvrage de sondage..... 130
V-9-2- Les travaux de sondage..... 130
V-9-3- Lithologie des échantillons..... 130
V-9-4- Les essais de pompage..... 131
- Développement..... 131
- Essai de rabattement..... 131
- Essai de remontée..... 131
- Essai de rabattement par paliers..... 131
V-9-5- Droite rabattement-débit et débit spécifique..... 132

Pages

V-10- Forage de reconnaissance 11.0.23..... 132

V-10-1- Ouvrage de sondage..... 132
V-10-2- Les travaux de sondage..... 134
V-10-3- Lithologie des échantillons..... 134
V-10-4- Les essais de pompage..... 134

V-11- Forage de reconnaissance 12.P.25..... 135

V-11-1- Ouvrage de sondage..... 135
V-11-2- Les travaux de sondage..... 135
V-11-3- Lithologie des échantillons..... 135
V-11-4- Les essais de pompage..... 135
- Développement..... 135
- Essai de rabattement..... 135
- Essai de remontée..... 135
- Essai de rabattement par paliers..... 136
V-11-5- Droite rabattement-débit et débit spécifique..... 137

V-12- Conclusion..... 137

CHAPITRE VI - DETERMINATION DES CARACTERES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES DE LA REGION

VI-1- Introduction..... 143

VI-2- Rappel des équations..... 143
- Régime transitoire (Theis)..... 143
- Calcul du coefficient de perméabilité..... 146
- Calcul du coefficient d'emmagasinement par la méthode granulométrique..... 147
. Principe de la méthode..... 147

VI-3- Calcul de T et de S et interprétation des courbes..... 149

A- Plaine de Fassa..... 149

VI-3-1- Forage 6.I.8..... 149
a) Par la méthode graphique d'approximation logarithmique..... 149
b) Par la formule exponentielle intégrale..... 149
c) Par la droite de remontée..... 152
d) Par la méthode granulométrique..... 152
e) Calcul de K..... 153
f) Résultats..... 153

VI-3-2- Forage 7.J.35..... 153
a) Par la méthode graphique..... 155
b) Par la formule exponentielleintégrale..... 155
c) Par la courbe de remontée..... 155
d) Par la méthode granulométrique..... 157
e) Calcul de K..... 157
f) Résultats..... 157

Pages

VI-3-3- Forage 8.K.12..... 158
a) Par la méthode graphique..... 158
b) Par la formule exponentielle intégrale..... 160
c) Par la droite de remontée..... 160
d) Par la méthode granulométrique..... 160
e) Calcul de K..... 161
f) Résultats..... 161

VI-3-4- Forage 11.L.8..... 161

a) Par la méthode graphique..... 161
b) Par la droite de remontée..... 163
c) Par la formule exponentielle intégrale..... 163
d) Par la méthode granulométrique..... 163
e) Calcul de K..... 165
f) Résultats..... 165

B - Plaine de Gharabolagh..... 165

VI-3-5- Forage 17.J.45..... 165
a) Par la méthode graphique..... 165
b) Par la formule exponentielle intégrale..... 167
c) Par la courbe de remontée..... 167
d) Par la méthode granulométrique..... 167
e) Calcul de K..... 169
f) Résultats..... 169

VI-3-6- Forage 17.J.46..... 169

a) Par la méthode graphique..... 169
b) Par la formule exponentielle intégrale..... 171
c) Par la droite de remontée..... 171
d) Par la méthode granulométrique..... 171
e) Calcul de K..... 173
f) Résultats..... 173

VI-3-7- Forage 14.J.16..... 173

a) Par la méthode graphique..... 173
b) Par la formule exponentielle intégrale..... 175
c) Par la droite de remontée..... 175
d) Par la méthode granulométrique..... 175
e) Calcul de K..... 176
f) Résultats..... 176

C - Plaine de Gharabeigoun..... 176

VI-3-8- Forage 9.M.31..... 176

a) Par la méthode graphique..... 176
b) Par la formule exponentielle intégrale..... 178
c) Par la droite de remontée..... 178
d) Par la méthode granulométrique..... 178
e) Calcul de K..... 179
f) Résultats..... 179

Pages

VI-3-9- Forage 11.0.23..... 179

a) par la méthode graphique..... 179
b) Par la méthode granulométrique..... 181
c) Résultats..... 181

VI-3-10-Forage 12.P.25..... 181

a) Par la méthode graphique..... 183
b) Par la courbe de remontée..... 183
c) Par la méthode granulométrique..... 183
d) Calcul de K..... 184
e) Résultats..... 184

VI-4- Conclusion du chapitre..... 185

CHAPITRE VII - HYDROGEOLOGIE - LES EAUX SOUTERRAINES

A - Etude de la piézométrique du réservoir de la région..... 189

VII-1- Introduction..... 189
VII-2- Inventaire des points d'eau..... 189
VII-3- Les moyens d'exploitation des eaux souterraines..... 193
VII-4- Nivellement..... 194
VII-5- Mesures périodiques..... 194
VII-6- Ecoulement de la nappe des alluvions..... 194
- Généralités..... 194
VII-7- Tracé de la carte piézométrique..... 198

VII-7-1- Nappe alluviale de la plaine de Fassa..... 198
VII-7-2- Nappe alluviale de la plaine de Gharabolagh..... 202
VII-7-3- Nappe alluviale de la plaine de Gharabeigoun..... 203

VII-8- Conclusion..... 204

B - Etude hydrodynamique des sources du bassin versant..... 204

VII-9- Courbe de tarissement..... 204
VII-10-Rappel des équations..... 205

VII-10-1- Formule de Maillet..... 205

a) Source Ghompé-Atachkadeh..... 206
b) Source Tchehel-Tchechmeh..... 208
c) Source Neydab..... 209
d) Source Bondarreh..... 210

VII-10-2- Formule de G. Tison..... 211

a) Source Ghomp-é-Atachkadeh..... 211
b) Source Tchehel-Tchechmeh..... 213
c) Source Neydab..... 213
d) Source Bondarreh..... 214

VII-11- Conclusion..... 214

Pages

CHAPITRE VIII - ETUDE DES CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

VIII-1- Introduction..... 219
VIII-2- Présentation - traitement et qualité des analyses..... 219
VIII-3- Interprétation hydrogéologique des propriétés physico-chimiques..... 220

VIII-3-1-Cartes des types d'eaux ou des faciès chimiques 220

a) La plaine de Fassa..... 220
b) La plaine de Gharabolagh..... 223
c) La plaine de Gharabeigoun..... 223

VIII-3-2- Carte de salinité (R.S.)..... 223

a) La plaine de Fassa..... 225
b) La plaine de Gharabeigoun..... 225
c) La plaine de Gharabolagh..... 225

VIII-3-3- Carte des conductivités des eaux souterraines. 225
VIII-3-4- Carte des taux d'absorption de sodium S.A.R... 229
VIII-3-5- Carte des teneurs en chlore..... 229
a) La plaine de Fassa..... 229
b) La plaine de Gharabolagh..... 229
c) La plaine de Gharabeigoun..... 229

VIII-4- Analyses chimiques et représentation graphique des analyses..... 233

VIII-4-1- Les eaux bicarbonatées calciques..... 233
VIII-4-2- Les eaux bicarbonatées sodiques..... 236
VIII-4-3- Les eaux sulfatées sodiques..... 236
VIII-4-4- Les eaux chlorurées sodiques..... 236

VIII-5- Classification des eaux d'irrigation..... 239

VIII-5-1- Classification en fonction de la salinité des eaux et du danger d'alcalinisation des sols... 239
VIII-5-2- Taux d'absorption de sodium (S.A.R.)..... 239

VIII-6- Principales caractéristiques..... 241
VIII-7- Classe de potabilité des eaux souterraines..... 242
VIII-8- Conclusion..... 244

CHAPITRE IX - EVALUATION DES RESSOURCES EXPLOITABLES

- Généralités..... 247

IX-1- Exploitation actuelle..... 247
a) La plaine de Fassa..... 247
b) La plaine de Gharabolagh..... 248
c) La plaine de Gharabeigoun..... 248

IX-2- Réserves en eaux souterraines..... 251
a) Les réserves régulatrices..... 251
b) Les réserves permanentes..... 251
c) Les réserves totales..... 251
d) Les réserves d'exploitables..... 251

Pages

IX-2-1- Etude granulométrique..... 252
IX-2-2- Calcul de T/S par la méthode de Rorabaugh..... 252
IX-2-2-1- Conclusion..... 257
IX-2-3- Essais de pompage..... 257
IX-2-4- Etude géophysique..... 259
IX-3- Fluctuations du niveau de la nappe..... 261
IX-4- Les ressources régulatrices..... 261
IX-5- Les réserves permanentes..... 265
IX-6- Calcul des apports à la nappe à partir des réserves dynamiques..... 267
a) La plaine de Fassa..... 269
b) La plaine de Gharabolagh..... 270
c) La plaine de Gharabeigoun..... 270
IX-7- Calcul des débits de la nappe aux exutoires (débits de fuite en aval)..... 271
a) La plaine de Fassa..... 271
b) La plaine de Gharabolagh..... 271
c) La plaine de Gharabeigoun..... 271
IX-8- Essai de bilan et balance hydrogéologique..... 272
IX-8-1- Apports à la nappe..... 272
IX-8-2- Débits de la nappe à travers les exutoires..... 273
IX-8-3- Prélèvement dans la nappe..... 273
IX-8-4- Réalimentation à partir des prélèvements..... 273
IX-8-5- Evaporation par la surface de la nappe..... 273
IX-8-6- Drainage de la nappe..... 274
IX-8-7- Alimentation par le substratum et/ou le lit des oueds..... 274
IX-9- Confrontation des éléments du bilan et des caractéristiques hydrodynamiques..... 275
IX-10-Conclusions générales du chapitre..... 278

CHAPITRE X - RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS ET CONCLUSION GENERALE

X-1 - Résumé des principaux résultats obtenus..... 283
X-2- Conclusion générale..... 288

BIBLIOGRAPHIE..... 293
LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX..... 301
TABLE DES MATIERES..... 309

BIBLIOTHÈQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

VU

Grenoble, le 18 septembre 1978

Le Président de la thèse

Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le 25 septembre 1978

Le Président de l'Université Scientifique et Médicale

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE DE GRENOBLE

Dr G. CAU