



HAL
open science

**Etude d'un aquifère profond hétérogène en zone aride :
plaine du wadi Al Hira et du wadi Abu Shaybah
Tripolitaine (Libye)**

Gilbert Mailland-Rosset

► **To cite this version:**

Gilbert Mailland-Rosset. Etude d'un aquifère profond hétérogène en zone aride : plaine du wadi Al Hira et du wadi Abu Shaybah Tripolitaine (Libye). Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1976. Français. NNT : . tel-00781710

HAL Id: tel-00781710

<https://theses.hal.science/tel-00781710>

Submitted on 28 Jan 2013

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

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

212

NICOUD Gérard

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ

(troisième cycle de GÉOLOGIE APPLIQUÉE)

— Option HYDROGÉOLOGIE

par

Gilbert MAILLAND - ROSSET

**Etude d'un aquifère profond hétérogène
en zone aride : plaine du wadi Al Hira et
du wadi Abu Shaybah
Tripolitaine (Libye)**

Soutenu le 20 Septembre 1976 devant la commission d'examen

R. BARBIER *Professeur à l'USMG*

Président

J. SARROT-REYNAUD *Professeur à l'USMG*

Rapporteur

P. MUTIN *Chargé de mission auprès du Président
Directeur Général du GERSAR*

Examineur

Micoud

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ

(troisième cycle de GÉOLOGIE APPLIQUÉE)

— Option HYDROGÉOLOGIE

par

Gilbert MAILLAND - ROSSET

**Etude d'un aquifère profond hétérogène
en zone aride : plaine du wadi Al Hira et
du wadi Abu Shaybah
Tripolitaine (Libye)**

Soutenue le 20 Septembre 1976 devant la commission d'examen

R. BARBIER Professeur à l'USMG

J. SARROT-REYNAUD Professeur à l'USMG

P. MUTIN Chargé de mission auprès du Président
Directeur Général du GERSAR

Président

Rapporteur

Examinateur

AVANT - PROPOS

Au moment de conclure ce travail, j'exprime ma plus sincère reconnaissance :

- A Monsieur P. MUTIN, Chargé de mission auprès du Président-Directeur Général du GERSAR, qui m'a complaisamment intégré à son équipe ; sans son aide et sa compréhension, cette thèse n'existerait pas. Je le remercie également de participer au jury.

- A tous les enseignants et chercheurs de l'Institut Dolomieu qui ont su me faire profiter de leur savoir et de leur expérience.

Je remercie tout spécialement Monsieur le Professeur R. BARBIER qui me fait l'honneur de présider le jury.

Je suis aussi très reconnaissant envers Monsieur le Professeur J. SARRÔT-REYNAULD qui m'a permis d'entreprendre et de mener à bien ce travail en me guidant de ses critiques et de ses conseils.

- Au personnel du GERSAR pour sa sympathie et son aide qui me furent précieuses tant en Libye qu'à Nîmes et plus particulièrement à mes camarades géologues S. AIRAULT et D. LAFFONT.

Je dédie cet ouvrage à ma femme car sans elle ce travail n'aurait jamais vu le jour.

T A B L E D E S M A T I E R E S

	<u>Pages</u>
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">INTRODUCTION</div>	1
I - ORIGINE DE L'ETUDE	3
II - CADRE GEOGRAPHIQUE GENERAL	3
III - CADRE CLIMATIQUE SOMMAIRE	4
IV - CADRE HYDROGEOLOGIQUE SOMMAIRE	6
V - BUT DE L'ETUDE	7
VI - MOYENS EMPLOYES	8
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">CHAPITRE I - GEOLOGIE</div>	9
I-I- <u>INTRODUCTION</u>	11
I-I-1 - GEOLOGIE REGIONALE	11
I-I-2 - HISTOIRE GEOLOGIQUE DE LA REGION	11
I-I-2.1 - LES GRANDES PERIODES DE L'HISTOIRE STRUCTURALE	11
I-I-2.2 - REMARQUES CONCERNANT LA ZONE D'ETUDE	13
I-I-3 - BIBLIOGRAPHIE DES DIFFERENTES NOMENCLATURES STRATIGRAPHIQUES	15
I-I-3.1 - LES FORMATIONS TRIASIQUES	15
I-I-3.2 - LES FORMATIONS JURASSIQUES	19
I-I-3.3 - LES FORMATIONS CRETACEES	19
I-I-3.4 - LES FORMATIONS TERTIAIRES ET QUATERNAIRES	22
I-I-4 - MOYENS, BUTS ET METHODES POUR LA NOUVELLE ETUDE	25

	<u>Pages</u>
<u>I-II - LES FORMATIONS RENCONTREES</u>	29
I-II-1 - LES FORMATIONS TRIASIQUES	29
I-II-1.1 - LA FORMATION OULED CHEBBI	29
I-II-1.2 - LA FORMATION RAS HAMIA	31
I-II-1.3 - LA FORMATION AL AZIZIYAH	35
I-II-1.4 - LA FORMATION ABU SHAYBAH	41
I-II-1.5 - AGES DES FORMATIONS TRIASIQUES	46
I-II-2 - LES FORMATIONS JURASSIQUES	52
I-II-3 - LES FORMATIONS CRETACEES	52
I-II-3.1 - LA FORMATION KIKLAH	53
I-II-3.2 - LES CALCAIRES DE LA FORMATION AIN TOBI	54
I-II-4 - LES FORMATIONS TERTIAIRES ET QUATERNAIRES	55
I-II-4-1 - LE MIOCENE	55
I-II-4.2 - LE MIO-PLIO-QUATERNAIRE OU RECOUVREMENT	56
I-II-4.3 - VOCATION HYDROGEOLOGIQUE	58
I-II-5 - LES FORMATIONS VOLCANIQUES ET GRANITIQUES	58
I-II-5.1 - LE GRANITE	58
I-II-5.2 - LES ROCHES VOLCANIQUES	58
I-III - <u>STRUCTURE</u>	60
I-III-1 - GEOPHYSIQUE	60
I-III-1.1 - LA METHODE ELECTRIQUE	60
I-III-1.2 - SISMIQUE DE REFRACTION	66
I-III-2 - COUPES HYDROGEOLOGIQUES ET SCHEMA STRATIGRAPHIQUE	66
I-III-3 - SIGNIFICATION DE LA STRUCTURE	73
I-III-3.1 - RELATION ENTRE FORMATIONS DUE A LA STRUCTURE	73
I-III-3.2 - RELATION ENTRE FORMATIONS PAR LIMITE DE FACIES OU D'EROSION	74
I-III-3.3 - ENSEMBLES STRUCTURAUX	74
I-IV - <u>CONCLUSION</u>	75

CHAPITRE II : PROPRIETES HYDRODYNAMIQUES
DES DIFFERENTES FORMATIONS

II-I - PRINCIPES, METHODES ET RESULTATS BRUTS	79
II-I-1 - CALCUL DE LA POROSITE PAR LA METHODE D'ARCHIE	79
II-I-1.1 - PRINCIPE DE LA METHODE	79
II-I-1.2 - RESULTATS	81
II-I-2 - INTERPRETATION DES ESSAIS DE POMPAGE	81
II-I-2.1 - RAPPEL DES EQUATIONS	81
II-I-2.2 - TRANSMISSIVITE ET DRAINANCE	86
II-I-2.3 - RESULTATS	90
II-I-3 - CALCUL DU COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT A LONG TERME PAR LA METHODE DU COMPACTAGE DES COUCHES COMPRESSIBLES	97
II-I-3.1 - PRINCIPE DE LA METHODE	97
II-I-3.2 - RESULTATS	103
II-II - RESULTATS	105
II-II-1 - LA FORMATION OULED CHEBBI	105
II-II-2 - LA FORMATION RAS HAMIA	107
II-II-2.1 - CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE L'ENSEMBLE BASAL GRESO-ARGILEUX OU ARGILO-GRESEUX	107
II-II-2.2 - CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE L'ENSEMBLE ARGILO-DOLOMITIQUE SOMMITAL	111
II-II-3 - LA FORMATION AL AZIZIYAH	112
II-II-3.1 - LE FACIES MARNO-GYPSEUX	112
II-II-3.2 - LE FACIES CALCAREO-DOLOMITIQUE	112

	<u>Pages</u>
II-II-4 - LA FORMATION ABU SHAYBAH	119
II-II-5 - LES FORMATIONS DU CRETACE	122
II-II-5.1 - LA FORMATION KIKLAH	122
II-II-5.2 - LA FORMATION AIN TOBI	123
II-II-6 - LE RECOUVREMENT	123
II-III - <u>LES NIVEAUX SEMI-PERMEABLES</u>	125
II-III-1 - LE NIVEAU SUPERIEUR DE LA FORMATION OULED CHEBBI	125
II-III-2 - LE NIVEAU ARGILEUX SUPERIEUR DE LA FORMATION RAS HAMIA	125
II-III-3 - LE NIVEAU ARGILEUX BASAL DE LA FORMATION ABU SHAYBAH	126
II-III-4 - LA FORMATION AIN TOBI	129
II-III-5 - LES "ARGILES VERTES DU MIOCENE"	129
II-IV - <u>CONCLUSION</u>	130

CHAPITRE III : ETUDE DES EAUX SOUTERRAINES

Pages

	131
III-1 - <u>ETUDE DES RESERVOIRS</u>	133
III-I-1 - RAPPELS DE STRATIGRAPHIE	133
III-I-2 - STRUCTURES ET LIMITES	133
III-I-3 - DEFINITION DES RESERVOIRS	142
III-I-3.1 - ENSEMBLES HYDROGEOLOGIQUES	142
III-I-3.2 - DEFINITION DES RESERVOIRS	145
III-II - <u>LE RESERVOIR OULED CHEBBI - RAS HAMIA</u>	147
III-II-1 - DEFINITION	147
III-II-2 - LIMITE VERTICALE ET EXTENSION GEOGRAPHIQUE	147
III-II-3 - MORPHOLOGIE ET FACIES	147
III-II-4 - CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES	148
III-II-5 - PIEZOMETRIE - RELATIONS AVEC LES AUTRES RESERVOIRS	148
III-III - <u>L'ENSEMBLE DES RESERVOIRS AL AZIZIYAH, ABU SHAYBAH ET DU RECOUVREMENT : LE RESERVOIR SUPERIEUR</u>	152
III-III-1 - LE RESERVOIR ABU SHAYBAH	152
III-III-1.1 - DEFINITION	152
III-III-1.2 - LIMITE VERTICALE ET EXTENSION GEOGRAPHIQUE	152
III-III-1.3 - MORPHOLOGIE - FACIES - CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES	153
III-III-2 - LE RESERVOIR AL AZIZIYAH	153
III-III-2.1 - DEFINITION	153
III-III-2.2 - LIMITE VERTICALE ET EXTENSION GEOGRAPHIQUE	153
III-III-2.3 - MORPHOLOGIE - FACIES - CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES	154
III-III-3 - LES RESERVOIRS DE L'AVAL	159

	<u>Pages</u>
III-IV - <u>ETUDE DE LA PIEZOMETRIE DU RESERVOIR SUPERIEUR</u>	160
III-IV-1 - METHODE DE L'ETUDE	160
III-IV-1.1 - RECHERCHE DES DONNEES	160
III-IV-1.2 - ETABLISSEMENT DE LA CARTE PIEZOMETRIQUE	161
III-IV-2 - ETUDE DE LA CARTE PIEZOMETRIQUE	162
III-IV-2.1 - LE RESERVOIR "ABU SHAYBAH"	162
III-IV-2.2 - LE RESERVOIR AL AZIZIYAH	165
III-V - <u>CONCLUSION</u>	166
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin: 10px 0;">CHAPITRE IV - CHIMIE DES EAUX</div>	
IV-I - <u>INTRODUCTION - INFORMATIONS UTILISEES - CLASSIFICATION DES EAUX ADOPTEES</u>	169
IV-I-1 - DISPERSION DES OBSERVATIONS	169
IV-I-2 - PRESENTATION - TRAITEMENT ET QUALITE DES ANALYSES	169
IV-I-3 - CLASSE DE POTABILITE DES EAUX	175
IV-I-4 - CLASSIFICATION DES EAUX D'IRRIGATION	176
IV-I-4.1 - CLASSIFICATION EN FONCTION DE LA SALINITE DES EAUX ET DU DANGER D'ALCALINISATION DES SOLS	176
IV-I-4.2 - CLASSIFICATION EN FONCTION DE LA TENEUR EN BORE	178
IV-II - <u>CHIMIE DES EAUX DES DIFFERENTES FORMATIONS</u>	179
IV-II-1 - CHIMIE DES EAUX DE LA FORMATION OULED CHEBBI	179
IV-II-1.1 - FACIES CHIMIQUE ET CONDUCTIVITE	179
IV-II-1.2 - PRINCIPALES CARACTERISTIQUES	179
IV-II-2 - CHIME DES EAUX DE LA FORMATION RAS HAMIA	181
IV-II-2.1 - FACIES CHIMIQUE ET CONDUCTIVITE	181
IV-II-2.2 - PRINCIPALES CARACTERISTIQUES	181

	<u>Pages</u>
IV-II-3 - CHIMIE DES EAUX DE LA FORMATION AL AZIZIYAH	185
IV-II-3.1 - FACIES CHIMIQUES	185
IV-II-3.2 - CONDUCTIVITE	195
IV-II-3.3 - POTABILITE	195
IV-II-3.4 - PRINCIPALES CARACTERISTIQUES	205
IV-II-4 - CHIMIE DES EAUX DE LA FORMATION ABU SHAYBAH	206
IV-II-4.1 - FACIES CHIMIQUES	206
IV-II-4.2 - CONDUCTIVITE	206
IV-II-4.3 - PRINCIPALES CARACTERISTIQUES	206
IV-II-5 - CHIMIE DES EAUX DE LA FORMATION KIKLAH	211
IV-II-6 - CHIMIE DES EAUX DU RECOUVREMENT	212
IV-II-6.1 - FACIES CHIMIQUES	212
IV-II-6.2 - PRINCIPALES CARACTERISTIQUES	219
IV-III - <u>RELATIONS ENTRE FORMATIONS</u>	220
IV-III-1 - RELATIONS VERTICALES	220
IV-III-1.1 - LE RESERVOIR OULED CHEBBI - RAS HAMIA	220
IV-III-1.2 - ROLE DU NIVEAU SUPERIEUR DE LA FORMATION RAS HAMIA	220
IV-III-1.3 - ROLE DU NIVEAU INFERIEUR DE LA FORMATION ABU SHAYBAH	221
IV-III-2 - RELATIONS HORIZONTALES	221
IV-IV - <u>ANALYSES ISOTOPIQUES DES EAUX</u>	222
IV-V - <u>CONCLUSION</u>	223

CHAPITRE V - CONCLUSIONS GENERALES

225

V-I - RESULTATS PROPRES A CETTE ETUDE 227

V-I-1 - STRATIGRAPHIE 227

V-I-2 - STRUCTURES ET LIMITES 227

V-I-3 - CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES 228

V-I-4 - LES ECOULEMENTS 228

V-I-5 - CHIMIE DES EAUX 229

V-I-6 - CALCUL DU DEBIT DE FUITE ET DES DEBITS D'ENTREE
POUR L'AQUIFERE SUPERIEUR 230

V-I-6.1 - DEBIT DE FUITE VERS L'AVAL 230

V-I-6.2 - DEBITS D'ENTREE 230

V-I-6.3 - COMPARAISON ENTRE LES DEBITS D'ENTREE
ET LE DEBIT DE FUITE 232

V-II - ORIGINE DE L'EAU 234

V-III - COMPLEMENTS POSSIBLES 235

BIBLIOGRAPHIE

237

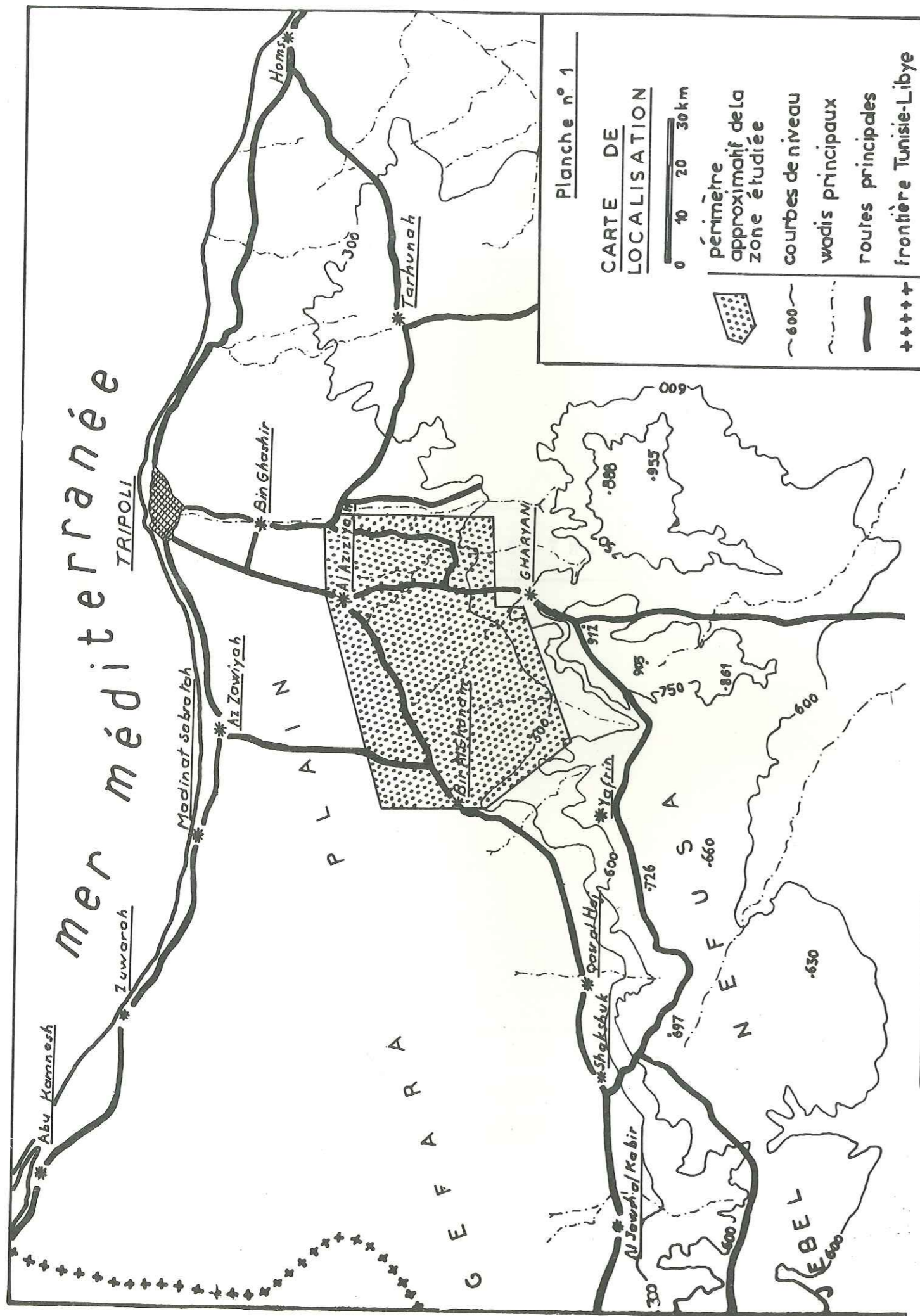
LISTE DES PLANCHES

N°		Pages
1	CARTE DE LOCALISATION	2
2	LOCALISATION DES FORAGES	27
3	DIFFERENTS HORIZONS DE LA FORMATION RAS HAMIA	33
4	DIFFERENTS HORIZONS DE LA FORMATION AL AZIZIYAH	38
5	DIFFERENTS HORIZONS DE LA FORMATION ABU SHAYBAH	44
6	ECORCHE GEOLOGIQUE SOUS LE RECOUVREMENT	63
7	CARTE DES ISOHYPSES DU TOIT DE LA FORMATION RAS HAMIA	67
8	CARTE DU TOIT PROBABLE DE LA FORMATION AL AZIZIYAH RESISTANTE	69
9	SCHEMA LITHOSTRATIGRAPHIQUE	71
10	COMPARAISON ENTRE LES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES DE LA FORMATION RAS HAMIA ET CEUX DE LA FORMATION AL AZIZIYAH	127
11	COUPE LITHOSTRATIGRAPHIQUE SCHEMATIQUE	134
12	LOCALISATION DES COUPES HYDROGEOLOGIQUES	135
13		137
14	COUPES HYDROGEOLOGIQUES N° 1 A 8	138
15		139
16	CARTES DES ENSEMBLES HYDROGEOLOGIQUES	143
17	COUPE NORD-SUD SCHEMATIQUE	146
18	RESERVOIR OULED CHEBBI - RAS HAMIA - EPAISSEUR - TRANSMISSIVITE	149
19	CARTE ISOPAQUE DU RESERVOIR AL AZIZIYAH A SURFACE LIBRE	155
20	VALEUR PROBABLE DE LA TRANSMISSIVITE TOTALE DU RESERVOIR AL AZIZIYAH	157
21	CARTE PIEZOMETRIQUE OBSERVEE EN ETE 1975	163
22		170
23	EXEMPLES DE TRAITEMENT DES ANALYSES CHIMIQUES	171
24	CORRELATION ENTRE LA CONDUCTIVITE MESUREE ET LA SOMME MAXIMALE SOIT DES CATIONS SOIT DES ANIONS	174
25	DIAGRAMME DE SCHOELLER BERKALOFF DES EAUX DE LA FORMATION OULED CHEBBI	180
26	DIAGRAMME DE SCHOELLER BERKALOFF DES EAUX DE LA FORMATION RAS HAMIA	182
27	DIAGRAMME DE POTABILITE DES EAUX DE LA FORMATION RAS HAMIA	183
28	CLASSIFICATION POUR L'IRRIGATION DES EAUX DE LA FORMATION RAS HAMIA	184
29 à 35	DIAGRAMMES DE SCHOELLER BERKALOFF DES EAUX DE LA FORMATION AL AZIZIYAH	186 à 192

N°		Pages
36	CARTE DES CONDUCTIVITES DES EAUX DE LA FORMATION AL AZIZIYAH	193
37	DIAGRAMME DE POTABILITE DES EAUX DE LA FORMATION AL AZIZIYAH	196
38	CARTE DES DEGRES HYDROTOMETRIQUES FRANCAIS DES EAUX DE LA FORMATION AL AZIZIYAH	197
39	CARTE DES CONCENTRATIONS EN ION Cl^- DES EAUX DE LA FORMATION AL AZIZIYAH	199
40	CARTE DES CONCENTRATIONS EN ION SO_4^{--} DES EAUX DE LA FORMATION AL AZIZIYAH	201
41	CLASSIFICATION POUR L'IRRIGATION DES EAUX DE LA FORMATION AL AZIZIYAH	204
42	DIAGRAMMES DE SCHOELLER BERKALOFF DES EAUX DE LA FORMATION ABU SHAYBAH	207 à 208
43		
44	DIAGRAMME DE POTABILITE DES EAUX DE LA FORMATION ABU SHAYBAH	209
45	CLASSIFICATION POUR L'IRRIGATION DES EAUX DE LA FORMATION ABU SHAYBAH	210
46		213
47	DIAGRAMMES DE SCHOELLER BERKALOFF DES EAUX DU RECOUVREMENT	214
48		215
49	CLASSIFICATION POUR L'IRRIGATION DES EAUX DU RECOUVREMENT	216
50	REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES DIFFERENTS FACIES CHIMIQUES DU RECOUVREMENT CONDUCTIVITES	217

THE
STATE
OF
NEW YORK
IN SENATE
JANUARY 15, 1914.
REPORT
OF THE
COMMISSIONERS OF THE
LAND OFFICE
IN RESPONSE TO
RESOLUTION PASSED
MAY 15, 1913.
ALBANY:
THE UNIVERSITY OF THE STATE OF NEW YORK
PRINTING OFFICE, 1914.

INTRODUCTION



I - ORIGINE DE L'ETUDE

De 1970 à 1972 le GEFLI (Groupement d'Etude Français en Libye) a effectué une étude de reconnaissance ainsi que l'inventaire des sols et de l'eau dans la plaine de la GEFARA. Cette étude générale de reconnaissance a rendu possible la délimitation d'un certain nombre de zones de ressources en eau, le plus souvent indépendantes entre elles, permettant d'envisager le développement agricole par irrigation de certaines.

L'étude d'une de ces zones (zone de ressource en eau n° 1 WADI AL HIRA) fut confiée au GERSAR (Groupement d'Etudes et de Réalisations des Sociétés d'Aménagement Régionales). Ce projet fut baptisé "WADI HIRA, WADI ABU SHAYBAH AND GHARYAN PROJECT". C'est dans ce cadre que nous avons participé d'Octobre 1973 à Décembre 1975 à l'étude des eaux souterraines de la plaine du WADI AL HIRA et du WADI ABU SHAYBAH.

II - CADRE GEOGRAPHIQUE GENERAL

La GEFARA est le prolongement et la terminaison en LIBYE de la plaine côtière du Sud Tunisien. En LIBYE elle s'étend donc de la frontière tunisienne à la pointe ouest du Golfe de SIRTE. Cette plaine est bordée au sud par le Jebel NEFUSA.

La partie étudiée se trouve à 60 km environ au sud de TRIPOLI. Cette zone s'étend du bassin du Wadi ZARAT (Wadi AL HAY) (région de BIR AL GHANAM) à l'ouest, à celui du Wadi MEJENIN à l'est. Elle est bordée au sud par le Jebel (région de GHARYAN) et au nord par le parallèle 32°30' de AL AZIZIYAH. Elle est couverte par les feuilles 1890/II, 1990/III, 1889/IV, 1889/I, 1989/IV, 1889/III, 1889/II de la carte au 1/50000e. Sa localisation est tracée sur la planche n° 1, page 2 et sur la planche n° 2, page 27.

L'aspect du paysage de cette région est dominé par l'opposition entre la plaine et la falaise du Jebel. La plaine laisse pointer quelques collines et affleurements. Elle est grossièrement divisée en deux bassins : celui du Wadi AL HIRA à l'est et ceux des wadis ABU SHAYBAH, ZAQQUT et ZARAT à l'ouest. Ces wadis sont tous temporaires et se perdent dans des zones d'épandage situées sur la région étudiée. Entre ces deux bassins on observe une zone de collines s'avancant jusqu'à AL AZIZIYAH. La même situation se reproduit à l'est entre le Wadi AL HIRA et le Wadi MEJENIN qui est le seul de la région à atteindre la mer.

III - CADRE CLIMATIQUE SOMMAIRE

Pour caractériser la région au point de vue climatique, il sera fait appel aux données récoltées dans les stations de AL AZIZIYAH, BIR AL GHANAM, GHARYAN. Ces données couvrent une période allant des années 1920 à nos jours. Ces données sont empruntées au travail de M. ALLEMOZ ("Etude de l'alimentation des nappes en pays aride - Infiltration et évapotranspiration en Tripolitaine" - Thèse 3° cycle - GRENOBLE 1976). Nous ne prendrons en compte que les valeurs mensuelles moyennes (voir tableau page 5).

Le mois le plus chaud est le mois d'août, le mois le plus froid le mois de janvier. L'écart entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid est pratiquement le même sur toute la zone ; il est de 16°4C à GHARYAN, de 16°9C à AL AZIZIYAH, de 20°5C à BIR AL GHANAM (cet écart plus grand annonce déjà le caractère plus désertique de cette région). La température maximale observée a été de 57°3C à AL AZIZIYAH et 49°5C à GHARYAN ; la température minimale de - 3,2°C à AL AZIZIYAH et de - 6,6°C à GHARYAN. On note l'influence du relief.

La pluviométrie subit également une influence importante du relief et de l'éloignement de la mer. La saison des pluies s'étend de septembre à mai, le mois le plus humide étant le mois de janvier. Les précipitations décroissent rapidement de janvier à mai.

En ce qui concerne l'humidité relative de l'air on note des valeurs élevées. Elle diminue quand on s'éloigne de la mer.

Les vents dominants sont :

- de secteur E-NE d'avril à septembre,
- de secteur S d'octobre à novembre,
- de secteur W-SW de décembre à mars.

Les vents de secteur ouest sont frais et souvent pluvieux, ils soufflent de préférence l'hiver. Les vents de secteur est sont secs et soufflent en été. Les vents de secteur sud ont une répartition assez homogène sur toute l'année, avec cependant une fréquence plus marquée au printemps et en automne.

M. ALLEMOZ calcule plusieurs types d'indice d'aridité. Quelle que soit la classification adoptée, les caractéristiques climatiques de la zone étudiée montrent qu'il régnait indiscutablement sur cette zone un climat de type aride avec une nette diminution de ce caractère en altitude.

MOIS	TEMPERATURES MENSUELLES MOYENNES (°C)			PLUVIOMETRIE MENSUELLE MOYENNE (mm)			HUMIDITE RELATIVE MENSUELLE MOYENNE (%)		
	AL AZIZIYAH	BIR AL GHANAM	GHARYAN	AL AZIZIYAH	BIR AL GHANAM	GHARYAN	AL AZIZIYAH	BIR AL GHANAM	GHARYAN
JANVIER	11,7	11,5	8,8	51,6	29,4	78,4	65,0	60,6	62,2
FEVRIER	13,4	13,6	10,5	30,5	21,4	53,6	62,3	60,7	57,7
MARS	15,5	16,3	13,1	19,3	11,8	40,1	58,4	63,6	54,1
AVRIL	18,8	20,0	16,0	15,0	10,0	31,3	53,0	58,7	49,4
MAI	22,6	23,7	20,6	3,1	2,0	6,2	47,8	58,0	42,5
JUIN	26,1	28,2	24,8	0,9	0,6	3,7	45,3	58,1	37,6
JUILLET	27,8	29,1	26,3	0,0	0,0	0,1	46,8	57,2	36,6
AOUT	28,6	32,0	27,2	0,1	0,4	0,6	50,2	58,3	36,9
SEPTEMBRE	26,4	26,3	24,0	14,7	7,7	23,5	52,0	60,2	46,8
OCTOBRE	22,6	22,1	20,1	27,2	11,6	35,2	57,8	61,7	52,9
NOVEMBRE	17,8	17,6	15,4	21,4	14,8	25,6	59,8	59,9	56,8
DECEMBRE	13,3	14,1	10,3	36,7	20,0	45,7	64,3	59,4	65,3
Moyenne	20,4	21,9	18,1	-	-	-	56,0	59,1	49,9
Total	-	-	-	220,6	134,5	343,8	-	-	-

IV - CADRE HYDROGEOLOGIQUE SOMMAIRE

Cette région se situe au pied du Jebel NEFUSA. De nombreux wadis descendent de la montagne . Les plus importants sont les wadis AL HIRA (GHAN dans le Jebel), ABU SHAYBAH, ZAQQUT, ZARAT (AL HAY dans la plaine). Ils sont tous temporaires et ont des crues brutales et courtes.

On note deux types de crues : les crues d'automne liées aux orages (septembre-octobre) et les crues de printemps liées à des pluies plus régulières et tombant sur un sol humide (février-mars). Les volumes écoulés (tableau suivant) sont assez importants :

Wadi	Volume écoulé (Mm3)	
	Année 1973-74	Année 1974-75
GHAN (AL HIRA)	10,159	14,645
ZAQQUT	2,011	2,862
ZARAT	5,425	8,242

Le problème hydrogéologique qu'ils posent est de savoir s'ils alimentent les nappes souterraines, soit le long de leur cours, soit à partir des zones d'épandage.

M. ALLEMMOZ qui a étudié les variations des niveaux piézométriques après les crues ne peut conclure qu'une recharge liée directement à la pluie existe. En effet si celle-ci existe, elle est de faible amplitude et masquée par les variations dues à l'exploitation de la nappe. Par contre dans certaines zones préférentielles (cours des WADIS et zone d'épandage) une infiltration existe : 80 à 90 % des apports.

L'étude hydrogéologique sera donc l'étude d'un aquifère profond en zone aride.

V - BUT DE L'ETUDE

La réalisation de ce projet a fait appel à de nombreuses disciplines : agronomie, pédologie, hydrologie, hydrogéologie ; le but final étant de définir les conditions d'aménagement de périmètres agricoles dans cette région semi-désertique.

L'hydrogéologie a dans ce cadre deux objectifs :

- Le premier est qualitatif : il s'agit de préciser la géologie de la région, de définir les possibilités hydrogéologiques et hydrauliques des ensembles définis, de donner la qualité des eaux découvertes dans ces ensembles et enfin de définir des réservoirs.

- Le deuxième est quantitatif : il s'agit de calculer, grâce aux paramètres découverts dans le premier cas, les quantités d'eaux disponibles pour l'exploitation agricole et les contraintes limitant l'exploitation. Ces calculs ont été effectués grâce à des simulations mathématiques des différents écoulements.

C'est le premier objectif qui est la base de ce mémoire. Notre étude comprendra donc 4 chapitres :

- Chapitre I : Géologie - Il étudiera la géologie de la région et définira les différentes formations géologiques, leurs vocations hydrogéologiques et la structure.
- Chapitre II : Propriétés hydrodynamiques des différentes formations.
- Chapitre III : Etude des eaux souterraines.
- Chapitre IV : Chimie des eaux.

VI - MOYENS EMPLOYES

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 et sismique de réfraction) par la Compagnie Générale de Géophysique.

- Foration de 15.745 mètres de forage (10 piézomètres -PZH- ; 9 puits de production -PWH- ; 36 forages de reconnaissance -RDH) par les sociétés HYDRAFOR et TECHNOEXPORTSROY sous la surveillance du GERSAR.

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

Les analyses micropaléontologiques et palynologiques furent effectuées par le B.R.G.M. à Orléans.

L'étude a duré d'octobre 1973 au 1er janvier 1976.

CHAPITRE I

G E O L O G I E

Après une introduction où nous verrons le contexte géologique régional, l'histoire géologique régionale et une étude bibliographique de nomenclature et d'attribution d'âge des différentes formations, nous essaierons :

- de préciser la stratigraphie de la zone étudiée et de voir la vocation hydrogéologique des formations rencontrées ;
- de voir la structure géologique de cette région.

I-I - INTRODUCTION

I-I- 1. - GEOLOGIE REGIONALE

La région se présente comme un ensemble de plateaux calcaires sub-horizontaux du Crétacé supérieur recoupés par de profondes vallées. Les vallées orientées nord-sud sont à l'est de GHARYAN les vallées du Wadi MEJENIN et du Wadi GHAN, et à l'ouest de GHARYAN les vallées du Wadi ABU SHAYBAH, du Wadi ZAQQUT et du Wadi ZARAT. Ces vallées débouchent sur la plaine où affleurent des collines dolomitiques triasiques (formation AL AZIZIYAH).

Les vallées où affleurent les formations triasiques ont souvent été en partie comblées par des alluvions anciennes et des loess, ou obstruées par des coulées volcaniques. Dans la plaine tout est recouvert par des dépôts alluvionnaires ou éoliens. Ceci explique que l'étude géologique de la zone étudiée a été forte surtout à partir de l'examen des forages et de la géophysique.

L'examen de la carte géologique montre deux structures anticlinales d'axe nord-ouest - sud-est qui sont à l'ouest le dôme de GHARYAN et à l'est l'anticlinal du MEJENIN. Entre ces deux zones anticlinales se trouve le graben du Wadi GHAN où affleurent principalement les formations crétacé supérieur. A l'ouest du dôme de GHARYAN, les structures s'approfondissent permettant le dépôt de l'épaisse série gypseuse jurassique de BIR AL GHANAM.

I-I- 2. - HISTOIRE GEOLOGIQUE DE LA REGION

I-I- 2.1. - Les grandes périodes de l'histoire structurale

Les grandes périodes de l'histoire structurale de la TRIPOLITAINE ont été retracées par bribes dans diverses publications géologiques dont les principales sont mentionnées dans les paragraphes suivants et sont résumées dans les travaux de la C.P.T.L. (1959-1961).

D'après la C.P.T.L., l'histoire de la TRIPOLITAINE peut se résumer comme suit :

- A la fin du CAMBRIEN le môle de GHARYAN qui est la terminaison nord d'un axe TRIPOLI-TIBESTI orienté Nord Ouest - Sud Est (E. KLITZSCH) était émergé. Ce môle de GHARYAN va jouer un rôle important dans l'évolution géologique de la région. Il a pu être recouvert à l'ORDOVICIEN puis exondé et érodé à la suite d'un mouvement positif intervenant à la fin de l'ORDOVICIEN et recouvert au GOTHLANDIEN par la mer de TANEZZUT.

- Vers la fin du GOTHLANDIEN un mouvement positif généralisé entraîne l'érosion de la plupart des dépôts antérieurs.

- Au DEVONIEN inférieur une transgression se développe suivie à la fin de cette période d'un mouvement positif généralisé entraînant l'érosion du DEVONIEN inférieur et du GOTHLANDIEN.

- Au DEVONIEN moyen et supérieur un mouvement positif affecte le môle de GHARYAN alors qu'une subsidence importante affecte la région orientale.

- Le DEVONIEN terminal se traduit par une régression qui se poursuit par une lacune au CARBONIFERE (TOURNAISIEN).

- Au VISEEN (CARBONIFERE) se produit une autre transgression.

- Durant le PERMIEN un mouvement tectonique intense affecte la TRIPOLITAINE nord-orientale occasionnant de grands accidents ouest-nord ouest, est-sud est. Ces accidents sont importants car ils rejoueront à plusieurs reprises. Cette période voit le môle de GHARYAN érodé jusqu'au socle.

- La transgression du PERMIEN supérieur (formation BIR EL JAJA) est venue s'amortir sur la région pénéplanée et n'a déposé qu'une mince pellicule de sédiments sur le môle de GHARYAN tandis que l'érosion se poursuivait au Sud.

- Il y a eu transgression de la mer du Trias inférieur vers le Sud et vers l'Est et les apports gréseux venant du Sud se sont déposés (formation OULED CHEBBI).

A la fin du Trias inférieur, un léger mouvement du môle de GHARYAN s'y traduit par un amincissement des grès sous la transgression du MUSCHELKALK (Niveau à MYOPHORIES). La sédimentation argilo-gréseuse se poursuit (formation RAS HAMIA) puis les apports gréseux du Sud devenant moins importants, ils font place en TRIPOLITAINE nord-orientale à la sédimentation carbonatée de la formation AL AZIZIYAH (Keuper pro parte) correspondant à une transgression faible sur la bordure sud. Le cycle terminal triasique (infra-liasique ?) est gréseux (formation ABU SHAYBAH) et précède la transgression liasique.

- Finalement, par opposition au Paléozoïque, la période s'étendant du Permien supérieur au Lias a été calme : il y a eu transgression des différents termes, sans discordance marquante.

- Un mouvement tectonique important prend place vers la fin du JURASSIQUE, entraînant l'érosion complète du JURASSIQUE sur le môle de GHARYAN et à l'Est laissant un paysage pénéplané.

- Au CRETACE inférieur un dernier mouvement positif affecte le môle de GHARYAN et se traduit par l'absence de CRETACE inférieur (que l'on trouve souvent en AFRIQUE du Nord sous le nom de Continental Intercalaire).

- A l'ALBIEN arrive la transgression crétacée qui débute par la formation KIKLAH. Cette formation gréseuse peut reposer suivant le degré de l'érosion antérieure sur du TRIAS, du JURASSIQUE, ou ne pas exister, ce qui prouve que certains reliefs sont restés émergés. Elle se poursuit par les dépôts de formations crétacées à faciès calcaires marneux et dolomitiques : AIN TOBI, GHARYAN et TIGRINNA. Au CRETACE moyen, on observe une légère subsidence de la GEFARA limitée par le môle de GHARYAN.

- Au PALEOCENE, la TRIPOLITAINE constitue une plateforme stable par rapport à la SIRTE subsidente. L'axe de subsidence se déplacera vers l'est du PALEOCENE à l'EOCENE supérieur.

- Au MIOCENE la subsidence de la GEFARA se poursuit et est attestée par l'épaisseur croissante du MIOCENE du Sud vers le Nord. Une nouvelle phase tectonique fait rejouer le môle de GHARYAN et provoque le plissement des dépôts calcaires du CRETACE supérieur en un vaste anticlinal à axe NW-SE passant par GHARYAN. C'est au MIOCENE que se fait l'individualisation du Jebel. L'origine de l'escarpement du Jebel est très controversée. Un résumé des diverses hypothèses émises a été fait par V.C. MILLER (1969).

L'interprétation la plus satisfaisante serait celle faisant de la GEFARA un bloc effondré par rapport au Jebel, mais l'extension et la position de la faille ayant entraîné la subsidence durant le MIOCENE est controversée. Il semblerait que l'escarpement actuel soit le résultat d'une érosion hydrographique régressive ayant débuté à partir du miroir de faille situé au Nord de AL AZIZIYAH et orienté Est-Ouest.

I-I- 2.2. - Remarques concernant la zone d'étude

La zone étudiée se trouve juste à côté du môle de GHARYAN. La présence de ce môle et les nombreux mouvements qui l'affectèrent ont dû jouer un rôle dans la sédimentation des différentes formations. C'est ce qui nous donnera l'explication de certains changements de faciès.

Cette zone ne nous montrera que des formations triasiques (le JURASSIQUE ayant été érodé à la fin de celui-ci et le CRETACE au tertiaire) sauf dans une zone effondrée à la suite des accidents du MIOCENE inférieur où le CRETACE apparaît.

L'essentiel des terrains étant donc triasique, nous essaierons de voir la paléogéographie et les conditions de dépôt de ce trias. Pour ce faire nous utiliserons les travaux des pétroliers (revue de l'I.F.P.) et de G. BUSSON (1969).

Après la transgression du PERMIEN supérieur (formation BIR EL JAJA) le môle de GHARYAN a joué positivement avant la transgression du MUSCHELKALK. A cette époque s'est déposée la formation OULED CHEBBI. Du Sud vers le Nord, on passe du faciès argilo-gréseux au faciès argilo-silteux, ce qui indique clairement que les apports détritiques venaient du Sud. La base de la formation est nettement plus gréseuse que la partie supérieure, ce qui explique les faciès très gréseux de la formation OULED CHEBBI au Sud de GHARYAN où l'érosion n'a conservé que les termes de plus en plus inférieurs et de plus en plus riches en grès. Cette formation constitue le TRIAS inférieur.

Le TRIAS moyen est transgressif sur la formation OULED CHEBBI. Comme on l'a vu, la formation RAS HAMIA et la formation supérieure carbonatée et gypseuse AL AZIZIYAH appartiennent à un même cycle de sédimentation. Ces formations se sont déposées à la limite d'une zone subsidente à incursions marines. Au point de vue des faciès, c'est une zone de balancement tout au long des dépôts de la série détritique du RAS HAMIA où prédominent alternativement influences saumâtres et influences marines. On peut observer 3 zones distinctes de plus en plus argileuses d'Ouest en Est. On observe de même une augmentation de la fraction argileuse en allant vers le Nord à l'endroit où la subsidence s'accélère. Ce fait ajouté aux considérations paléobathymétriques permet de pressentir :

- Une zone haute qui se développe en direction de l'Ouest, Nord-Ouest en TUNISIE ;

- Un approfondissement assez régulier vers l'Est de cette même plateforme structurale ;

- La localisation des sources d'apport, venant du S-SW à travers un milieu subcontinental aux lignes de rivages imprécises, des fleuves lents devaient apporter un matériel fin arrivé à peu près à maturité ; venant du NW un matériel gréseux provenait peut-être, partiellement du démantèlement des grès de la formation sous-jacente de l'OULED CHEBBI, partiellement des roches paléozoïques anciennes mises à jour par l'érosion.

La formation AL AZIZIYAH a un faciès plus marin que les dolomies du REHACH situé à l'Ouest en TUNISIE ; ceci lié à l'augmentation de l'épaisseur montre un approfondissement vers l'Est.

Le TRIAS supérieur est marqué par un changement de faciès : après les calcaires et dolomies de la formation AL AZIZIYAH, on trouve une formation gréseuse. Ces grès représentent une formation originale de la TRIPOLITAINE septentrionale : malgré l'épaisseur importante visible dans cette province (plus de 170 mètres), ces grès ne se prolongent pas dans le Sud-Tunisien. Le grain relativement grossier, les stratifications obliques importantes suggèrent l'existence de cours d'eau très puissants en contraste tout à fait frappant avec les calcaires marins sous-jacents et avec les dolomies de BU GHEILAN qui leur sont superposées. Durant le dépôt de ce TRIAS supérieur et du LIAS inférieur se produit un mouvement positif très bref du môle de GHARYAN qui, lié à des conditions paléoclimatiques différentes, peut expliquer ce caractère détritique. Après ce mouvement tectonique, la région se stabilise avec un mouvement négatif important vers l'Ouest permettant la sédimentation de la formation gypseuse BIR AL GHANAM à l'Ouest, et le passage à la formation carbonatée BU GHEILAN à l'Est.

I-I- 3. - BIBLIOGRAPHIE DES DIFFERENTES NOMENCLATURES STRATIGRAPHIQUES

De nombreuses publications géologiques ont eu pour sujet l'étude des formations et de la stratigraphie de la TRIPOLITAINE. Les résultats de ces études sont donnés dans les tableaux pages 16, 20, 21 et 23. Ces tableaux regroupent les formations triasiques, jurassiques, crétacées puis tertiaires et quaternaires. Ces tableaux donnent pour chaque auteur le nom attribué à la formation, son faciès, son épaisseur, ses limites et son âge.

I-I- 3.1. - Les formations triasiques (tableau page 16)

I-I- 3.1.1. - La formation OULED CHEBBI

Cette formation n'existe pas en affleurements. Son nom lui a été donné par la C.P.T.L. du nom du forage A1-23. Elle est constituée de grès fins et grossiers avec des niveaux d'argile et de marne dolomitique.

I-I- 3.1.2. - La formation RAS HAMIA

Lithologie

A.L. BRICHANT (1952) signale dans le dôme de GHARYAN l'existence "vers le bas de la série de deux niveaux de grès rougeâtres séparés par un calcaire dolomitique jaune à Ostrea et à ossements".

A. CHRISTIE (1954) décrit en détail ce même affleurement de 34 m, le scinde en 7 ensembles, et en résume la lithologie comme suit : "composé principalement de grès micacés rouges sombres à grains fins, d'argilites ou d'argiles silteuses rouges ou vertes et de bancs carbonatés de moindre importance".

AUTEURS	EPASSEUR	LITHOLOGIE	
G.F. PARONA 1914	150 m à 200 m	CARNIEN	
L. COGGI 1940	200 m à 300 m	CARNIEN	
A.L. BRICHANT 1982	30 m	MUSCHELKALK	WERFENIEN
A.F. de LAPPARENT 1984	50 m	MUSCHELKALK	MUSCHELKALK
A. CHRISTIE 1958	200 m à 300 m	Form. Azizia MUSCHELKALK	Form. Boutonnière MUSCHELKALK
P.F. BUROLLET 1960	170 m à 320 m	Form. Azizia MUSCHELKALK	Form. Ras Hamia MUSCHELKALK
A. DESIO 1960 et al.	30 m	Form. Bu Sceba Jurassique Rhetien-Norien	Form. Currusc TRIAS MOYEN
J.J. MENNING et al. 1961	30 m	Form. Bu Sceba TRIAS SUP.	Form. Ras Hamia MUSCHELKALK SUP.
P.F. BUROLLET 1961	30 m	Form. Bu Sceba CARNIEN	Form. Ras Hamia MUSCHELKALK SUP.
Ph. MAGNIER 1963	30 m	Form. Bu Sceba TRIAS SUP.	Form. Ras Hamia MUSCHELKALK
A. DESIO et al. 1963	30 m	Form. Bu Sceba TRIAS SUPERIEUR JURASSIQUE INFERIEUR	Form. Currusc TRIAS INF.
R. ASSERETO et F. BENELLI 1969	30 m	Form. Bu Sceba membre sup. TRIAS SUP. JURAS. INF.	Form. Currusc TRIAS MOYEN
G.E.L.I. 1972	30 m	Form. Abu Shaybah TRIAS SUP.	Form. Ras Hamia MUSCHELKALK INF.
M. EL HINNAWY 1975	30 m	Form. Abu Shaybah CARNIEN	Form. Kurrush LADINIEN
F. Abu Shaybah	30 m	Form. Al Aziziyah CARNIEN	Form. Ras Hamia MUSCHELKALK

COUPE LITHOLOGIQUE SCHEMATIQUE ET APERÇU SYNOPSIS DE LA NOMENCLATURE DES FORMATIONS TRIASIQUES ET DES ATTRIBUTIONS D'AGE DUES A DIFFERENTS AUTEURS.

La C.P.T.L. (1960) résume la lithologie de la formation en ces termes : "grès fins à moyens pyriteux souvent dolomitiques dans la moitié supérieure et à débris ligniteux dans la partie inférieure".

Pour J.J. MENNING et al. (1963) la formation est constituée de grès fins à très fins et d'argiles rouges ferrugineuses et comprend deux unités lithologiques distinctes qui, de la base au sommet, sont :

- la zone à myophories à faciès marin dans le Nord et saumâtre dans le sud,
- la série gréseuse fine azoïque à faciès saumâtre qui par augmentation du pourcentage de ciment carbonaté et de bancs carbonatés passe à la formation sus-jacente AL AZIZIYAH franchement carbonatée.

Le GEFLI (1972) décrit cette formation comme une série très argileuse de faciès rouge avec de nombreux niveaux de sable fin et de grès.

Limite supérieure

Au toit de la formation RAS HAMIA existe une zone de passage d'une épaisseur de 30 m environ (voir tableau page 16) située au dessus du banc calcaire à Ostrea. Les différents auteurs cités plus haut attribuent cette zone :

- soit à la formation RAS HAMIA (A. CHRISTIE 1954, A. DESIO et al. 1960 et 1963, R. ASSERETO et F. BENELLI 1969, GEFLI 1972) ;
- soit à la formation sus-jacente AL AZIZIYAH (P.F. BUROLLET 1960, C.P.T.L. 1959-1961, Ph. MAGNIER 1963, M. EL HINNAWY et al. 1975).

Cette zone de passage est attribuée à des âges différents (voir tableau page 16).

I-I- 3.1.3. - La formation AL AZIZIYAH

Lithologie

Pour A. CHRISTIE (1954) la formation est constituée de "calcaires compacts gris à gris foncés à beiges et roses avec quelques intercalations de silex". Il décrit les affleurements du dôme de GHARYAN (110 m) qu'il décompose en 4 unités, ceux des carrières de AL AZIZIYAH (45 m) et RAS PAMANA (34 m) qu'il découpe respectivement en 31 et 36 unités.

A. DESIO et al. (1963) décrivent les affleurements du dôme de GHARYAN (111 m) dans lesquels ils distinguent 4 unités et ceux des carrières de AL AZIZIYAH qu'ils décomposent en 29 unités.

R. ASSERETO et F. BENELLI (1969) définissent 6 faciès pétrographiques principaux qui sont :

- biolithites alquaires,
- micrites empruntées et laminées et micrites dolomitiques,
- biomicrites argileuses et biomicrites dolomitisées,
- pelmicrites,
- oosparites,
- dolomies cristallines moyennes à grossières.

Le GEFLI en 1972 décrit cette formation "calcaire, calcaire dolomitique avec des schistes argileux sombres finement lités. Passant graduellement à la partie inférieure au faciès gréseux du RAS HAMIA. Fréquent changement de faciès, surtout à l'Ouest en un faciès plus argileux, gypseux par endroit".

Limite supérieure

Au toit de la formation AL AZIZIYAH existe une zone de passage à la formation sus-jacente ABU SHAYBAH. Cette zone a des caractères lithologiques des deux formations et est attribuée :

- à la formation AL AZIZIYAH par P.F. BURCLET (1960-1961), la C.P.T.L. (1958-1961), Ph. MAGNIER (1963), M. EL HINNAWY (1975) ;
- à la formation ABU SHAYBAH par A. CHRISTIE (1954), A. DESLO (1960 et 1963).

I-I- 3.1.4. - La formation ABU SHAYBAH

A. CHRISTIE (1954) décrit cette formation comme : "composée principalement de grès rouges à brunâtres entrecroisés et de conglomérats à petits éléments, de grès blancs, d'une épaisseur considérable d'argiles rouges et vertes en partie bentonitique avec un léger pourcentage de gypse. Près de la base, un banc épais de 5 à 15 m de calcaire marneux brun".

R. ASSERETO et F. BENELLI (1969) après leur étude lithologique et pétrographique découpent cette formation en deux parties :

- la partie inférieure avec 4 zones :
 - . silt et grès fins (10 m),
 - . dolomies sableuses et silteuses (10 à 20 m),
 - . grès fins et silts (6 m),
 - . silt rouge violet et silt argileux (6 m) ;

- la partie supérieure dans laquelle ils distinguent 4 faciès :
 - . arénites à grains moyens et fins (à grains de quartz bien séparés) à stratification entrecroisée tabulaire à grande échelle,
 - . arénites à grains moyens à fins (à grains de quartz moyennement séparés) à stratification entrecroisée plane à moyenne échelle,
 - . grès pellitiques et pelletes,
 - . argiles indurées et pelletes plus structurées.

La C.P.T.L. (1959) définit cette formation comme : "grès et sables moyens parfois grossiers et microconglomératiques peu cimentés micacés et feldspathiques. La base est marquée par du conglomérat à éléments hétérogènes de quartz et de calcaire dur à débris d'os".

I-I- 3.2. - Les formations Jurassiques (tableau page 20)

Ces formations surmontent directement la formation triasique ABU SHAYBAH.

Une coupe lithologique et un aperçu synoptique de la nomenclature des formations jurassiques et des attributions d'âge dues à différents auteurs sont donnés par le tableau page 20.

Les difficultés qu'ont soulevé leur interprétation, leurs relations et leur attribution à des systèmes et étages géologiques ont fait l'objet d'un résumé et d'une mise au point effectuée en 1967 par G. BUSSON d'après les travaux de A. CHRISTIE (1955), la C.P.T.L. (1959), A. DESIO (1960), Ph. MAGNIER (1963). En 1975, la notice explicative de la carte géologique de la LIBYE au 1/250 000e feuille de TARABULUS résume les relations de ces formations entre elles ainsi que leurs relations avec les formations sus et sous-jacentes.

I-I- 3.3. - Les formations Crétacées (tableau page 21)

Une coupe lithologique et un aperçu synoptique de la nomenclature des formations crétacées et des attributions d'âge dues à différents auteurs sont données par le tableau page 21.

La première mention du WEALDIEN semble avoir été faite par D. ZACCAGNA (1919). A CHRISTIE en 1954 décrit cette série gréseuse sous le nom de CHICHLA formation, mais ce n'est qu'à la suite des travaux pétroliers et notamment ceux de la C.P.T.L. (1959-1961) et de Ph. MAGNIER (1963) que la lithologie, la stratigraphie et les relations entre les formations crétacées et les formations antérieures et postérieures ont pu être précisées.

LITHOLOGIE	AUTEURS		A. CHRISTIE 1955	P.F. BUROLLET 1960	Ph. MAGNIER 1963	A. DESIO et Al 1963	R. ASSERETO F. BENELLI 1969	M. EL HINNAWY et Al 1975	G.E.F.L.I. 1972 d'EMOIRE	
	EPAISSEUR									
	100 m				Calcaire Scecschiuch KIMMERIDGIEN OXFORDIEN			Form. Kiklah	Membre Shakshuk KIMMERIDGIEN	Form. Shakshuk JURASSIQUE SUP.
	150 m à 200 m				Grès du Chameau Mort OXFORDIEN CALLOVIEN				Membre Khashm az Zarzur KIMMERIDGIEN	Form. TIJI JURASSIQUE SUP. ET MOYEN
	60 m				Giosc CAL. OXFOR.					
	60m-80 m	BAJOCIEN?			Tacbal BATHONIEN	Calcaire Tacbal BATHONIEN	Calcaire Tacbal JURAS. MOY.	Form. Tacbal BATHONIEN		
	150 m à 350 m	Bir el Ghnem	Bir el Ghnem	Bir el Ghnem	Abreghs BAJOCIEN?	Gypses de Bir el Ghnem	Bir el Ghnem Group	Form. Abreghs JURASSIQUE MOYEN	Membre Abreghs BAJOCIEN	Groupe Bir
	20m à 30m	Group	Group	Group	Bu en Niran			Bu en Niran	Membre Bu en Niran	«B»
	300 m à 400 m	JURASSIQUE	JURASSIQUE	TRIAS	Bir el Ghnem LIAS INF.	JURASSIQUE MOYEN ET INF		Form. Bir el Ghnem (S.Str.) JURASSIQUE INFÉRIEUR	Gypses de Bir el Ghanam JURASSIQUE INFÉRIEUR	al Ghanam JURASSIQUE MOYEN ET INF.
		Calcaire Bu Gheilan			Bu Gheilan LIAS INF.	Calcaire de Bu Gheilan JURASSIQUE INFÉRIEUR		Form. Bu Gheilan	Form. Abu Gheilan	Form. Abu Gheilan
		Bu Sceba Group	Form. Bu Sceba	Form. Bu Sceba	Form. Bu Sceba	Form. Bu Sceba	Form. Bu Sceba	Form. Abu Shaybah	Form. Abu Shaybah	Form. Abu Shaybah

COUPE LITHOLOGIQUE SCHEMATIQUE ET APERCU SYNOPTIQUE DE LA NOMENCLATURE DES FORMATIONS JURASSIQUES ET DES ATTRIBUTIONS D'AGE DUES A DIFFERENTS AUTEURS ENTRE GHARYAN ET GIADO

LITHOLOGIE	AUTEURS		A. CHRISTIE 1955	P.F. BUROLLET 1960	Ph. MAGNIER 1963	A. DESIO et Al 1963	R. ASSERETO F. BENELLI 1969	GEFLI 1972	M. EL HINNAWY et Al 1975	MEMOIRE	
	EPAISSEUR										
	100 m				Form. Socna MAESTRICHEN			CRETACE SUPERIEUR		Form Socna MAESTRICHEN	
	100 m				Form. Mizda SANTO- CAMPANIEN			INDIF.		Form Mizda SENONIEN	
	190 m	Form. Gasr Tigrinna CENO- TURONIEN			Form. Tigrinna TURONO- SENONIEN	Form. Tigrinna CENO- TURONIEN			Form. Qasr Tigrinnah TURONIEN	Form. Tigrinna TURONIEN	
	50 m à 100 m	Calcaire de Garian CENOMANIEN			Calcaire de Garian TURONIEN	Calcaire de Garian CENOMANIEN		Calcaire de Gharyan TURONIEN	Form. Nalut CENOMANIEN	Form. Gharyan CENOMANIEN SUP.	
	50 m à 200 m	Marnes de Jefren CENOMANIEN			Form. Ain Tobj	Marnes de Jefren CENOMANIEN		Form. Ain Tobj Yefren	Form. Sidi As Sid	Membre Yafren CENOMANIEN	Form. Yafren CENOMANIEN SUP et MOYEN
	30 m à 40 m	Calcaire d' Ain Tobj CENOMANIEN			CENOMANIEN	Calcaire d' Ain Tobj CENOMANIEN	Form. Ain Tobj CRET. SUP.	CENOMANIEN		Membre Fm. Ain Tobj CENOMANIEN	Form. Ain Tobj CENOMANIEN MOYEN et INF.
	0 m à 100 m	Form. Chicla WEALDIEN	Sable d' Uazzen	Form. Chicla ALBIEN	Form. Chicla WEALDIEN et ALBIEN	Form. Chicla CRETACE INF.		Grès de Kiklah et Kabaw CRETACE INF.	Form. Kiklah	Membre Ar Rajban JURASSIQUE SUPERIEUR	Form. Kiklah ALBIEN
	0 m à 200 m		Dolomite de Giado	Cabao WEALDIEN et CRETACE INFÉRIEUR INDIF.				Form. Shakshuk		Membre Shakshuk KIMMERIDGIEN	

COUPE LITHOLOGIQUE SCHEMATIQUE ET APERCU SYNOPTIQUE DE LA NOMENCLATURE DES FORMATIONS CRETACEES ET DES ATTRIBUTIONS D'AGE DUES A DIFFERENTS AUTEURS

Ph. MAGNIER (1963) définit de la base au sommet les unités suivantes :

- le CABAO "cette série de grès et sables alternant avec des argiles grises n'existe que dans le Jebel NEFOUSA à l'Ouest de GIADO ; elle disparaît à l'Est sous la transgression du KIKLAH".

- le KIKLAH défini au village de KIKLAH, formé d'argiles rouges et de sables blancs conglomératiques est discordant sur les séries sous-jacentes et serait d'âge ALBIEN.

- l'AIN TOBI inclut les argiles de YA FRIN qui se différencient mal de la partie inférieure plus calcaire de la formation AIN TOBI S.S. (CENOMANIEN).

- le GHARYAN date du TURONNIEN.

Tous ces termes sont concordants. Leur épaisseur croît du Sud vers le Nord-Est.

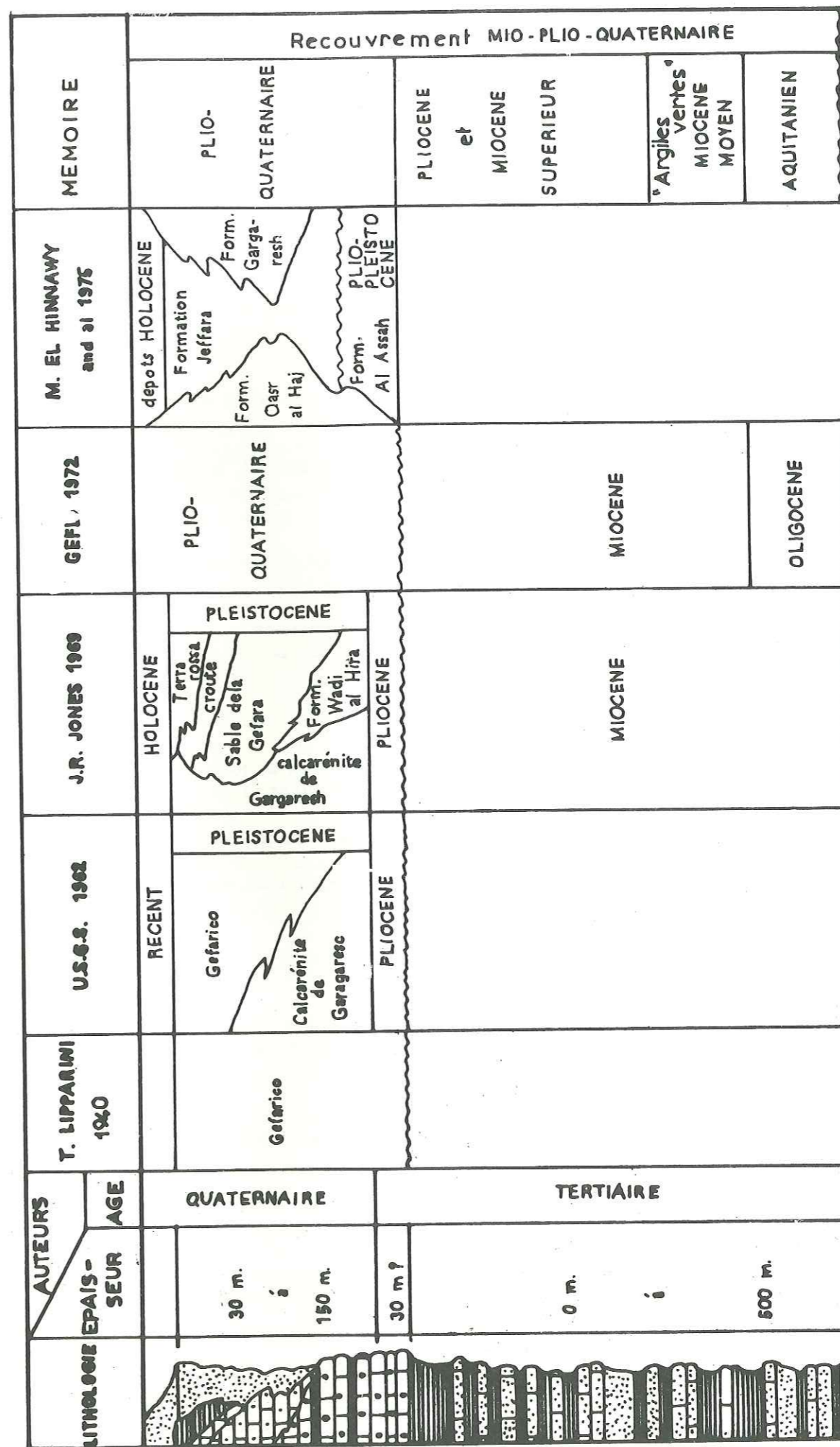
Des études lithologiques, pétrographiques et paléontologiques ont été également effectuées par R. ASSERETO et F. BENELLI (1969) et Omar S. HAMMUDA (1967).

L'étude de la région ZLITEN-MISRATAH-TAWURGHAH menée par le GEFLI a permis de préciser la stratigraphie du CRETACE. La nomenclature adoptée est celle de Ph. MAGNIER (1963) et les attributions d'âge sont :

- formation SOCNA du MAESTRICHIEN,
- formation MIZDAH du SENONIEN,
- formation TIGRINNA du TURONIEN,
- formation GHARYAN du CENOMANIEN Supérieur,
- formation YA FRIN du CENOMANIEN Supérieur et Moyen,
- formation AIN TOBI du CENOMANIEN Moyen et Inférieur,
- formation KIKLAH de l'ALBIEN.

I-I- 3.4. - Les formations Tertiaires et Quaternaires (Tableau page 23).

Le tableau page 23 donne une coupe lithologique schématique et un aperçu synoptique de la nomenclature des formations tertiaires et quaternaires et des attributions d'âge dues à différents auteurs.



- COUPE LITHOLOGIQUE SCHEMATIQUE ET APERÇU SYNOPTIQUE DE LA NOMENCLATURE DES FORMATIONS QUATERNAIRES ET TERTIAIRES ET DES ATTRIBUTIONS D'AGE DUES A DIFFERENTS AUTEURS.

I-I- 3.4.1. - Le Tertiaire

JONES J.R. (1969) définit 3 unités :

- une unité basale d'une puissance maximale de 80 m formée de sable à grains de quartz et de graviers et attribuée au BURDIGALIEN ;

- une unité intermédiaire d'une épaisseur maximale de 400 m formée d'argile et de marne dans lesquelles s'intercalent des calcaires, calcaires gréseux et grès que l'on attribue à l'HELVETIEN (MIOCENE Moyen) ;

- une unité supérieure constituée de calcaire et d'argile et attribuée au TORTONIEN (MIOCENE Moyen) ;

Le MIOCENE à la suite des études du GEFLI et principalement WESTERN ZONE (1972), projet WADI AR RAMIL (1974), projet BIR AT TARFASS (1974) peut être divisé en 4 unités :

- une unité basale gréso-sableuse avec quelques intercalations argileuses rouges et attribuée à l'AQUITANIEN ;

- une unité argileuse et marneuse attribuée au MIOCENE Moyen et appelée "argiles vertes" dont la puissance est de 70 m à 125 m à BIR AT TARFASS et de 30 m à WADI AR RAMIL ;

- une unité sablo-gréseuse avec quelques passées argileuses ;

- une unité sommitale argileuse (20 à 70 m de puissance à BIR AT TARFASS) qui n'est visible en forage qu'à l'Ouest du méridien de AZ ZAHRA ;

Les deux dernières unités sont attribuées au MIO-PLIOCENE.

La puissance du MIOCENE croit d'Est en Ouest et du Sud vers le Nord.

I-I- 3.4.2. - Le Pliocène

Il est lithologiquement constitué par des grès et des conglomérats.

I-I- 3.4.3. - Le Quaternaire

Les précédents auteurs ont déterminé les séries suivantes durant le PLEISTOCENE :

- la calcarénite de GARGARESH qui est un grès calcaire lumachellique faiblement cimenté ;

- la formation WADI AL HIRA et les SABLES de la GEFARA, termes repris par JONES en 1969 en remplacement du nom de GEFARICO de T. UPPARINI (1940), en référence aux dénominations adoptées par USGS en 1962 dans les rapports sur AL MAYAH, SURMAN - AZ ZAWIYAH.

La formation WADI AL HIRA composée de sables, graviers, silts, argiles et dépôts fluviaux parfois bien cimentés sous forme de croûtes ne constitue pour les auteurs de la notice explicative de la carte géologique de la LIBYE que le membre supérieur de la formation QASR AL HAJ.

Les SABLES de la GEFARA ou formation GEFARA de M. EL HINNAWY et al. (1975) sont des sables fins à très fins avec des niveaux de silt, d'argile et de sable grossier avec quelques lits de croûte. C'est une formation continentale principalement éolienne. Seules des argiles peuvent être marines.

Le dépôt de ces deux formations peut être synchrone.

- les croûtes ou calcrète. Ce sont des croûtes calcaires massives avec des nodules, de répartition sporadique provenant de la cimentation de matériaux divers que l'on retrouve aussi bien dans la formation WADI AL HIRA que dans les SABLES de la GEFARA ;

- la TERRA ROSSA. Ce sont des argiles résiduelles.

Durant l'HOLOCENE se sont formés des sédiments continentaux non consolidés fins à grossiers (sables dunaires, dépôts fluviaux, argiles, silts et dépôts de sebkha).

I-I- 4. MOYENS, BUTS ET METHODES POUR LA NOUVELLE ETUDE

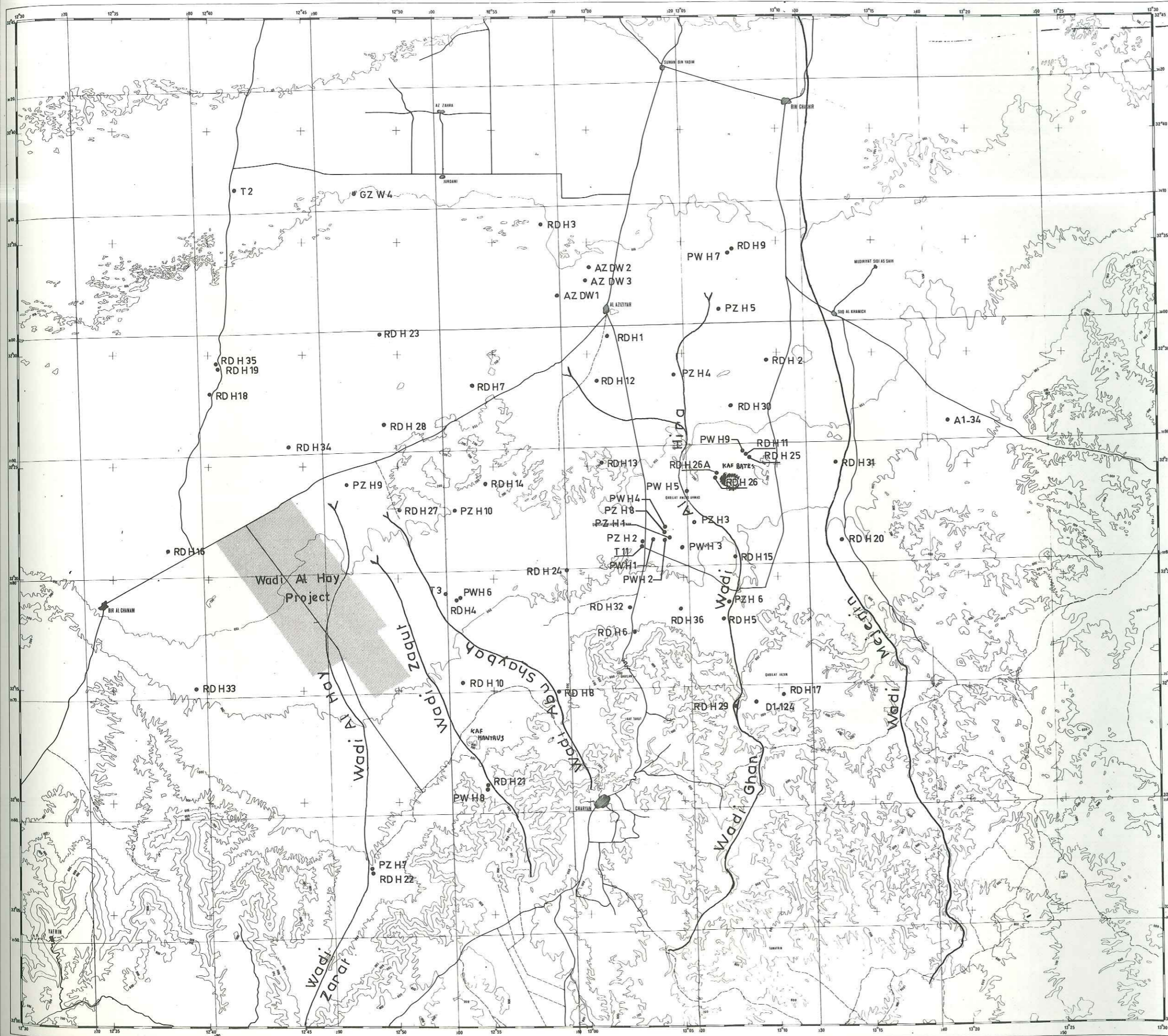
Nous en referons pas une étude stratigraphique complète de la TRIPOLITAINE dans ce mémoire. Nous la préciserons simplement à partir de la zone étudiée en tenant compte du fait que sur cette région, il n'y a pas ou peu d'affleurements.

Nous allons donc redéfinir les formations à partir des descriptions de forage. Les informations géologiques données par les cuttings de forage ne sont généralement pas assez précises pour dresser des coupes géologiques et établir des corrélations. Cette imprécision est liée aux retombées, aux pertes de circulation observées sur la plupart des forages. Pour effectuer des corrélations, la comparaison des cuttings et des logs géophysiques effectués sur chaque puits (électrique 6" latérale et radioactivité gamma principalement) sera nécessaire. Ensuite nous essaierons de dater ces formations grâce à une étude palynologique des cuttings des forages.

AGE			NOMENCLATURE	LITHOLOGIE	EPAISSEUR	
ANTHRO-POZOIQUE (QUATERNAIRE)	HOLO	HOLOCENE			30 m.	
	PLEIS-TOCENE	PLEISTOCENE	PLIO-QUATERNAIRE *		30 m. à 180 m.	
CENOZOIQUE (TERTIAIRE)	PLIO	PLIOCENE			RECouvreMENT *	0 m.
		MIOCENE SUPERIEUR	PLIOCENE et * MIOCENE SUPERIEUR			à
		MIOCENE MOYEN	ARGILES VERTES *			500 m.
	OLIGO-CENE	AQUITANIEN	AQUITANIEN *			
MEZOZOIQUE (SECONDAIRE)	CRETACE	SUPERIEUR	MAESTRICHTIEN		Formation SOCNA	100 m.
			SENONIEN		Formation MIZDA	100 m.
			TURONIEN		Formation TIGRINNA	190 m.
		CENOMANIEN	SUPERIEUR		Formation GHARYAN	50 m. à 100 m.
			SUPERIEUR - MOYEN	Formation YAFRIN	50 m. à 200 m.	
			MOYEN - INFÉRIEUR	Formation AIN TOBI *	0 m. à 200 m.	
	CRETACE INFÉRIEUR		Gres de KIKLAH et KABAW *		0 m. à 100 m.	
	JURASSIQUE	JURASSIQUE SUPERIEUR et MOYEN		Formation SHAKSHUK	100 m.	
		JURASSIQUE MOYEN		Formation TLJI	210 m. à 280 m.	
		JURASSIQUE INFÉRIEUR		Groupe de B'IR AL GHANAM	150 m. à 350 m.	
				Formation BU GHEILAN	300 m. à 400 m.	
	TRIAS	KEUPER	RHETIEN	Formation *	150 m. à 200 m.	
			NORIEN	ABU SHAYBAH *	250 m. à 350 m.	
MUSCHELKALK		Formation RAS HAMIA *	200 m. à 350 m.			
TRIAS INFÉRIEUR		Formation OULED CHEBBI *	30 m. à 150 m.			

COUPÉ LITHOLOGIQUE SCHEMATIQUE, NOMENCLATURE ADOPTÉE DANS LE MÉMOIRE ET AGE DES FORMATIONS SECONDAIRES, TERTIAIRES ET QUATÉRIENNES. LES FORMATIONS MARQUÉES D'UN * ONT ÉTÉ RENCONTRÉES PAR LES FORAGES DE L'ÉT

LOCALISATION DES FORAGES



Assemblage des cartes au 1:50,000

12°30'	12°45'	12°30'	12°45'	12°30'
12°30'	12°45'	12°30'	12°45'	12°30'
12°15'	12°30'	12°15'	12°30'	12°15'
12°00'	12°15'	12°00'	12°15'	12°00'

Équidistance des courbes : 100 mètres sauf en plaine 50 mètres



I-II - LES FORMATIONS RENCONTREES

Dans ce mémoire nous avons adopté la nomenclature décrite dans le tableau page 26. Seules les formations marquées d'une astérisque ont été rencontrées par les forages d'étude. Ce sont des formations triasiques, crétacées, tertiaires et quaternaires ainsi que des formations volcaniques et granitiques. Les forages mentionnés dans ce chapitre figurent sur la planche n°2, page 27.

I-II-1 . LES FORMATIONS TRIASIQUES

I-II- 1.1. La formation OULED CHEBBI

I-II- 1.1.1. - Lithologie

Cette formation a été recoupée en totalité par le forage de reconnaissance RDH 13 sur une épaisseur de 78 m (voir tableau page 29) et repose sur le socle granitique atteint à la cote 636 m sous le sol. Du sommet à la base on rencontre :

- 30 m d'argiles rouges avec quelques intercalations gréseuses et dolomitiques,

- 48 m de grès rouges bien cimentés et grossiers parfois microconglomératiques et légèrement fissurés.

Cette formation a été recoupée également par le forage RDH 26 et par le forage RDH 7 (voir tableau page 29). Sur ce dernier la présence de roche de type rhyolitique masque lithologiquement et en diagraphie le toit de la formation OULED CHEBBI.

Forage	RDH 13	RDH 26	RDH 7
Cote du toit de la formation	558	590	450 ?
Cote du mur* ou du fond du forage	636*	701	550
Epaisseur traversée	78	111	100 ?
Puissance	78	> 111	>100 ?

Cote en m sous le sol, du toit, du mur ou du fond de forage. Epaisseur traversée et puissance en m de la formation OULED CHEBBI sur les forages ayant rencontré cette formation.

I-II- 1.1.2. - Paléontologie

L'étude micropalynologique de 15 échantillons prélevés sur les forages RDH 13, RDH 26, RDH 7 a révélé la présence des formes suivantes :

<u>Accintisporites sp.</u>	<u>Platysaccus papilionis</u>
<u>Alisporites plicatus</u>	<u>Punctatisporites sp.</u>
<u>Aratrisporites fischeri</u>	<u>Raistrickia sp.</u>
<u>Aratrisporites saturni</u>	<u>Sahnites grandis</u>
<u>Calamospora heviradiata</u>	<u>Scopulisporites minor</u>
<u>Calamospora diversiformis</u>	<u>Striatites nichteri</u>
<u>Converrucosisporites sp.</u>	<u>Sulcatissporites sp.</u>
<u>Ellipsovelatisporites velatus</u>	<u>Taeniasporites kraeuseli</u>
<u>Falcisporites stabilis</u>	<u>Taeniasporites novimundi</u>
<u>Fuldaesporites</u>	<u>Taeniasporites sp.</u>
<u>Guttulapollenites sp.</u>	<u>Triadispota muelleri</u>
<u>Hexasaccites muelleri</u>	<u>Triadispota sp.</u>
<u>Hystriehosporites sp.</u>	<u>Triatites aequalis</u>
<u>Labiisporites granulatus</u>	<u>Veryachium</u>
<u>Lunatisporites amplus</u>	<u>Vesicaspora sp.</u>
<u>Platysaccus queenslandi</u>	<u>Vitreisporites signatus</u>
<u>Platysaccus minor</u>	

Les formes soulignées sont les formes-guide apparaissant sur le tableau page 50.

I-II- 1.1.3. - Vocation hydrogéologique

On a vu que la formation OULED CHEBBI se décompose en deux parties. Une partie basale gréseuse et une partie sommitale argileuse.

Malgré le petit nombre de points d'observation, on postulera que cette formation existe sous toute la zone d'étude.

Sous l'angle hydrogéologique, il semblerait que seule la partie basale gréseuse soit susceptible d'être aquifère.

Le rôle des argiles qui la surmontent sera analysé dans le chapitre II. Il convient toutefois de souligner que ce niveau argileux ne semble pas avoir été rencontré au forage RDH et que son extension géographique n'est pas connue.

I-II- 1.2. - La formation RAS HAMIA

La formation RAS HAMIA a été recoupée en totalité par les forages RDH 13 et RDH 26 et partiellement par les forages figurant sur le tableau page 31.

I-II- 1.2.1. - Lithologie

La formation RAS HAMIA se présente lithologiquement comme une formation argilo-gréseuse avec des niveaux dolomitiques à la base et au sommet. Les grès sont fins, friables à consolidés à ciment calcaire ou argilo-carbonaté. Les argiles sont indurées parfois silteuses, gréseuses et micacées, rouges, brunes, verdâtres, grises ou bariolées. Les dolomies sont gris sombre.

En diagraphie, les niveaux gréseux se différencient généralement des horizons argileux par une résistivité électrique plus importante et par une radioactivité gamma plus faible (ce dernier critère n'est pas absolu car les grès ont parfois une radioactivité gamma aussi élevée que celle des argiles - voir planche n° 3 page 33). Si cette différenciation est bien marquée sur certains forages (RDH 4 et AZDW 2, par exemple), elle est moins nette dans la partie supérieure de RDH 13 et de RDH 14.

Forage	RDH 13	RDH 26	RDH 3	RDH 4	RDH 7	RDH 12	RDH 14	RDH 24	RDH 31	RDH 32	RDH 36
Cote du toit* ou d'apparition de la formation	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*
	170	102	340	280	76	205	235	256	270	323	294
Cote du mur* ou de fond de forage	*	*			*						
	558	590	600	475	450?	291	370	500	400	351	352
Epaisseur traversée	338	488	260	195	374?	86	135	244	130	28	58
Puissance	388	488	>260	>195	>374?	>86	>135	>244	>130	>28	>58

Cotes en m sous le sol, du toit ou d'apparition, du mur ou de fond de forage. Epaisseur traversée et puissance en m de la formation RAS HAMIA sur les forages ayant rencontré cette formation.

I-II- 1.2.2. - Limite supérieure

Cette limite est marquée par une diminution de la radioactivité gamma et par une brusque augmentation de la résistivité qui passe de 10-20 Ωm à 200 Ωm. Cette augmentation de la résistivité et la diminution de la radioactivité soulignent très nettement le passage des argiles de la formation RAS HAMIA aux roches carbonatées de la formation AL AZIZIYAH sus-jacente. Une vingtaine de mètres avant la diminution de la radioactivité gamma, on remarque en diagraphie 2 à 3 pics résistants (50 à 100 Ωm) dus à des bancs calcaréo-dolomitiques qui correspondent aux niveaux à Ostrea de A.L. BRICHANT. La limite formation RAS HAMIA - formation AL AZIZIYAH adoptée dans ce mémoire correspond donc à celle donnée par A. CHRISTIE (1954) et A. DESIO et al. (1963) et GEFLI (1972).

I-II- 1.2.3. - Définition d'horizons

La différenciation d'horizons au sein de la formation RAS HAMIA est difficile car 2 forages de reconnaissance seulement ont traversé cette formation dans sa totalité. Grâce aux corrélations de diagraphies, on peut toutefois définir 6 horizons (planche n° 3 page 33) qui de haut en bas, sont les suivants :

-6- Horizon sommital d'une trentaine de mètres environ dans lequel on observe des pics résistants calcaréo-dolomitiques intercalés dans des argiles rouges de radioactivité gamma importante. Cet horizon avec ses pics résistants caractéristiques possède un très bon repère électrique que l'on retrouve sur toutes les diagraphies.

-5- Horizon argileux puissant de 25 à 30 m.

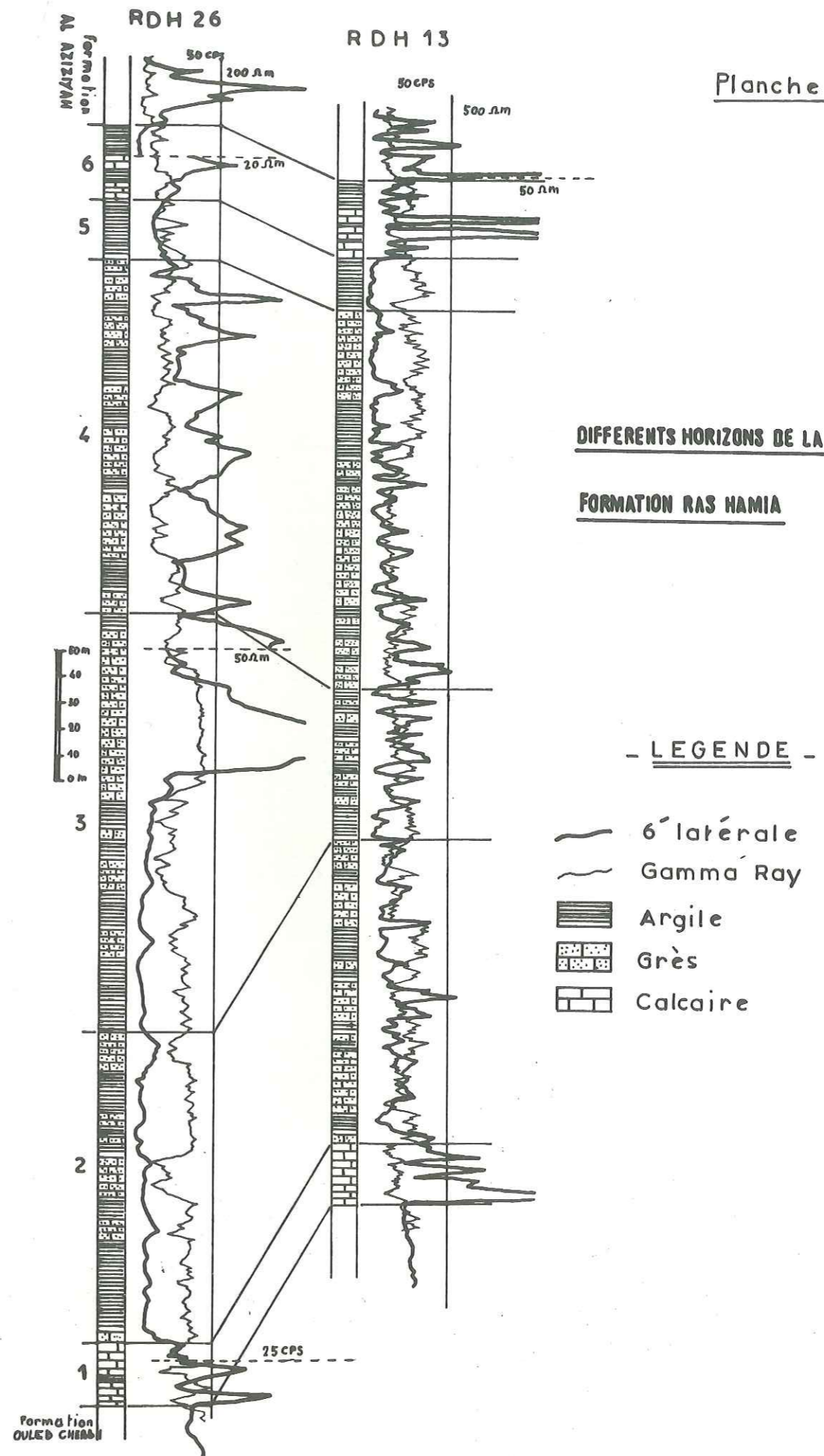
-4- Horizon d'alternances gréseuses et argileuses d'une puissance de 50 à 60 m. Ces alternances sont mieux marquées sur le forage RDH 26 que sur le forage RDH 13 où l'horizon est plus gréseux.

-3- Horizon d'épaisseur très variable (60 m au RDH 13, 160 m au RDH 26). C'est une horizon gréseux et argileux. Il semblerait au vu de ces deux forages qu'il existe au niveau du forage RDH 13 une lacune sédimentaire certainement due à un mouvement positif de la région.

Cet horizon et les suivants n'ont pas été recoupés par les autres forages de l'étude.

-2- Horizon d'une puissance de 120 m environ formé d'alternances gréseuses et argileuses.

-1- Horizon basal résistant et dolomitique d'une vingtaine de mètres.



I-II- 1.2.4. - Paléontologie

L'étude de 110 échantillons dans lesquels une microflore a été identifiée a révélé la présence des formes suivantes :

Accinctisporites africanus
Accinctisporites sp.
Alisporites plicatus
Alisporites toralis
Aratrisporites fimbriatus
Aratrisporites fischeri
Aratrisporites saturni
Aratrisporites scabratus
Aratrisporites sp.
Aratrisporites virgatus
Calamospora brevipennis
Calamospora breviradiata
Calamospora diversiformis
Camerosporites secatus
Chordasporites sp.
Cuneatisporites reticulatus
Cycadopites sp.
Disaccites 3485
Disaccites 3489
Duplicisporites granulatus
Duplicisporites mancus
Ellipsovelatisporites plicatus
Ellipsovelatisporites velatus
Falcisporites stabilis
Hexasaccites muelleri
Hystriochosporites sp.
Infernopollenites sp.
Jugasporites
Klausipollenites schaubergeri
Kraeuselisporites baculatus
Labiidispores granulatus
Leiotriletes sp.
Leiofusa sp.
Lunatisporites amplus
Lunatisporites major
Lunatisporites novimundi
Lybiaesporites sp.
Microcachryidites doubingeri

Microreticulatisporites opacus
Microreticulatisporites sp.
Minutosaccus potonie
Ovalipollis rarus
Ovalipollis sp.
Patinasporites iustus
Patinasporites toralis
Platysaccus papilionis
Platysaccus queenslandi
Platysaccus umbrosus
Punctatisporites sp.
Pyramidosporites
Raistrickia sp.
Reticulatisporites sp.
Sahnites grandis
Sahnites sp.
Scopulisporites minor
Scopulisporites sp.
Sulcatisporites interpositus
Sulcatisporites sp.
Sulcatisporites sulcatus
Taeniaesporites kraeuseli
Taeniaesporites noviaulensis
Taeniaesporites novimundi
Triadispora aurea
Triadispora falcata
Triadispora sp.
Triadispora staplini
Trialites coronata
Trialites aequalis
Verrucosporites sp.
Veryachium regulare
Veryachium sp.
Vesicaspora sp.
Vitreisporites pallidus
Vitreisporites signatus
Vitreisporites sp.

Les formes soulignées sont les formes-guides apparaissant sur le tableau de la page 50.

La macro-faune et la micro-faune n'ont pas fait l'objet d'études particulières mais les échantillons analysés ont montré la présence de lamel-libranches et d'ostracodes (RDH 3).

I-II- 1.2.5. - Vocation hydrogéologique

On a dans un paragraphe précédent décomposé cette formation en 6 horizons. Il apparaît que la formation RAS HAMIA a un caractère détritique très marqué avec des alternances de niveaux argileux et des niveaux gréseux ou gréso-argileux.

On peut attribuer un rôle d'aquifère aux horizons 1-2-3-4 (horizons 1-2-3 argilo-gréseux et gréseux, et horizon 1 dolomitique).

La partie supérieure représentée par les horizons 5 et 6 à prédominance argileuse peut jouer le rôle d'un imperméable.

I-II- 1.3. La formation AL AZIZIYAH

La formation AL AZIZIYAH a été recoupée en totalité par les forages RDH 32 et RDH 36 et partiellement par les forages figurant sur le tableau page 36.

I-II- 1.3.1. - Lithologie

Sur le forage de reconnaissance RDH 32, la formation AL AZIZIYAH d'une puissance de 281 m peut du sommet vers la base se décomposer en 4 ensembles lithologiques :

- 30 m de calcaires dolomitiques plus ou moins gréseux avec des intercalations argileuses ;
- un niveau argileux rouge (15 m) ;
- des calcaires dolomitiques et marneux passant progressivement vers la base à l'ensemble sous-jacent ;
- des alternances de calcaires, de dolomies et de marnes noires.

I-II- 1.3.2. - Limites de la formation

Le passage de la formation argilo-gréseuse RAS HAMIA à la formation carbonatée AL AZIZIYAH se traduit en diagraphies, par une augmentation de la résistivité électrique et une diminution de la radioactivité gamma et correspond à la limite donnée par A. CHRISTIE (1954) et A. DESIO et al. (1963) et le GEFLI (1972).

FORAGE	RDH1	RDH2	RDH3	RDH4	RDH5	RDH6	RDH8	RDH9	RDH10	RDH12	RDH13	RDH14	RDH15	RDH16	RDH17	RDH18
Cote du toit* ou d'apparition	147	147	310	73	57*	115*	38	243*	79	63	6	20	106*	170*	115*	342*
Cote du mur* ou de fond de forage	361	350	340*	280	180	200	249,5	350	250	205*	170*	235*	361	275,3	340	500
Epaisseur traversée	214	203	30	207	123	85	211,5	107	171	142	164	215	255	105,3	225	158
Puissance	> 214	> 203	> 30	> 207	> 123	> 85	> 211,5	> 107	> 171	> 142	> 164	> 215	> 255	> 105,3	> 225	> 158

FORAGE	RDH20	RDH21	RDH22	RDH23	RDH24	RDH25	RDH26	RDH27	RDH28	RDH30	RDH31	RDH32	RDH33	RDH34	RDH36	PWH1
Cote du toit ou d'apparition	73	190*	192*	151	3	440*	46	56	32	210*	57	42*	120*	160*	52	?
Cote du mur* ou de fond de forage	300,5	299	240	266,8	256*	632,5	102*	89	100	324	270*	323*	266,5	360	294*	191
Epaisseur traversée	227,5	109	48	115,8	253	192,5	56	33	68	123	223	281	146,5	200	262	?
Puissance	> 227,5	> 109	> 48	> 115,8	> 253	> 192,5	> 56	> 33	> 68	> 123	> 223	281	> 146,5	> 200	> 262	> ?

FORAGE	PWH2	PWH3	PWH4	PWH5	PWH6	PWH7	PWH8	PZH1	PZH2	PZH3	PZH4	PZH6	PZH8	PZH9	PZH10
Cote du toit* ou d'apparition	6	30	29	12	64	235*	195*	20	18	75	62	75*	52	78	32
Cote du mur* ou de fond de forage	197	200	202	200	250	420	220	166	160	131	131	165	200	80	120
Epaisseur traversée	191	170	173	188	186	185	25	146	142	56	69	90	148	2	88
Puissance	> 191	> 170	> 173	> 188	> 186	> 185	> 25	> 146	> 142	> 56	> 69	> 90	> 148	> 2	> 88

Cotes, en mètres sous le sol, du toit ou d'apparition, du mur ou de fond de forage ; épaisseur traversée et puissance en mètres de la formation AL AZIZIYAH sur les forages ayant rencontré cette formation.

La limite supérieure est marquée par une augmentation de la radio-activité ainsi que par une diminution de la résistivité électrique qui passe de 50, 100 ou 200 Ωm à 10 - 20 Ωm par suite de la disparition des séries carbonatées de la formation AL AZIZIYAH et de l'apparition des argiles de la formation sus-jacente ABU SHAYBAH. Cette limite supérieure est tout de même moins tranchée que la limite inférieure.

Dans le cadre de cette étude, la limite formation AL AZIZIYAH - formation ABU SHAYBAH correspond à la limite prise en compte par P.F. BUROLLET (1960-1961) et Ph. MAGNIER (1963).

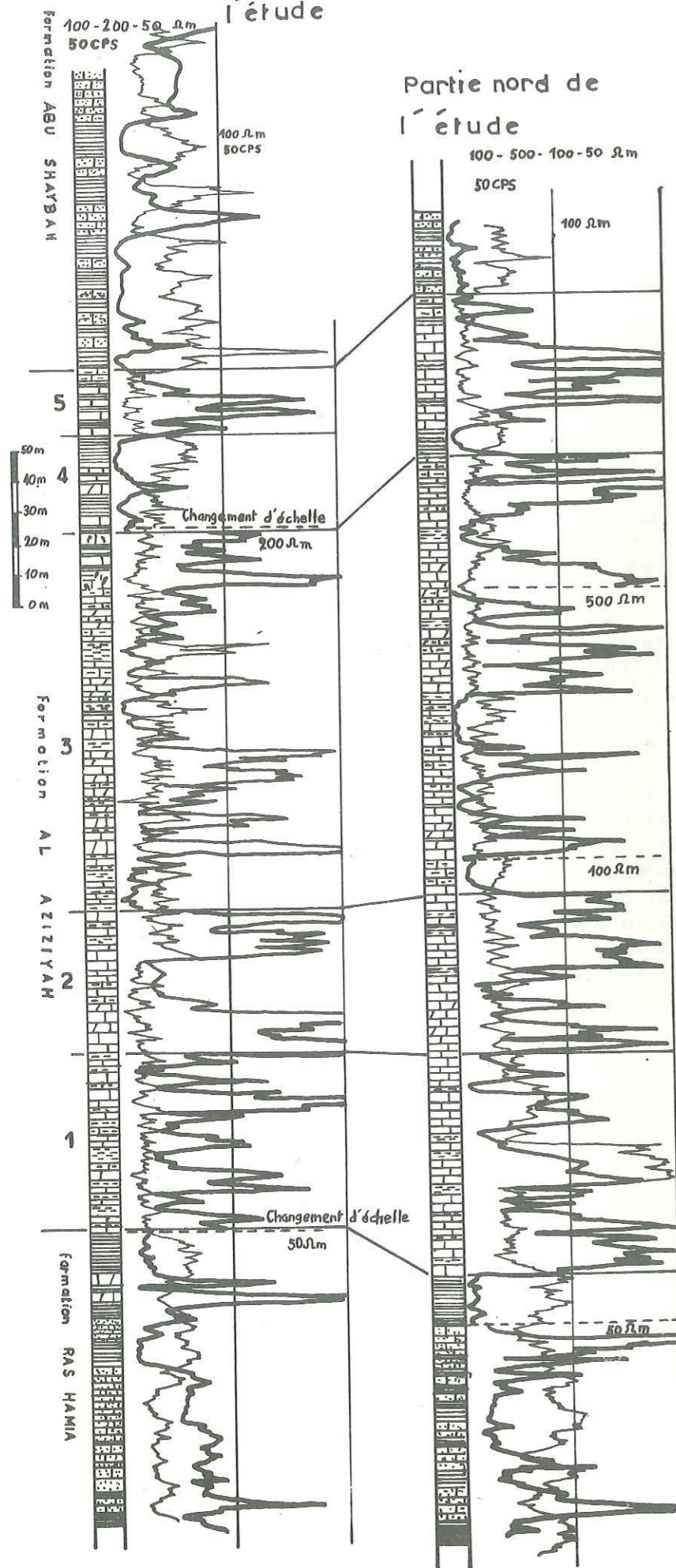
I-II- 1.3.3. - Définition d'horizons

Grâce aux diagraphies et aux corrélations qui ont été établies on distingue du toit vers le mur 5 horizons définis principalement par leur résistivité électrique (planche n°4, page 38).

-5- Horizon résistant calcaréo-dolomitique ou calcaréo-gréseux de résistivité électrique de 100 à 200 Ωm avec des intercalations de niveaux conducteurs. L'épaisseur de cet horizon est constante en pied de Jebel (20 m) mais est plus importante à la latitude de AL AZIZIYAH (40 m).

-4- Horizon conducteur argileux de résistivité électrique voisine de 10-20 Ωm dans lequel se situe un pic résistant correspondant à un niveau calcaréo-dolomitique présent sur toutes les diagraphies. Cet ensemble puissant au Sud de 30 m voit son épaisseur diminuer vers le Nord et passer à 10 m à la latitude de AL AZIZIYAH. Le niveau calcaréo-dolomitique repère est, dans ce dernier cas, situé à la base de l'ensemble 5 sus-jacent dont l'épaisseur est alors de 40 m. Dans le rapport du GEFLI concernant le projet GARABULLI l'horizon 5 défini ci-dessus est désigné par "premier aquifère de AL AZIZIYAH ou AZ 1).

-3- 120 à 140 m d'alternances de pics résistants, dont la résistivité électrique varie entre 100 et 400 Ωm , et d'intentations conductrices correspondant respectivement à des bancs calcaréo-dolomitiques et à des niveaux de calcaire marneux et de marne de résistivité électrique variant entre 10 et 30 Ωm . Ces alternances se traduisent par des diagraphies déchiquetées. Dans cet horizon de nombreuses variations dans les valeurs des résistivités électriques sont dues au degré de fissuration et à la texture des roches. Dans le rapport du GEFLI concernant le projet de GARABULLI, le "second aquifère de AL AZIZIYAH ou AZ 2" correspond à la moitié inférieure de l'horizon 3 défini ci-dessus.



**DIFFERENTS HORIZONS DE LA
FORMATION AL AZIZIYAH**

- LEGENDE -

- 6' latérale
- Gamma Ray
- Argile
- Grès
- Calcaire
- Calcaire dolomitique
- Calcaire marneux
- Marnes

-2- 40 à 50 m d'un horizon résistant, plus ou moins massif (400 à 1 200 Ωm) avec quelques passées conductrices. Cependant quelques exceptions sont observables. Elles sont certainement dues à la karstification variable ou/et aux phénomènes de dissolution des dolomies qui peuvent devenir très poreuses (RDH 1 et AZDW 2, par exemple).

-1- 55 à 65 m de pics résistants et de passées conductrices donnant un aspect indenté aux diagraphies. Cet ensemble correspond à des bancs calcaréo-marneux ou dolomitiques alternant avec de nombreuses passées de marnes noires et parfois d'argiles rougeâtres.

Ces 5 horizons sont plus ou moins bien délimités entre eux. Suivant la localisation géographique des forages, les caractéristiques géophysiques (résistivité électrique, radio-activité) d'un même horizon sont variables. Ces variations sont dues à des changements de faciès, à la karstification et aux phénomènes de dissolution des roches carbonatées. L'horizon 5 est une zone de transition entre la série calcaréo-dolomitique franche de la formation AL AZIZIYAH et la formation argilo-gréseuse ABU SHAYBAH. Au Sud et à l'Ouest, les calcaires de cet horizon sont plus gréseux (RDH 16, RDH 21) ou plus marneux (forages du projet WADI AL HAY et RDH 18).

En dehors des variations de faciès de cet horizon 5, d'autres variations ont été mises en évidence au sein de la formation. On observe localement une évolution de la "série type" calcaréo-dolomitique précédemment définie vers des faciès argilo-gréseux ou argilo-marneux. Dans un premier cas l'évolution n'est pas totale et il subsiste des niveaux calcaires au sein d'une série argileuse. Ce phénomène s'observe dans le secteur du Wadi AL HIRA au niveau de la terminaison Nord du Jebel (RDH 5, RDH 36) et le long de la route BIR AL GHANAM - AZ ZAWIYAH (RDH 16). Dans le deuxième cas, l'ensemble de la formation a été envahi par des argiles et des gypses (RDH 17, RDH 6, RDH 33) ou par des marno-calcaires (RDH 18). La limite entre ces séries à faciès argilo-gypseux et la "série type" à faciès calcaréo-dolomitique a été tracée sur la planche 6, page 63. Elle est relativement bien connue dans le secteur de piedmont du Wadi AL HIRA mais beaucoup plus approximative faute de calage dans la partie Ouest. Seules quelques observations au niveau du Wadi AL HIRA nous permettent de penser que le passage se fait progressivement sur quelques kilomètres.

Dans la plus grande partie de la plaine de la GEFARA, cette formation est karstifiée. Cette karstification, importante dans certaines régions (projet prioritaire du Wadi AL HIRA, par exemple), est variable dans sa répartition dans l'espace et dans son intensité. Ces variations dans la karstification entraînent des variations des propriétés hydrodynamiques.

I-II- 1.3.4. - Paléontologie

L'étude micropalynologique de 214 échantillons dans lesquels une microflore a été identifiée a révélé la présence des formes suivantes :

Acritarche
Alisporites nuciformis
Alisporites nuthalensis
Alisporites plicatus
Alisporites sp.
Alisporites toralis
Aratrisporites fimbriatus
Aratrisporites saturni
Aratrisporites sp.
Aratrisporites virgatus
Baltisphaeridium
Brodispora striata
Calamospora breviformis
Calamospora breviradiata
Calamospora sp.
Converrucosisporites sp.
Convolutispora sp.
Cuneatisporites radialis
Cuneatisporites sp.
Cycadopites sp.
Disaccites 3485
Disaccites 3489
Doubingerispollenites aequalis
Duplicisporites granulatus
Duplicisporites mancus
Ellipsovelatisporites plicatus
Ellipsovelatisporites sp.
Ellipsovelatisporites velatus
Endosporites hexareticulatus
Enzonasporites sp.
Enzonasporites tenuis
Enzonasporites vigens
Ephedripites
Gleicheniidites sp.
Guthoerlisporites cancellosus
Infernopollenites sp.
Jerseyiaspora sp.
Labiisporites granulatus
Lagenella martini
Leiotriletes sp.
Lunatisporites acutus
Lunatisporites amplus
Lunatisporites mancus
Lunatisporites noviaulensis
Lunatisporites sp.
Marattisporites sp.
Microcachryidites doubingeri

Microreticulatisporites sp.
Minutosaccus potonieii
Minutosaccus sp.
Osmundacidites sp.
Ovalipollis breviformis
Ovalipollis lunzensis
Ovalipollis ovalis
Ovalipollis rarus
Ovalipollis sp.
Paracirculina scurriis
Patinasporites iustus
Patinasporites pluritectus
Patinasporites sp.
Platysaccus sp.
Platysaccus umbrosus
Podocapidites marwicki
Punctatisporites
Pyramidosporites
Reticulatisporites fragilis
Reticulatisporites sp.
Reticulatriletes globosus
Sahnites grandis
Sahnites sp.
Scopulisporites minor
Scopulisporites sp.
Striatissaccus gozwickensis
Sulcatisporites interpositus
Sulcatisporites sp.
Taeniaesporites kraeuseli
Taeniaesporites novimundi
Triadispora obscura
Triadispora sp.
Triadispora staplini
Tsugaepollenites jonkeri
Verrucosporites morulae
Veryachium sp.
Veryachium trispinosum
Veryachium trisulcatum
Vesicaspora schemeli
Vesicaspora sp.
Vitreisporites pallidus
Vitreisporites signatus
Vitreisporites sp.
Zonalapollenites explanatus
Zonalasporites explanatus
Zonalasporites granulatus

Les formes soulignées sont les formes-guides apparaissant sur le tableau de la page 50.

La microfaune, la macrofaune et la macroflore n'ont pas fait l'objet d'études particulières. Les échantillons examinés ont montré au sein de cette formation la présence de lamellibranches, échinidés, ostracodes, foraminifères (*Fronicularia*), algues.

I-II- 1.3.5. - Vocation hydrogéologique

L'étude géologique de 47 forages a mis en évidence une "série type" essentiellement calcaréo-dolomitique dans laquelle on a distingué 5 horizons. Ces horizons peuvent être à priori aquifères. Mais au-delà de la zone de passage à une série plus argileuse et gypseuse, la formation AL AZIZIYAH doit former un aquifère de moindre qualité.

I-II- 1.4. - La formation ABU SHAYBAH

La formation ABU SHAYBAH a été recoupée sur des épaisseurs variables par les forages figurant sur les tableaux pages 41 et 42.

Localisation	Pied de Jebel									
	RDH 5	RDH 6	RDH 15	RDH 21	RDH 22	RDH 32	RDH 33	PZH 6	PZH 7	PWH 8
Cote d'apparition	10	26	77	14	15	15	?	21	23	9
Cote du mur* ou de fond de forage	*	*	*	*	*	*		*		*
	57	115	106	190	192	42	120	75	53	195
Epaisseur traversée	47	89	29	176	177	27	<120	54	30	186

Localisation	Zone Ouest			Plaine						Jebel	
	RDH 16	RDH 18	RDH 34	RDH 9	RDH 11	RDH 25	RDH 30	PWH 7	PWH 9	RDH 17	RDH 29
Cote d'apparition	48	188	120	206	263	263	111	200	267	60	18
Cote du mur* ou de fond de forage	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Epaisseur traversée	170	342	160	243	356	440	201	235	280	115	160
	122	154	40	37	93	177	90	35	13	55	142

Cotes en m sous le sol, de l'apparition, du mur ou de fond de forage.
Epaisseur traversée en m de la formation ABU SHAYBAH sur les forages ayant rencontré cette formation.

I-II- 1.4.1. - Limites

Le mur de la formation ABU SHAYBAH correspond au toit de la zone de transition telle qu'elle est définie dans le paragraphe précédent relatif à la formation AL AZIZIYAH. Cette limite est marquée par une diminution de la résistivité électrique et une augmentation de la radioactivité gamma (voir planche n°5, page 44). Cette limite est celle prise en compte par P.F. BUROLLET (1960-1961) et Ph. MAGNIER (1963).

En plaine, la formation ABU SHAYBAH est directement surmontée par la formation KIKLAH du CRETACE. La limite entre ces deux formations est très difficile à déterminer car ces deux formations sont aphytiques et présentent des faciès très semblables. En accord avec les zonations effectuées lors des études antérieures du GEFLI (WESTERN ZONE, 1972, projet WADI AR RAMIL, 1974), la limite retenue correspond à une nette diminution de la radioactivité gamma lorsque l'on passe de la formation ABU SHAYBAH à la formation KIKLAH sus-jacente. Cette limite correspond généralement à la limite faciès grés-sableux franc aphytique de la formation KIKLAH - faciès grés-argileux daté KEUPER Supérieur de la formation ABU SHAYBAH.

I-II- 1.4.2. - Lithologie et définitions d'horizons

L'étude comparative des cuttings de forage et des diagraphies montre l'existence de nombreuses variations latérales de faciès avec des horizons plus ou moins argileux dans des positions spatiales différentes. Cette étude comparative nous amène à distinguer dans le Jebel et au pied de ce dernier 2 domaines dans lesquels les caractères lithologiques semblent être constants. Ces deux domaines sont situés de part et d'autre du dôme de GHARYAN.

Grâce aux diagraphies et aux corrélations qui ont été établies, on distingue 5 horizons définis principalement par leur résistivité électrique et leur radioactivité gamma (planche n°5 page 44). Ces 5 horizons du toit vers le mur sont les suivants dans le domaine du Jebel :

-5- Horizon argileux de faible résistivité électrique et de radioactivité gamma élevée. Cet horizon n'est visible que sur les forages du domaine situé à l'Est de GHARYAN et correspond certainement aux argiles sommitales de la formation ABU SHAYBAH.

-4- Cet horizon dont l'épaisseur varie de 80 à 95 m présente des différences lithologiques suivant le domaine considéré :

. dans le domaine à l'Est de GHARYAN, c'est un horizon gréseux très résistant dans les parties non saturées (plus de 1000 Ω m au RDH 29) mais dont la résistivité électrique est variable ;

. dans le domaine à l'Ouest de GHARYAN cet horizon est une succession d'alternances de grès et d'argile rouge de faible résistivité électrique.

-3- Cet horizon est argileux et puissant de 10 à 15 m. Il est bien marqué par une radioactivité gamma élevée et par une faible résistivité électrique.

-2- 25 à 30 m d'alternances de passées gréseuses, grés-argileuses et argileuses avec parfois la présence de gypse.

-1- Horizon argileux de 40 à 50 m correspondant aux argiles basales rouges avec quelques bancs gréseux.

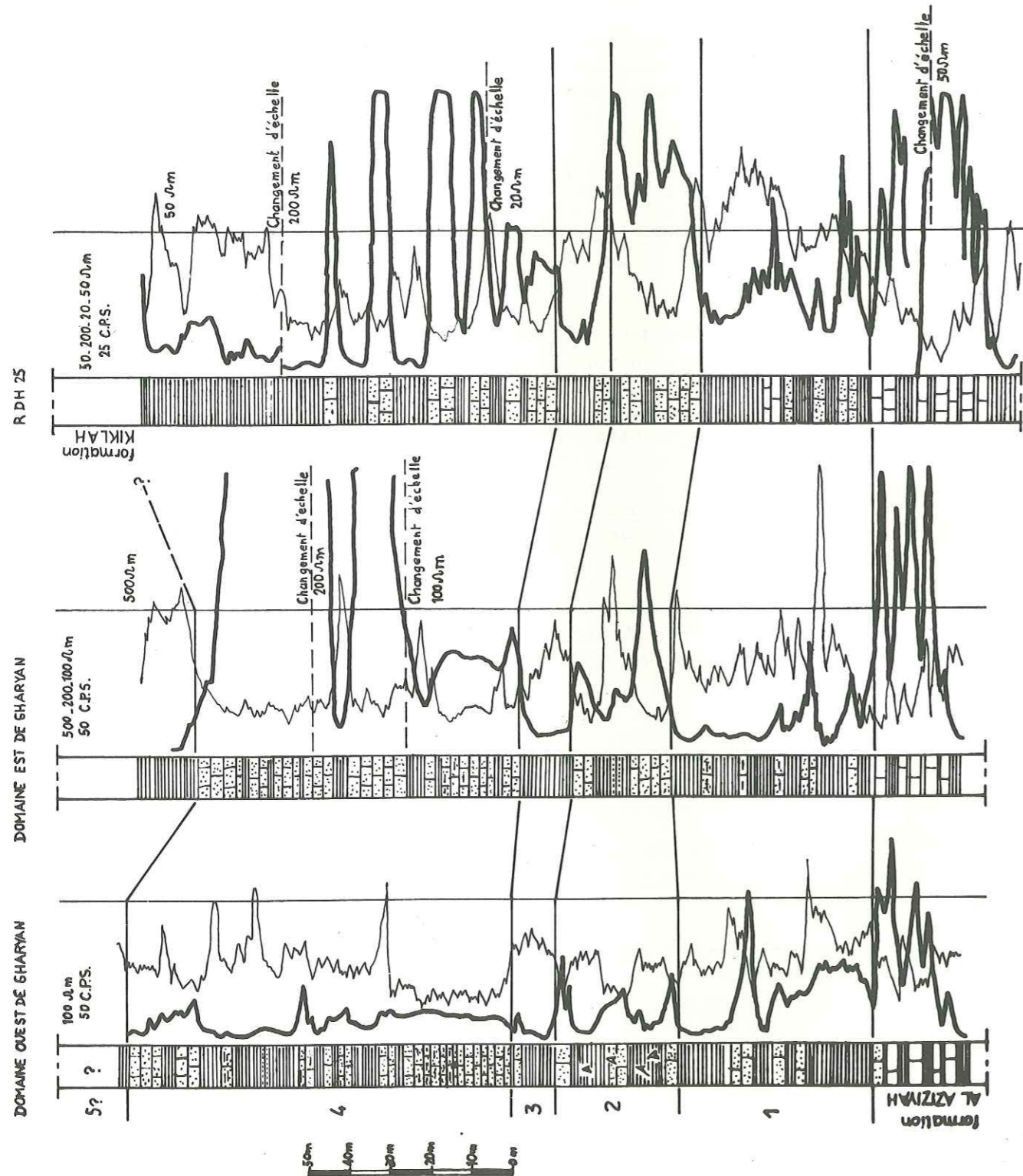
Ainsi en pied de Jebel seul l'horizon 4 est différent à l'Est et à l'Ouest de GHARYAN.

En plaine les caractéristiques lithologiques de la formation sont sensiblement identiques à celles observées dans les deux domaines du Jebel.

DIFFERENTS HORIZONS DE LA
FORMATION ABU SHAYBAH

— LEGENDE —

- 6' latérale
- Gamma Ray
- Argile
- Grès
- Calcaire
- Gypse



Les différents horizons définis ci-dessus sont difficilement identifiables car la plupart des forages de reconnaissance ne recoupent cette formation que sur de faibles épaisseurs (voir tableaux pages 41 et 42) sauf le forage RDH 25. Sur ce forage on distingue nettement les horizons 1-2 et 3 avec sensiblement les mêmes caractères lithologiques et géophysiques qu'en pied de Jebel. L'horizon 4 bien individualisé est toutefois dans sa partie supérieure plus argileux que celui du domaine à l'Ouest de GHARYAN.

La formation ABU SHAYBAH est totalement érodée au centre de la zone d'étude. Elle apparaît au Sud (piedmont de Jebel) et à l'Ouest (secteur du Wadi AL HAY) de la limite d'érosion totale figurée sur la planche n°6, page 63.

I-II- 1.4.3. - Paléontologie

L'étude micropalynologique de 21 échantillons dans lesquels une flore a été identifiée a révélé la présence des formes suivantes :

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Alisporites grauogjeli</i> | <i>Labisporites granulatus</i> |
| <i>Alisporites opi</i> | <i>Marattisporites sp.</i> |
| <i>Alisporites plicatus</i> | <i>Microcachryidites doubingeri</i> |
| <i>Alisporites 3486</i> | <i>Ovalipollis rarus</i> |
| <i>Aratrisporites fimbriatus</i> | <i>Ovapollis sp.</i> |
| <i>Aratrisporites saturni</i> | <i>Paracirculina quadruplicis</i> |
| <i>Aratrisporites sp.</i> | <i>Paracirculina sp.</i> |
| <i>Brodipora striata</i> | <i>Patinasporites iustus</i> |
| <i>Calamospora breviformis</i> | <i>Patinasporites sp.</i> |
| <i>Calamospora breviradiata</i> | <i>Pityosporites duolvens</i> |
| <i>Calamospora sp.</i> | <i>Platysaccus monochromatus</i> |
| <i>Camerosporites secatus</i> | <i>Platysaccus papilionis</i> |
| <i>Chordasporites singulichorda</i> | <i>Podocapidites marwicki</i> |
| <i>Classopollis</i> | <i>Pyramidosporites</i> |
| <i>Cycadopites sp.</i> | <i>Reticulatisporites fragilis</i> |
| <i>Deltoidospora junctum</i> | <i>Reticulatisporites sp.</i> |
| <i>Disaccites 3489</i> | <i>Sahnites grandis</i> |
| <i>Doubingerispollenites aequalis</i> | <i>Sahnites sp.</i> |
| <i>Duplicisporites granulatus</i> | <i>Scopulisporites minor</i> |
| <i>Duplicisporites mancus</i> | <i>Scopulisporites sp.</i> |
| <i>Ellipsovelatisporites velatus</i> | <i>Sulcatisporites interpositus</i> |
| <i>Enzonasporites tenuis</i> | <i>Striatissaccus gozvicensis</i> |
| <i>Enzonasporites vigens</i> | <i>Tsugaepollenites oriens</i> |
| <i>Ephedripites</i> | <i>Zonalapollenites explanatus</i> |
| <i>Inaperturopollenites sp.</i> | <i>Zonalasporites explanatus</i> |
| <i>Klausipollenites sp.</i> | |

Les formes soulignées sont les formes-guides apparaissant sur le tableau de la page 50.

Cette formation n'a pas fait l'objet d'études approfondies de microfaune ou de macrofaune. Les échantillons examinés ont montré la présence de lamellibranches, d'échinides et d'ostracodes.

I-II- 1.4.4. - Vocation hydrogéologique

La formation ABU SHAYBAH a été reconnue par 21 forages et 5 horizons ont pu être distingués. On note une évolution dans les faciès qui, de grossiers à l'Est (RDH 29 - RDH 30) deviennent plus fins et plus argileux à l'Ouest (RDH 21 - RDH 22 - PWH 8).

Il semblerait que la partie basale (horizon 1) d'une quarantaine de mètres d'épaisseur puisse être considérée comme peu perméable. Le reste de la formation à faciès plus détritique peut être dans un premier temps considéré comme pouvant être aquifère.

I-II- 1.5. - Age des formations triasiques

I-II- 1.5.1. - Datation par macrofaune

Les données lithostratigraphiques et biostratigraphiques concernant le Trias de LIBYE et du Sud Tunisien ont été reprises récemment par G. BUSSON (1967, 1970).

Cette mise au point met clairement en évidence les niveaux précis pour lesquels, que ce soit du côté tunisien ou libyen, les datations par macrofaune sont incontestables. Quels sont ces éléments de datations en Tunisie ou en Lybie ?

- En partant du bas de la série, au-dessus du Permien, tout d'abord le niveau à Myophorius qui est daté du Muschelkalk et qui est intercalé dans le RAS HAMIA ;

- Au-dessus de celui-ci et intercalé au sommet du Trias gréseux se place la dolomie inférieure qui est également datée du Muschelkalk ;

- La masse dolomitique qui vient au-dessus : dolomies du Rehach en Tunisie et Aziziyah en LYBIE a fourni une faune du Carnien (Trias supérieur) ;

- Les éléments de datations manquent dans la série évaporitique sus-jacente appelée BU SHEBA. Celle-ci est calée au sommet par l'horizon B en forage (calcaire de Zinlet Haber) qui est du Sinémurien. Elle comprend donc le Norien, le Rhétien et probablement l'Hettangien.

Si l'on ne rentre pas trop dans le détail de la lithostratigraphie, les trois formations principales du Trias se corrélaient parfaitement depuis le Sud tunisien jusqu'en LIBYE :

- Trias gréseux (grès rouges de Kirchaoua, de Guebli Reklam, de Kef el Djoua et Ras Hamia),
- Trias carbonaté (Djebel Rehach, Aziziyah),
- Trias évaporitique (Argiles rouges, silts à gypse, sel et anhydrite de la Djeffara).

En fonction des éléments que nous avons vus ci-dessus, il semble que le Trias à Evaporites soit du Trias supérieur et de l'Hettangien, le Trias carbonaté du Carnien donc également du Trias supérieur. La partie supérieure du Trias gréseux (niveau à Myophories et au-dessus) serait du Trias moyen (Muschelkalk).

Le problème reste posé pour la partie inférieure de ce complexe gréseux (Ras Hamia inférieur et Ouled Chebbi). Il peut s'agir encore de Trias moyen, de Trias inférieur ou de Permien. Il semble cependant qu'il existe une discontinuité fréquente entre les argiles à Myophories et les grès inférieurs du Trias de même qu'entre ces grès et le Permien sous-jacent (région de Tebaga de Medenine).

I-II- 1.5.2. - Zonations palynologiques

Un certain nombre d'analyses palynologiques effectuées pour diverses études du GEFLI (WESTERN ZONE 1972, projet WADI AR RAMIL 1974, BIR AT TARFASS 1974 et AL AZIZIYAH 1974) ont fait apparaître des zonations (appelées P₁ supérieur, P₂, P₃) au sein du TRIAS. Un récapitulatif (tableau page 48) est dressé pour raccorder entre elles ces diverses zonations. Plusieurs datations avaient été avancées pour caler dans le temps ces zonations (tableau page 48). La plupart de ces datations étaient basées sur des comparaisons avec les flores similaires d'EUROPE ou d'AFRIQUE DU NORD. Connaissant le décalage que la flore peut subir dans le temps en fonction des différences écologiques, de dépôt ou de position latitudinale, ces datations se sont avérées trop imprécises. Il importe donc de caler les associations de flore et les formations dans un contexte biostratigraphique avant tout.

Dans le cadre de cette étude des analyses palynologiques ont été effectuées sur 38 forages. Sur 614 échantillons triasiques, au vu des données lithologiques et géophysiques, 254 de ces préparations se sont avérées aphytiques et 360 ont révélé la présence de spores et pollens d'âge triasique. Le tableau page 49 donne par formation la répartition des préparations pour analyses palynologiques.

MUSCHELKALK INFÉRIEUR	MUSCHELKALK SUPÉRIEUR	KEUPER INFÉRIEUR	KEUPER SUPÉRIEUR	WESTERN ZONE GEFLI 1972
Formation RAS HAMIA	Formation AL AZIZIYAH	Formation ABU SHAYBAH		
Zone 'd' Triolites equalis	Zone 'd' Aratrisporites	Zone 'd' Camerospores secatus	Zone 'd' Classopolis	WADI AR RAMIL GEFLI 1974 Projets
P1 supérieur	P2	P3		
MUSCHELKALK	KEUPER INFÉRIEUR	KEUPER SUPÉRIEUR		BIR AT TARFASS and AL AZIZIYAH GEFLI 1974 Projets
Formation RAS HAMIA	Formation AL AZIZIYAH	Formation ABU SHAYBAH		
	Zone 'd' Alisporites plicatus	Zone 'd' Camerospores secatus	Zone 'd' Classopolis	MEMOIRE
P1 supérieur	P2	P3		
MUSCHELKALK SUPÉRIEUR	KEUPER INFÉRIEUR	KEUPER SUPÉRIEUR A LIAS		MEMOIRE
Formation AL AZIZIYAH	Formation ABU SHAYBAH inférieure	Formation ABU SHAYBAH supérieure au Groupe de BIR AL GHANAM		
	Zone 'd' Alisporites plicatus	Zone 'd' Camerospores secatus	Zone 'd' Classopolis	MEMOIRE
P1 supérieur	P2	P3		
PO	P1 inf.	P1 sup.	P2	P3
BUNSDISTRIK	MUSCHELKALK	KEUPER		
		CARNIEN	NORIEN - RHETIEN	
OULED CHEBBI Fm.	Formation RAS HAMIA	Formation AL AZIZIYAH	Formation ABU SHAYBAH	Formation ABU SHAYBAH au Groupe de BIR AL GHANAM
Zone 'd' Fuldaesporites	Zone 'd' Aratrisporites fischeri Triolites equalis	Zone 'd' Lundisporites amplus Stratisaccus gozwicensis	Zone 'd' Camerospores secatus	Zone 'd' Classopolis

RECAPITULATIF DES ZONATIONS PALYNOLOGIQUES EFFECTUÉES PAR LE G.F.L.I. SUR LE TRIAS DE LIBYE.

FORMATION	Nombre de préparations avec flore	Nombre de préparations aphytiques	Nombre total de préparations
ABU SHAYBAH	21	85	106
AL AZIZIYAH	214	121	335
RAS HAMIA	110	48	158
OULED CHEBBI	15	0	15
TOTAL	360	254	614

Répartition par formation des préparations pour analyses palynologiques.

Les observations faites sur les associations palynologiques des 38 forages sont synthétisées dans le tableau de la page 50. Ce tableau tente de faire la synthèse des observations faites sur les sondages du GEFLI en TRIPOLITAINE. Il intègre également les données antérieures (SNPA - BEICIP) en utilisant le calage par formation et par zone palynologique. Les formes les plus importantes ont été figurées dans le sens "d'apparition forage", c'est à dire de haut en bas à cause des retombées en cuttings. Nous avons adopté le "calage" stratigraphique en tenant compte des éléments de datations vus ci-dessus et défini 5 zones palynologiques (Zones P₀, P₁ inférieur, P₁ supérieur, P₂, P₃).

Ce tableau nécessite quelques remarques ou observations. Nous avons utilisé comme niveau d'apparition pour chaque genre ou espèce, le niveau où la représentation de chaque forme est suffisante en nombre d'individus. Par exemple, les genres Pyramidosporites et Marattisporites sont présents dans la zone P₂ mais vraiment abondants dans la zone P₁ supérieure.

Cette répartition ne recouvrera donc pas obligatoirement toujours les répartitions partielles observées dans chaque forage. De même, Aratrisporites fischeri est présent de manière discontinue dans la formation AL AZIZIYAH mais vraiment abondant dans la formation RAS HAMIA. D'autre part, nos observations dans la partie moyenne ou inférieure du RAS HAMIA sont très discontinues faute d'échantillons suffisants. Il semble que le niveau à Miophories soit riche en Triolites aequalis, ce qui nous inciterait à rattacher cette zone encore au Muschelkalk. Par contre, la formation OULED CHEBBI contient une microflore habituelle dans le Trias inférieur ailleurs et il faudrait donc la placer uniquement sur des arguments palynologiques dans le Trias inférieur.

PERMIEN	TRIAS					AGE	
	BUNGSANDBYEN	MUSCHELKALK	KEUPER		LIAS		
			CARNIEN	NORIEN - RHETIEN	METTANGIEN		
PERMIEN	P0	P1 inf.	P1 sup.	P2	P3	Q	ZONES PALYNOLOGIQUES
BIR AL JAJA	BOULED CHEBBI	RAS HAMIA	AL AZIZIYAH	ABU SHAYBAH		BIR AL GHANAM	FORMATIONS
							<i>Classopollis</i>
							<i>Circulina</i>
							<i>Enzonasporites tenuis</i>
							<i>Enzonasporites vigens</i>
							<i>Alisporites apil</i>
							<i>Patinasporites iustus</i>
							<i>Ovalipollis lunensis</i>
							<i>Ovalipollis ovata</i>
							<i>Tougepollenites oriens</i>
							<i>Suketisporites interpositus</i>
							<i>Triadipora stapfii</i>
							<i>Triadipora foliata</i>
							<i>Zonapollenites euphraticus</i>
							<i>Ellipsosulcatiporites volutus</i>
							<i>Camerosporites mancus</i>
							<i>Camerosporites secatus</i>
							<i>Umbrosaccus keuperianus</i>
							<i>Platysaccus queandandi</i>
							<i>Platysaccus papilionis</i>
							<i>Duplicisporites aeneus</i>
							<i>Minutisaccus potanovi</i>
							<i>Brodipora striata</i>
							<i>Lagenella martini</i>
							<i>Chordasporites singulicorda</i>
							<i>Scopulisporites minor</i>
							<i>Striatosaccus goswamiensis</i>
							<i>Alisporites plicatus</i>
							<i>Alisporites toralis</i>
							<i>Alisporites nuthalensis</i>
							<i>Cuneatisporites radiatus</i>
							<i>Lunatisporites amplus</i>
							<i>Vesicaspora sp.</i>
							<i>Aratrisporites virgatus</i>
							<i>Aratrisporites fimbriatus</i>
							<i>Aratrisporites saturni</i>
							<i>Sulcatiporites kreuzli</i>
							<i>Pyramidosporites</i>
							<i>Marattisporites</i>
							<i>Labiisporites granulatus</i>
							<i>Tenuisporites novimundi</i>
							<i>Ovalipollis rarus</i>
							<i>Schnites grandis</i>
							<i>Aratrisporites fisheri</i>
							<i>Triolites aequalis</i>
							<i>Vesichium regulare</i>
							<i>Calamospora diversiformis</i>
							<i>Vittatina sp.</i>
							<i>Triolites coronata</i>
							<i>Fuldasporites concentricus</i>
							<i>Striatites richleri</i>
							<i>Faunipollenites verrucosus</i>
BIR AL JAJA	BOULED CHEBBI	RAS HAMIA	AL AZIZIYAH	ABU SHAYBAH		BIR AL GHANAM	FORMATIONS

PRINCIPALES FORMES - GUIDE DU TRIAS DE LIBYE

1-II- 1.5.3. - Comparaison avec les zonations palynologiques publiées

- Péninsule arabique

Les formes publiées sont rares mais les associations à *Vesicaspora schemeli* de la formation JILH et MINSUR sont équivalentes des associations de la formation AL AZIZIYAH et légèrement plus jeunes d'après les éléments de datation donnés par les auteurs.

- PERMO-TRIAS de LIBYE : (KAR-KIESSER-JAIN 1972)

Les échantillons sont trop isolés pour que l'échelle qui est publié soit valable. D'autre part la nomenclature morphologique adoptée est inhabituelle et la répartition des espèces n'a pas été figurée.

- TRIAS de TUNISIE (BRIARD)

On retrouve dans les niveaux évaporitiques l'association à *Enzonasporites* et à *Classopollis*, dans le TRIAS carbonaté *Camerosporites secatus* et dans le TRIAS dit "moyen à inférieur" *Aratrisporites fisheri*, *Calamospora* et *Vesicaspora*.

- TRIAS d'EUROPE

Les comparaisons sont beaucoup plus difficiles. Cependant, il faut noter une concordance assez bonne entre les associations citées dans le KEUPER germanique ou anglais et celles des formations AL AZIZIYAH et ABU SHAYBAH (présence de *Camerosporites secatus*, *Enzonasporites vigens*).

D'autre part l'association des grès à *Voltzia* (TRIAS Inférieur) semblerait assez proche de celle des niveaux à *Myophories* (base de la formation RAS HAMIA) avec la présence abondante de *Triolites aequalis*.

I-II- 2. LES FORMATIONS JURASSIQUES

Les seules formations d'âge jurassique représentées dans la zone étudiée sont :

- la formation BU GHEILAN,
- la formation des gypses de BIR AL GHANAM.

La formation des gypses de BIR AL GHANAM est gypseuse avec quelques alternances de calcaire et de dolomie. Cette formation se superpose à la formation ABU SHAYBAH.

Les dolomies et calcaires de la formation BU GHEILAN passent latéralement à la partie inférieure de la formation des gypses de BIR AL GHANAM.

Les dolomies de la formation BU GHEILAN sont attribuées au LIAS Inférieur par Ph. MAGNIER (1963) comme la formation des gypses de BIR AL GHANAM qui, d'après G. BUSSON (1963) sont "vraisemblablement un exemple compréhensif allant du sommet du TRIAS jusqu'au BATHONIEN (Jurassique moyen)".

La formation de BU GHEILAN affleure en pied de Jebel et dans le Jebel à l'Est de RABTA. A l'Ouest de cette oasis, elle passe latéralement à la formation des gypses de BIR AL GHANAM mais tout comme cette dernière, elle n'a pas été recoupée par les forages d'étude. Leur position perchée par rapport aux réservoirs potentiels fait qu'elles ne jouent pas de rôle dans l'hydrogéologie du WADI AL HIRA.

I-II- 3. LES FORMATIONS CRETACEES

Les formations crétacées recoupées par les forages d'étude sont :

- la formation KIKLAH,
- les calcaires de la formation AIN TOBI.

I-II- 3.1. - La formation KIKLAH

Cette formation affleure sur 65 m à BU GHEILAN où elle surmonte les dolomies de la formation BU GHEILAN.

Dans la région du WADI GHAN, la formation KIKLAH paraît être absente puisque la formation AIN TOBI repose directement sur la formation BU GHEILAN.

A l'Est du WADI GHAN, la formation KIKLAH semble ne plus affleurer tout au moins avec une lithologie permettant de la différencier de la formation ABU SHAYBAH. On sait cependant qu'elle est présente loin vers le Sud-Est sous un faciès gréseux (Wadi ZAM ZAM forage ZZ1 et ZZ2) et d'épaisseur comprise entre 200 et 250 m mais aussi sous un faciès dolomitique (BANI WALID forages pétroliers A1-8 et B1-8).

Plus près de la zone étudiée cette formation a été recoupée par des forages pétroliers, des forages d'eau antérieurs à cette étude (DW 1, DW 7 projet WADI AR RAMIL ; GW 4, PZ 4, GW 5 projet GARABULLI par exemple) et par certains des forages d'étude figurant sur le tableau suivant :

FORAGE	RDH 11	RDH 25	PWH 9
Cote du toit	180	180	176
Cote du mur	263	263	267
Puissance	83	83	91

C'est une formation azoïque et aphytique dont la résistivité électrique est voisine de 30 à 50 Ωm. Elle est constituée par des grès séparés par quelques intercalations argileuses. Elle repose en discordance sur la formation ABU SHAYBAH. De par son faciès, cette formation pourrait être un aquifère intéressant.

I-II- 3.2. - Les calcaires de la formation AIN TOBI

Ces calcaires affleurent dans le Jebel et en plaine sous la forme de collines à l'Ouest de la route BIN GASHIR-GHARYAN et à l'Ouest de la route SUQ AL KAMISH - MEJENIN. Ces calcaires ont été recoupés partiellement par les forages figurant sur le tableau suivant :

FORAGES	RDH 11	RDH 25	PWH 9
Cote d'apparition	54	48	52
Cote du mur	180	180	176
Epaisseur traversée	126	132	124

C'est une formation calcaréo-dolomitique et calcaréo-marneuse avec des intercalations d'argile plus nombreuses dans les 40 m de la base. Electriquement, c'est une formation résistante dont la résistivité varie suivant les niveaux plus ou moins marneux et argileux. Sur le forage RDH 11, la résistivité maximale est voisine de 400 Ω m mais la résistivité moyenne apparente oscille entre 150 et 200 Ω m.

Une étude de la macrofaune, microfaune et macroflore a montré la présence d'Algues Acicularia, d'Echinides, de Lamellibranches et de foraminifères Rotalidés.

La fracturation est peu importante et de ce fait la formation AIN TOBI pourrait jouer un rôle d'imperméable mais son extension est très faible dans le périmètre de l'étude.

I-II- 4. LES FORMATIONS TERTIAIRES ET QUATERNAIRES

Peu d'éléments nouveaux sont apportés par l'examen des forages exécutés dans le cadre de cette étude.

I-II- 4.1. - Le Miocène

Trois forages de l'étude ont recoupé sur des épaisseurs variables le MIOCENE daté micropaléontologiquement : RDH 3 (269 m), RDH 9 (200 m), PWH 7 (200 m). Ils sont au Nord d'une ligne Est-Ouest passant par AL AZIZIYAH.

La faune rencontrée (voir tableau suivant) est constituée de lamellibranches, d'échinides, de gastéropodes, de bryozoaires et de foraminifères (Discorbis, Ammonia beccari, Borelis, Pararotalia audouini, Elphidium) miliolidés. La flore n'a pas fait l'objet d'études approfondies mais on a noté la présence de characées.

FORAGES	Lamellibranches	Echinidés	Gastéropodes	Bryozoaires	Foraminifères							Characées
					Discorbis	Ammonia beccari	Borelis	Pararotalia audouini	Elphidium	Miliolidés	Foraminifères indéterminés	
RDH 3	x		x			x			x		x	x
RDH 9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
RDH 23	x	x										

Malgré les variations de faciès observables au sein du MIOCENE, les différentes unités de ce système ont été identifiées sur certains forages à partir principalement des corrélations de diagraphies électriques et de radio-activité gamma.

- l'unité gréseuse basale a été recoupée par les forages RDH 9, PWH 7, RDH 18, RDH 19.

- les "argiles vertes" quoique de couleurs rouge à jaunâtre sont visibles sur les mêmes forages ainsi que sur les forages RDH 23 et RDH 35.

La puissance de cette unité est variable comme on peut le voir sur le tableau suivant.

FORAGE	RDH 9	PWH 7	RDH 18	RDH 19	RDH 23	RDH 35
Cote d'apparition	67	67	78	138	100	138
Cote de disparition	95	95	110	165	152	150
Puissance	28	28	32	27	52	> 12

- l'unité gréseuse du MIO-PLIOCENE a été recoupée par les mêmes forages.

- l'unité argileuse sommitale n'est pas visible sur les forages de l'étude.

L'extension vers le Sud des "argiles vertes" du MIOCENE Moyen est très difficile à mettre en évidence à partir des points de calage que l'on possède actuellement. La géophysique de surface par sondage électrique, ne permet pas également de tracer avec certitude cette extension qui a été schématisé sur la planche n°6, page 63.

I-II- 4.2. - Le Mio-plio-quaternaire ou recouvrement

Dans ce mémoire mis à part quelques exceptions qui ont été étudiées dans le paragraphe précédent, les séries post-mésozoïques ne sont pas individualisées suivant leur âge et sont baptisées recouvrement MIO-PLIO-QUATERNAIRE ou plus simplement recouvrement.

Le recouvrement débute dans tous les cas par un conglomérat de base plus ou moins important qu'il est difficile d'attribuer, lorsque les séries sus-jacentes sont aphytiques ou azoïques soit au MIOCENE, soit au PIOCENE, soit à la formation WADI AL HIRA de JONES. Ce conglomérat est surmonté par une série calcaréo-sableuse avec des intercalations argileuses et conglomératiques. Le tout est surmonté par des sables et grès que l'on pourrait attribuer sur certains forages à la formation GEFARA de M. EL HINNAWY et al. (1975).

La puissance du recouvrement est variable comme on peut le voir sur le tableau suivant. Elle augmente du Sud, où les variations sont principalement dues à l'érosion hydrographique, vers le Nord où la subsidence durant le MIOCENE a été très importante.

Forage	Puissance	Forage	Puissance	Forage	Puissance
RDH 1	147	RDH 20	73	PZH 2	18
RDH 2	147	RDH 21	14	PZH 3	75
RDH 3	310	RDH 22	15	PZH 4	62
RDH 4	73	RDH 23	151	PZH 5	>113
RDH 5	10	RDH 24	3	PZH 6	21
RDH 6	26	RDH 25	48	PZH 7	23
RDH 7	76	RDH 26	46	PZH 8	52
RDH 8	38	RDH 27	56	PZH 9	78
RDH 9	206	RDH 28	32	PZH 10	32
RDH 10	79	RDH 29	18	PWH 1	?
RDH 11	54	RDH 30	111	PWH 2	6
RDH 12	63	RDH 31	57	PWH 3	30
RDH 13	6	RDH 32	15	PWH 4	29
RDH 14	20	RDH 33	?	PWH 5	12
RDH 15	77	RDH 34	120	PWH 6	64
RDH 16	48	RDH 35	>150	PWH 7	200
RDH 17	60	RDH 36	32	PWH 8	9
RDH 18	188	PZH 1	20	PWH 9	52
RDH 19	210				

I-II- 4.3. - Vocation hydrogéologique

On a distingué deux types de séries du Sud au Nord (au Sud, série détritique uniquement et au Nord, série argilo-détritique). Cette distinction nous amène à considérer 2 régions :

- la région Sud où le recouvrement, détritique grossier, est en relation latérale ou verticale sur toute son épaisseur avec les formations qu'il recoupe ou qu'il recouvre. Cette région sera caractérisée par l'absence du niveau "argile verte".

- la région Nord, où, du fait de l'existence d'un niveau argileux important séparant les niveaux pouvant être aquifères, on sera amené à étudier les relations qui peuvent exister entre la partie inférieure et la partie supérieure du recouvrement. L'extension de cette région sera celle du niveau des "argiles vertes" qui apparait sur la planche n°6 page 63.

I-II- 5. LES FORMATIONS VOLCANIQUES ET GRANITIQUES

I-II- 5.1. - Le Granite

Ce type de roche n'est pas visible en affleurement. Il a été rencontré en forage sur le forage RDH 13. Il s'agit d'un granite alcalin recoupé à partir de 636 m et appartenant vraisemblablement au socle.

I-II- 5.2. - Les roches volcaniques

Ces roches sont liées à des phases volcaniques qui peuvent être, soit triasiques, soit échelonnées du TERTIAIRE au QUATERNAIRE.

I-II- 5.2.1. - Volcanisme Triasique

Ce volcanisme a été mis en évidence grâce aux roches de type rhyolitique intercalées au sein de la formation RAS HAMIA et recoupées par le forage RDH 7. Une étude pétrographique a mis en évidence le caractère synsédimentaire de ce volcanisme effusif.

Dans les séries inférieures du forage RDH 3, on a observé des verres volcaniques certainement liés à un volcanisme triasique.

I-II- 5.2.2. - Volcanisme tertiaire et quaternaire

Des roches volcaniques d'âge tertiaire et quaternaire sont visibles en affleurement le long du pied du Jebel et dans ce dernier.

G. PICCOLI (1960) différencie ces roches : "en basaltes des plateaux, basaltes des vallées, cônes de lave plus jeunes et cônes de scories de composition basaltique et ultraferromagnésienne et en un petit groupe de laccolithes et de dômes sub-volcaniques ayant des différenciations phonolitiques et trachytiques près de GHARYAN".

En bordure Sud de la région étudiée les principaux types de roches rencontrées ont une répartition régionale comme les basaltes des plateaux et les basaltes des vallées ou une répartition plus localisée comme les roches phonolitiques et trachytiques.

- Les basaltes des plateaux se localisent principalement au Sud-Est de GHARYAN. Par détermination au K/Ar leur âge serait éocène à pliocène.

- Les basaltes des vallées furent mis en place après le creusement du réseau hydrographique. Le principal exemple est celui des basaltes de la vallée du WADI GHAN. Leur âge serait oligocène à pliocène supérieur.

- Les roches phonolitiques et trachytiques se seraient mises en place durant l'éocène et l'oligocène. Les principaux appareils sont ceux du KAF EL KHALEF, du KAF MANTRUS et du KAF TEKUT mais il en existe d'autres, moins importants, localisés en pied de Jebel de GHARYAN à RABTA.

Les différents auteurs attribuent toutes ces roches tant basaltiques, que phonolitiques et trachytiques à un volcanisme s'échelonnant du TERTIAIRE au QUATERNAIRE (A. DESIO et al. 1963, C. GRAY 1969 par exemple).

I-III - STRUCTURE

I-III- 1. GÉOPHYSIQUE

Pour définir la géométrie des formations géologiques ainsi que leurs variations de faciès, deux méthodes géophysiques ont été utilisées :

- les sondages électriques,
- la sismique de réfraction.

La campagne a été effectuée par la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.). Il ne sera fait mention ci-après que des principaux résultats obtenus à la suite de cette campagne.

I-III- 1.1. - La méthode électrique

La plaine de la GEFARA dans la zone de l'étude a été l'objet d'une prospection géophysique de surface par sondages électriques qui s'est déroulée en deux temps :

- dans un premier temps, établissement de grands profils Est-Ouest et Nord-Sud de sondages électriques,
- dans un deuxième temps et à partir de ces profils, quadrillage systématique de la plaine de la GEFARA avec des compléments pour des zones particulières (projet prioritaire WADI AL HIRA et rattachement avec la zone d'étude du projet BIN GASHIR au Nord).

Pour cette étude ont été effectués 488 sondages électriques dont 1, 431 et 56 avaient des longueurs de ligne AB d'envoi de courant égales respectivement à 2000 m, 4000 m et 6000 à 10 000 m. A cette étude ont été intégrés les résultats des sondages électriques effectués dans le cadre de la ferme d'état de WADI AL HIRA (10 sondages électriques en AB : 4000 m), ceux des sondages électriques du WADI MEJENIN (17 sondages électriques en AB : 4000 m) et ceux des sondages électriques effectués lors de l'étude de reconnaissance WESTERN ZONE 1972 (environ 80 sondages électriques en AB : 600, 2000 et 4000 m).

I-III- 1.1.1. - Sondages électriques d'étalonnage et résistivité électrique des formations géologiques

Quelques sondages électriques réalisés à proximité des forages ont permis d'étalonner et d'évaluer à partir des diagraphies électriques la résistivité des diverses formations géologiques.

Résistivité des formations quaternaires et tertiaires

Les formations conglomératiques suivant leur degré de consolidation et le pourcentage d'argile, de sable et de limon ont des résistivités électriques variant entre 25 Ωm et 300 Ωm et même 550 Ωm .

Les formations sableuses et conglomératiques de surface ont des résistivités électriques supérieures à 100 Ωm pouvant atteindre 550 Ωm ,

Les formations argileuses lorsqu'elles sont assez importantes pour être individualisées ont des résistivités voisines de 20 Ωm .

Résistivité des formations mésozoïques

Les séries calcaréo-dolomitiques du CRETACE Supérieur (formation AIN TOBI) ont des résistivités de 100 Ωm ; les séries marno-calcaires de même âge ont des résistivités variant entre 15 et 20 Ωm .

La formation gréseuse KIKLAH a une résistivité électrique voisine de 30 à 50 Ωm en GEFARA.

La formation ABU SHAYBAH a des résistivités variables suivant les niveaux plus ou moins argileux ou gréseux. Ces résistivités sont de l'ordre de 15 à 30 Ωm pouvant parfois atteindre 300 Ωm dans quelques niveaux supérieurs en pied de Jebel lorsqu'ils sont situés au-dessus de la surface piézométrique.

Les calcaires de la formation AL AZIZIYAH constituent un ensemble homogène résistant dont les résistivités varient entre 150 et 200 Ωm en moyenne mais au sein duquel on peut avoir des résistivités montant jusqu'à 500 et 700 Ωm mais aussi des niveaux conducteurs dont la résistivité est comprise entre 20 et 50 Ωm . Ces valeurs de résistivité sont liées aux phénomènes de karstification, aux intercalations marneuses et aux phénomènes de dissolution des roches carbonatées.

La formation RAS HAMIA est représentée dans sa plus grande partie par un conducteur de 15 Ωm à la base duquel se situe un niveau plus résistant (150 Ωm).

Les formations du TRIAS Inférieur n'ont pas été identifiées en sondage électrique parce que beaucoup trop profondes.

Possibilités et limites de la méthode

D'après les résultats mentionnés ci-dessus :

- lorsque deux ou plusieurs des formations argilo-sableuses (MIOCENE, KIKLAH, ABU SHAYBAH) sont en contact, leur identification en sondage électrique n'est pas envisageable,

- les calcaires et dolomies des formations crétacées et AL AZIZIYAH sont résistants mais aucune de ces formations ne se comporte comme un marqueur susceptible d'être identifié sans réserve possible sur les courbes des sondages électriques.

Les sondages électriques permettent d'établir un découpage et de figurer une géométrie de formations résistantes et conductrices ; formations qui ne peuvent être identifiées dans la plupart des cas qu'avec l'aide :

- de données de terrain,
- de la lithologie,
- des diagraphies,
- de la paléontologie.

I-III- 1.1.2. - Résultats

Après étalonnage sur les forages de reconnaissance, les sondages électriques ont permis une interprétation géologique et la détermination d'une géométrie des formations.

Les failles (planche n°6 page 63)

Cette campagne de sondages électriques a d'autre part mis en évidence l'existence d'accidents tectoniques principaux qui sont des failles d'effondrement et des failles de réajustement.

- Les failles d'effondrement orientées Nord Ouest - Sud Est s'infléchissent pour devenir "Est-Ouest". Les plus importantes numérotées D₁, D₂, D₃ sont représentées sur la planche n°6 page 63.

. la faille D₁ passe à environ 1 km au Nord de SUQ AL KHAMICH et à 11 km au Nord de AL AZIZIYAH,

. la faille D₂ passe à 9 km au Sud de SUQ AL KHAMICH et à environ 1 km au Nord de AL AZIZIYAH. Son prolongement à l'Ouest de cette dernière localité n'a pu être suivi que sur quelques km,

. la faille D_3 ou faille du KAF BATES (M. EL HINNAWY et al. 1975), la plus importante avec un rejet de 500 m au Sud du forage RDH 11, passe au Nord du KAF BATES. Son prolongement sud-est est visible dans le Jebel à l'Est du Wadi MEJENIN. A 4 km au Sud de AL AZIZIYAH elle s'infléchit pour prendre une orientation Est-Ouest mais son prolongement n'a pu être déterminé avec certitude,

. les failles D_2 et D_3 sont reliées par les failles D_7 et D_8 .

- les failles de réajustement local sont difficilement décelables et de faible rejet (D_6 par exemple).

La carte de sub-surface (planche n°6 page 63)

Cette carte tracée grâce aux sondages électriques et aux corrélations de diagraphies montre que le recouvrement peut reposer indistinctement sur les formations RAS HAMIA (KAF BATES et Ouest de AL AZIZIYAH), AL AZIZIYAH divisée en 5 horizons (majorité de la zone centrale de l'étude), ABU SHAYBAH (Sud, Ouest et Nord de la zone étudiée), KIKLAH et AIN TOBI (Nord du KAF BATES).

Sur cette carte figurent également la limite Sud d'extension des "argiles vertes" du MIOCENE Moyen, la limite Sud d'extension des faciès calcaréo-dolomitiques de la formation AL AZIZIYAH et la limite d'érosion totale de la formation ABU SHAYBAH.

Carte des isohypses du toit de la formation RAS HAMIA

(planche n°7, page 67)

Dans la partie Est de l'unité tectonique comprise entre les failles d'effondrement D_2 et D_3 les courbes isohypses n'ont pas été tracées car l'horizon repère est trop profond et n'a pas été mis en évidence par les prospections géophysiques de surface.

Au Nord de la faille D_2 , la géophysique n'est pas suffisamment précise pour tracer ces courbes.

On constate sur cette carte que le toit de la formation RAS HAMIA est affecté de nombreuses rides anticlinales et synclinales orientées suivant deux directions préférentielles Nord-Ouest - Sud-Est et Nord-Sud.

Carte du toit probable résistant de la formation AL AZIZIYAH
(planche n°8 page 69).

Cette carte donne en cote absolue le toit du premier horizon résistant attribué à la formation AL AZIZIYAH.

Si dans certaines parties de l'étude le toit du résistant attribué à la formation AL AZIZIYAH correspond au toit de cette formation sous le recouvrement ou sous la formation ABU SHAYBAH, ceci n'est pas toujours le cas :

- l'horizon résistant de la formation AL AZIZIYAH est parfois surmonté par un niveau résistant peu épais correspondant aux conglomérats du recouvrement et il n'est donc pas possible de différencier sur les diagrammes des sondages électriques le recouvrement de la formation AL AZIZIYAH. La cote du toit de la formation AL AZIZIYAH est donc dans ces parties de l'étude trop élevée.

- l'horizon résistant de la formation AL AZIZIYAH est parfois surmonté par un niveau conducteur d'épaisseur variable (60 m environ dans le projet WADI AL HAY) correspondant dans ces régions aux horizons supérieurs de la formation AL AZIZIYAH et qu'il n'est pas possible de différencier sur les diagrammes des sondages électriques de la formation conductrice ABU SHAYBAH et parfois du recouvrement conducteur. La cote du toit de la formation AL AZIZIYAH est donc dans ces parties de l'étude trop basse.

Cette carte montre que la formation AL AZIZIYAH forme la terminaison périclinale d'un anticlinal qui plonge vers le Nord-Ouest. Il est affecté sur la bordure Est par des fractures Sud-Est - Nord-Ouest (D_1, D_2, D_3) qui enfonce progressivement la formation AL AZIZIYAH vers le Nord.

I-III- 1.2. - Sismique de réfraction

Un profil sismique de réfraction de 11 040 m avec un espacement sismographique de 20 m a été effectué des affleurements du crétacé situés au Nord-Est du KAF BATES jusqu'au forage T 11.

Les mesures sismiques étalonnées sur les forages PWH 4 et T 11 ont mis en évidence les accidents tectoniques D_3 et D_4 ainsi que la nature du substratum sismique (Formations AIN TOBI, AL AZIZIYAH et RAS HAMIA).

I-III- 2. COUPES HYDROGEOLOGIQUES ET SCHEMA STRATIGRAPHIQUE

Ces figures permettent de mieux visualiser et de mieux comprendre la répartition des différentes formations et leurs relations.

Le schéma stratigraphique se trouve sur la planche n°9 page 71.

Les coupes seront commentées après un habillage hydrogéologique dans le chapitre "Etude des écoulements souterrains". Elles se trouvent sur les planches n° 13-14-15 pages 137 - 138 - 139.

CARTE DES ISOHYPSES DU TOIT DE LA FORMATION RAS HAMIA

- LEGENDE -

(CARTE ETABIE A PARTIR DES RESULTATS DE LA PROSP. GEOPHYSIQUE)

Courbe isohypse du toit probable la formation Ras Hamia

Discontinuité électrique

0 10 Km

Assemblage des cartes au 1/50 000

12°30'	12°35'	12°40'	12°45'	12°50'	12°55'	13°00'	13°05'	13°10'	13°15'	13°20'	13°25'	13°30'
32°45'	32°40'	32°35'	32°30'	32°25'	32°20'	32°15'	32°10'	32°05'	32°00'	31°55'	31°50'	31°45'

Equidistance des courbes : 100 mètres sauf en plaine : 50 mètres

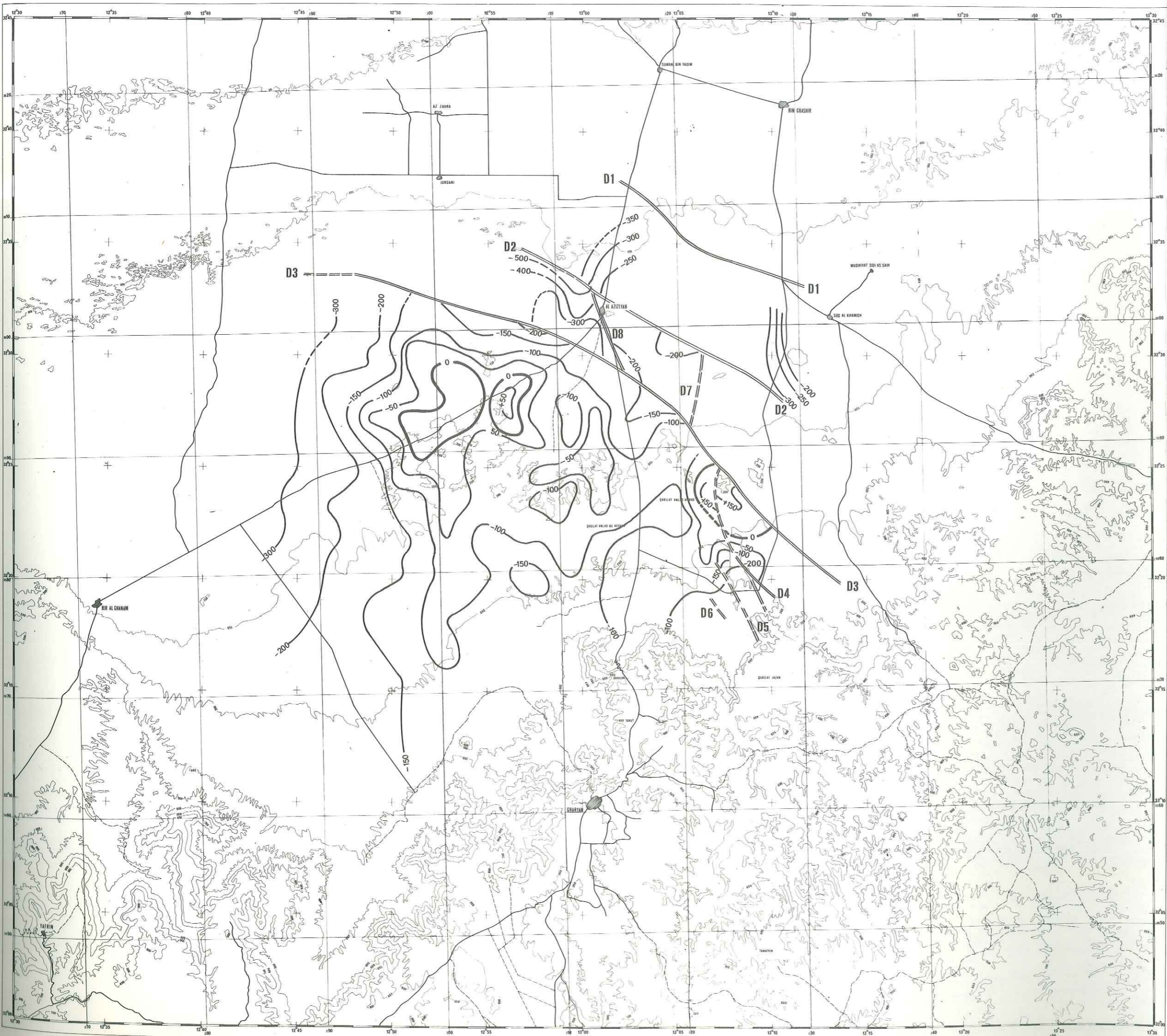


Planche n° 8

CARTE DU TOIT PROBABLE DE LA FORMATION AL AZIZIYAH RESISTANTE

- LEGENDE -

(CARTE ETABIE A PARTIR DES RESULTATS DE LA PROSPECTION GEOPHYSIQUE)

Courbe de niveau du toit probable de la formation Al Aziziyah resistente

D3 Discontinuité électrique



Assemblage des cartes au 1/50 000

12°45'	12°50'	12°55'	13°00'	13°05'	13°10'	13°15'	13°20'	13°25'	13°30'
32°45'	32°50'	32°55'	33°00'	33°05'	33°10'	33°15'	33°20'	33°25'	33°30'

Equidistance des courbes : 100 mètres sauf en plaine 50 mètres

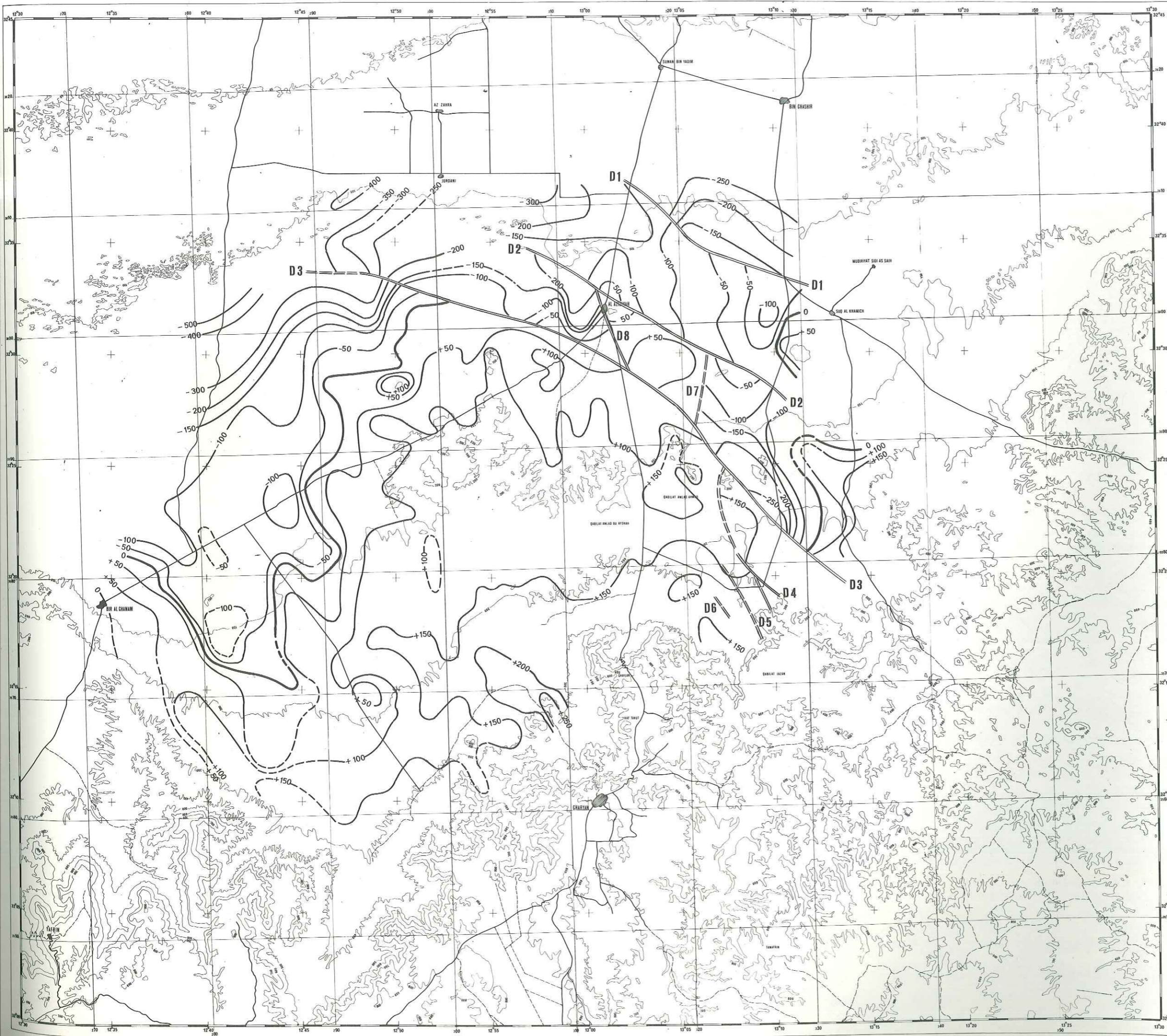


Planche n° 8

CARTE DU TOIT PROBABLE DE LA FORMATION AL AZIZIYAH RESISTANTE

- LEGENDE -

(CARTE ETABIE A PARTIR DES RESULTATS DE LA PROSPECTION GEOPHYSIQUE)

Courbe de niveau du toit probable de la formation Al Aziziyah resistente

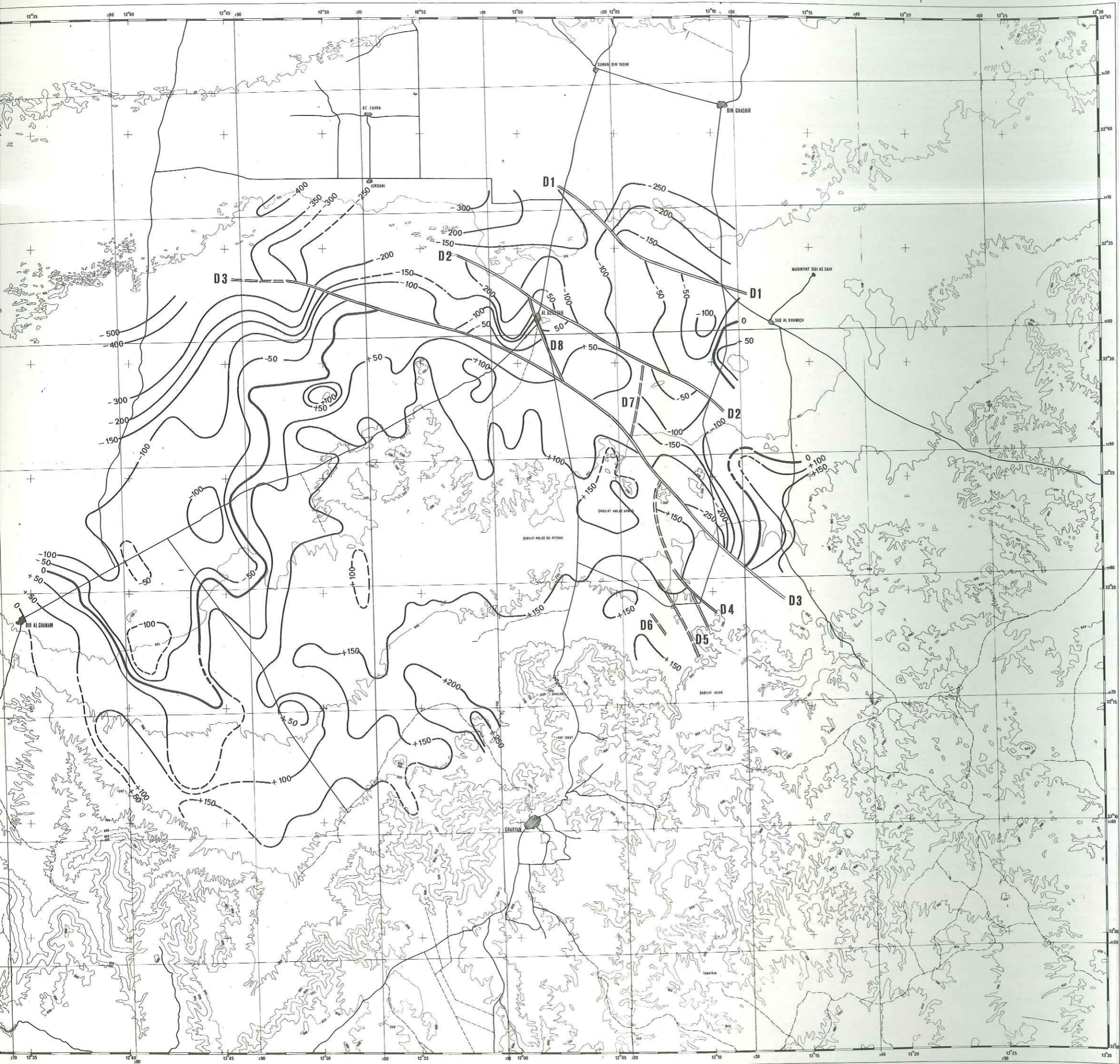
D3 Discontinuité électrique



Assemblage des cartes au 1/50 000












32°45'	12°35'	12°45'	12°55'	13°05'	13°15'	13°25'	13°35'
1870 III	1870 III	1870 III	1870 III	1870 III	1870 III	1870 III	1870 III
32°30'	12°35'	12°45'	12°55'	13°05'	13°15'	13°25'	13°35'
1870 IV	1870 I	1870 IV	1870 I	1870 IV	1870 I	1870 IV	1870 I
32°15'	12°35'	12°45'	12°55'	13°05'	13°15'	13°25'	13°35'
1870 III	1870 II	1870 III	1870 II	1870 III	1870 II	1870 III	1870 II
32°00'	12°30'	12°45'	12°55'	13°05'	13°15'	13°25'	13°30'

Espacement des courbes : 100 mètres sauf en plaine 50 mètres











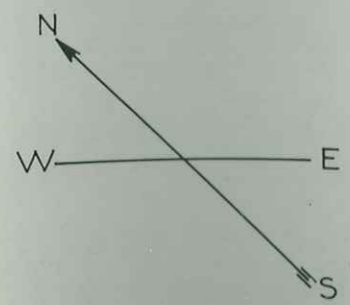
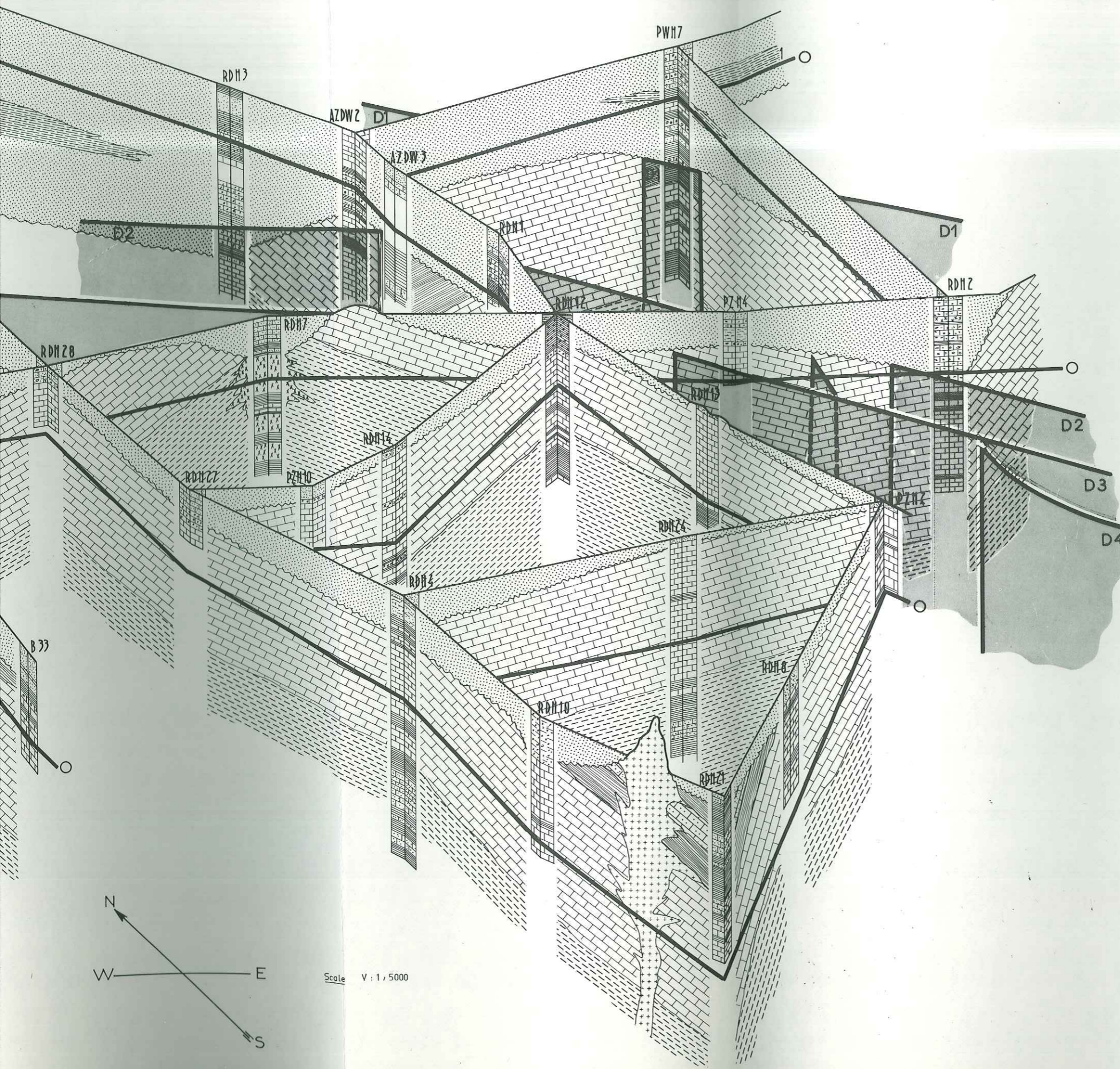
SCHEMA LITHOSTRATIGRAPHIQUE

- Legende -

-  Phonolitic rock (KAF MANTRUS) - Roche phonolitique
-  2 Clay (MIO. PLIOCENE) - Argile
-  1 Green clay (MIDDLE MIOCENE) - Argile verte
-  Indifferentiated overlap (MIO. PLID. QUATERNARY) - Recouvrement
-  ABU SHAYBAH formation
-  AL AZIZIYAH formation
-  RAS HAMIA formation
-  Rhyolitic rock - Roche rhyolitique
-  Unconformity - Discordance
-  D1 Fault - Faille
-  0 Sea level - Niveau de la mer

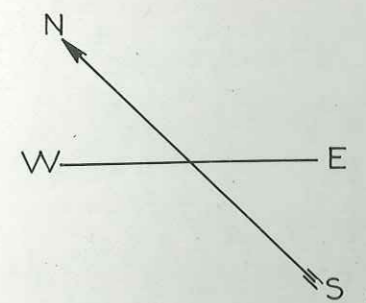
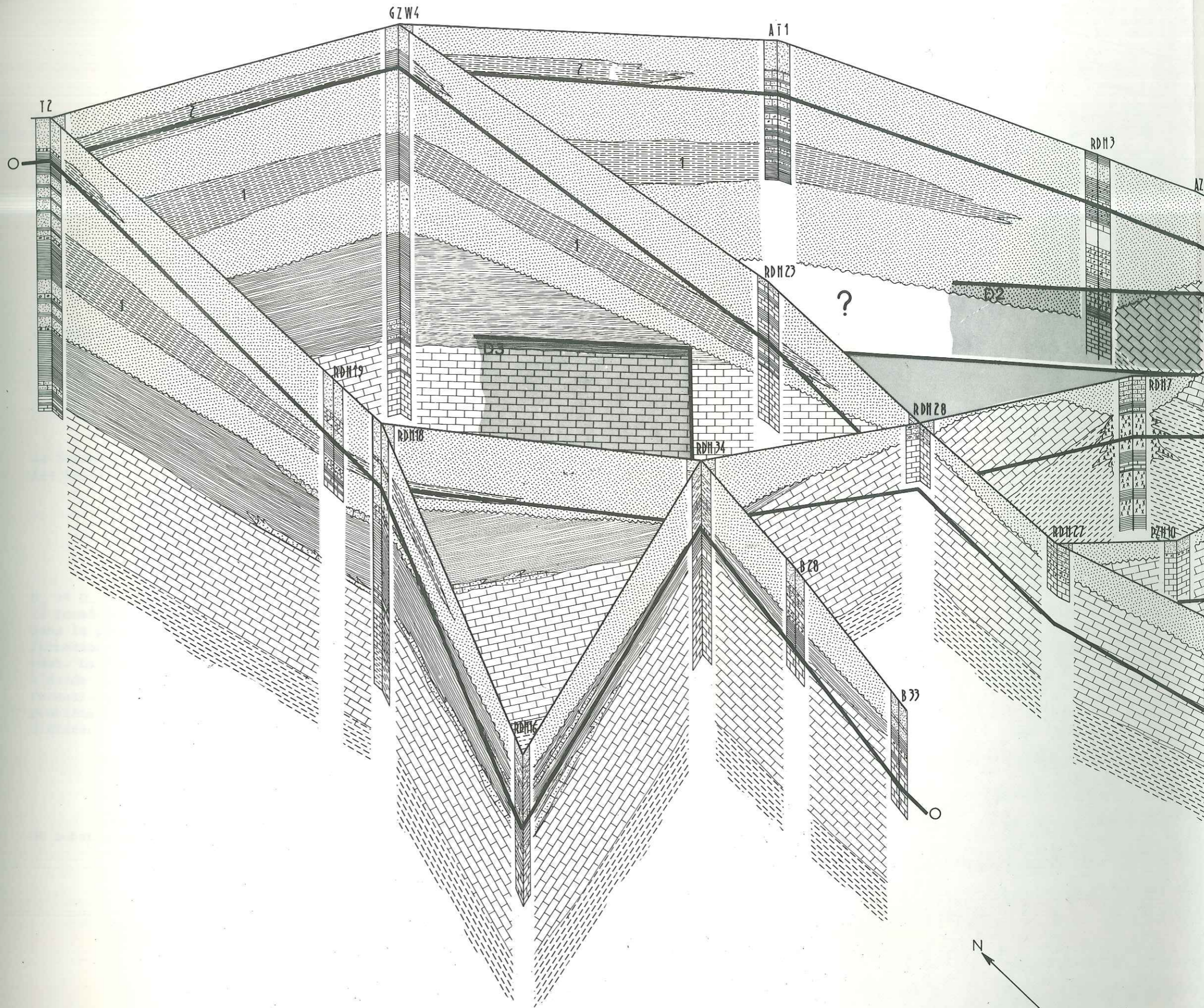
DRILLING LITHOLOGICAL LOG - LOG LITHOLOGIQUE D'UN FORAGE

-  Sand - Sable
-  Sandy clay - Argile sableuse
-  Sandstone - Grés
-  Conglomerate - Conglomérat
-  Limestone and dolomitic limestone - Calcaire et calcaire dolomitique
-  Clay - Argile
-  Marl - Marne
-  Rhyolitic rock - Roche rhyolitique



Scale V : 1, 5000

Planche n° 9



Scale

I-III- 3. SIGNIFICATION DE LA STRUCTURE

L'important est de voir la continuité ou la non-continuité des formations. Nous verrons ensuite les relations entre les formations par limite de faciès ou d'érosion.

I-III- 3.1. - Relation entre formations dues à la structure

Comme nous l'avons vu, la structure principale est une terminaison périclinale plongeant vers le Nord-Ouest et cassée à l'Est.

I-III- 3.1.1. - Les failles D_5 - D_3

Dans ce compartiment on note la présence d'un pointement de la formation RAS HAMIA dans la formation AL AZIZIYAH au biseautage entre les failles D_5 et D_3 .

I-III- 3.1.2. - Les failles D_3 et D_2

Ce compartiment est compris entre les failles d'effondrement D_3 et D_2 . Il est lui-même divisé par d'autres failles mettant en contact la formation AL AZIZIYAH et les formations KIKLAH et CRETACE supérieur. Dans la partie Nord-Ouest, le compartiment effondré est constitué par la formation AL AZIZIYAH ; dans la partie Sud-Est, par les formations créta-cées. La faille D_3 met en contact horizontal dans une grande partie de l'étude les formations AL AZIZIYAH et RAS HAMIA et à l'Est de l'étude les formations RAS HAMIA et Crétacé, et AL AZIZIYAH et CRETACE supérieur. Le problème hydrogéologique sera de voir le comportement hydraulique de ces différents contacts.

I-III- 3.1.3. - Les failles D_2 et D_1

Au delà de la faille D_2 on note un approfondissement progressif du substratum mésozoïque accentué par des failles (type D_1).

I-III- 3.2. - Relation entre formations par limites de faciès ou d'érosion

On note du Sud vers le Nord :

- la limite d'extension de la formation AL AZIZIYAH marneuse et gypseuse ;
- la limite d'érosion de la formation ABU SHAYBAH ;
- la limite d'extension des argiles vertes du MIOCENE.

Nous verrons plus loin l'importance hydrogéologique de ces limites.

I-III- 3.3. - Ensembles structuraux

A partir des données précédentes, on peut définir 4 ensembles structuraux.

- Ensemble 1

Le Jebel et son escarpement. Dans cet ensemble, la formation AL AZIZIYAH est marneuse et gypseuse.

- Ensemble 2

La plaine de la GEFARA comprise entre le pied du Jebel et la faille d'effondrement D₃.

Dans cet ensemble la presque totalité des terrains sous le recouvrement appartient à la formation AL AZIZIYAH. Toutefois on rencontre sous le recouvrement la formation RAS HAMIA (KAF BATES et région du forage RDH 7 et à l'Ouest la formation ABU SHAYBAH.

- Ensemble 3

Il est compris entre les failles d'effondrement D₂ et D₃.

- Ensemble 4

Au Nord de la faille D₂. Dans cet ensemble le recouvrement devient de plus en plus puissant vers le Nord.

I-IV - CONCLUSION

Cette étude géologique détaillée a permis de définir lithologiquement et géophysiquement les formations recoupées par les forages d'étude. Dans cette région, où n'affleure que la formation AL AZIZIYAH incomplète, l'important est la "coupe géophysique" des formations. Elle permet à partir d'un forage de reconnaître les formations et leurs limites. Grâce à elle des corrélations entre forages sont possibles et à partir de là, la compréhension de la structure devient possible. Il est donc important de faire effectuer sur chaque forage une diagraphie et des analyses micropaléontologiques. Ces dernières peuvent paraître superflues car la recherche de la stratigraphie exacte peut n'avoir qu'un faible intérêt pour le non géologue. Mais ces analyses peuvent montrer, comme dans le cas présent, des variations latérales de faciès et ainsi aider à la compréhension de la structure. C'est le seul moyen qui indique que des ensembles profonds lithologiquement différents sont une seule et même formation ; ce fait pouvant amener une interprétation structurale différente de celle basée uniquement sur la lithologie.

Ainsi, avec un minimum de forages dont on tire le maximum de renseignements, on peut avoir une bonne idée générale de la stratigraphie, des variations de faciès et de la structure d'ensemble. Pour préciser ces résultats on peut faire appel à la géophysique de surface qui doit se servir des mêmes forages pour étalonner ses méthodes.

CHAPITRE II

PROPRIETES HYDRODYNAMIQUES DES
FORMATIONS RENCONTREES

Dans ce chapitre nous reprendrons les formations décrites dans le chapitre Géologie pour définir les propriétés hydrodynamiques de ces formations en donnant les valeurs des différents paramètres calculables (porosité, transmissivité, coefficient d'emménagement) en nous basant sur la lithologie, l'interprétation des diagraphies et des essais et tests de pompage.

II-I - PRINCIPES, METHODES
ET RESULTATS BRUTS

II-I- 1. CALCUL DE LA POROSITE PAR LA METHODE D'ARCHIE

II-I- 1.1. - Principe de la méthode

(Interprétation des diagraphies - SCHLUMBERGER 1973)

Il a été établi expérimentalement que la résistivité d'une formation propre (c'est à dire contenant une part peu importante d'argile) est proportionnelle à la résistivité de la solution avec laquelle elle est complètement saturée. La constante de proportionnalité est appelée F : facteur de formation. Celui-ci, si R_o est la résistivité d'un échantillon de formation saturée à 100 % par une solution de résistivité R_w , est égal à $\frac{R_o}{R_w}$.

La porosité ϕ d'une roche est la fraction du volume total occupé par des pores ou des vides. Le facteur de formation est une fonction de la structure des pores et de distribution de la taille de ces pores dont il est une fonction de la porosité.

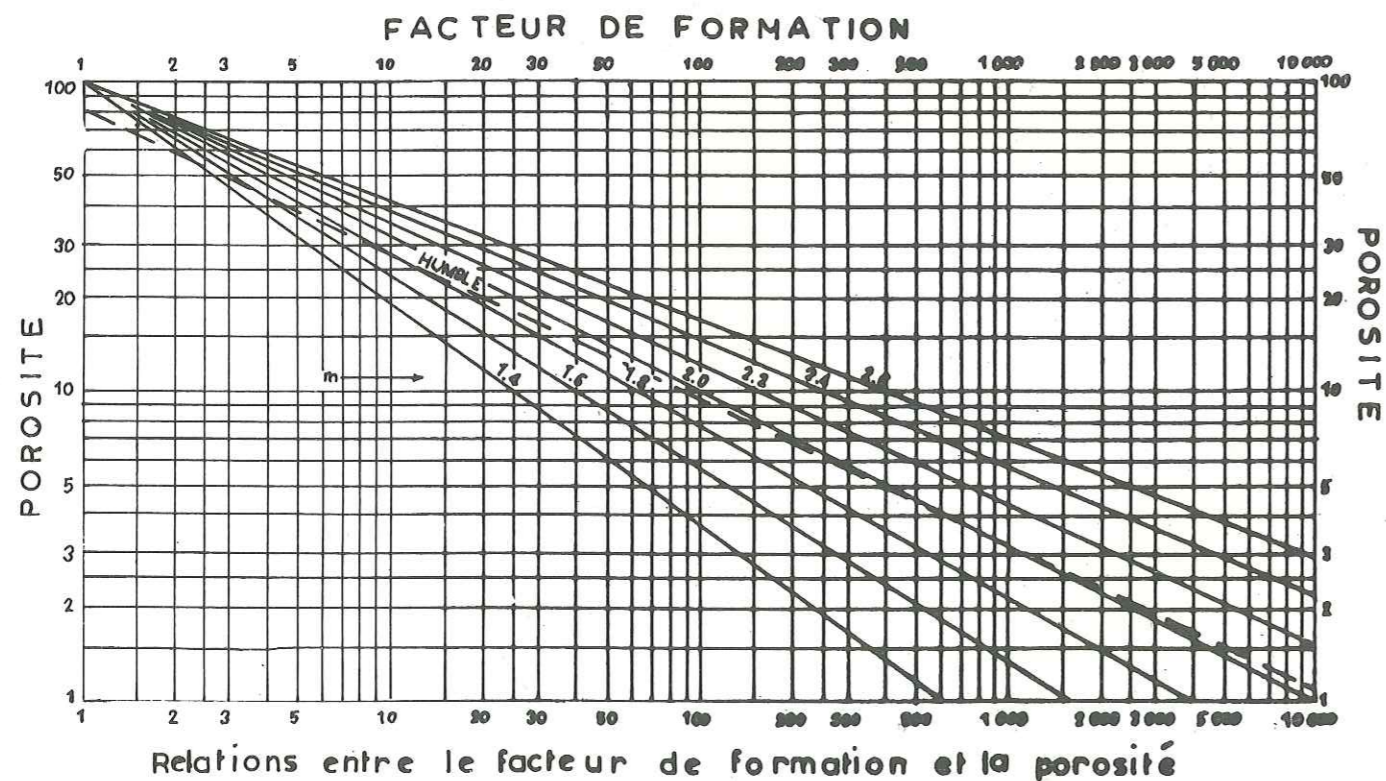
ARCHIE propose la formule $F = \frac{a}{\phi^m}$ où m est le facteur de cimentation et a une constante déterminée empiriquement. Des résultats satisfaisants sont obtenus couramment avec $F = \frac{0,81}{\phi^2}$ dans les sables et $F = \frac{1}{\phi^2}$ dans les formations compactes. Dans leur domaine normal d'application, ces deux formules diffèrent légèrement de la formule de HUMBLE $F = \frac{0,62}{\phi^{2,15}}$. Tandis que la formule de HUMBLE est satisfaisante pour les roches détritiques, de meilleurs résultats sont obtenus en utilisant $F = \frac{1}{\phi^2}$ pour les roches crayeuses et $F = \frac{1}{\phi^{1,2 \text{ à } 2,5}}$ pour les roches compactes ou oolithiques. Pour ces dernières, m peut atteindre la valeur de 3. Au-dessous d'environ 17 % de porosité, la formule de HUMBLE donne généralement des porosités qui sont trop faibles.

L'exposant m est en relation avec la forme des chenaux principaux qui généralement est contrôlée par le degré de cimentation de la formation. Les estimations communément utilisées pour m sont les suivantes :

Formation	m
non consolidée	1,3 - 1,4
légèrement consolidée	1,4 - 1,6
modérément consolidée	1,6 - 1,8
consolidée	1,8 - 2,2
fortement consolidée	2,2 - 2,6

Les formations non détritiques, bien cimentées et plus vieilles ont des facteurs de formations plus élevés que les formations détritiques, non cimentées et plus jeunes.

Donc la détermination de la porosité à partir du facteur de formation est basée sur l'affirmation qu'il existe une partie de la formation étudiée qui est saturée par une solution de résistivité connue et que la résistivité de cette partie de formation peut être mesurée. C'est ce qui se passe lors d'une diagraphie : on a un forage plein de boue dont on mesure la résistivité et la température ; la diagraphie proprement dite mesurant la résistivité du terrain. On peut alors calculer F. En choisissant une valeur pour m et en utilisant l'abaque ci-dessous on obtient la valeur de la porosité



II-I- 1.2. - Résultats

Forage	RDH 11 PWH 9	RDH 29	RDH 13	RDH 4	RDH 13	RDH 26
Intervalle	180-263	85-107 120-145	544-594	329-432	600-654	612,80 690,80
Lithologie	Sable Grès	Grès	Grès argileux	Grès argileux	Grès	Grès
fac. m	1,6-1,8	1,6-1,8	2	1,6-1,8		1,8-2,2
R _o ohm-m	25	40	50	30	30	40
θ°C	27	22	37,5	33	36	40
R _w à θ°C ohm-m	2,12	7,14	0,61	2,09	0,226	0,78
fac. F	11,8	5,6	81,9	14,3	132,7	51,2
φ	22%-27%	32%-40% ?	11 %	15%-18%	8 %	12%-14% ?
Formation	KIKLAH	ABU SHAYBAH	RAS HAMIA	RAS HAMIA	OULED CHEBBI	OULED CHEBBI

II-I- 2. INTERPRETATION DES ESSAIS DE POMPAGE (Rapport ERES)

II-I- 2.1. - Rappel des équations

L'interprétation des essais de pompage a été faite suivant plusieurs méthodes. Nous ne referons pas ici l'exposé du mode d'emploi de ces méthodes ; nous ne citerons que les équations de base servant à ces méthodes.

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

Trois cas se présentent suivant le schéma hydraulique retenu d'après les conditions hydrogéologiques de gisement de l'aquifère capté :

- aquifère monocouche (THEISS)
- nappe en charge alimentée par une drainance (schéma de HANTUSH)
- aquifère bicouche (schéma de BOTCHEVER).

II-I- 2.1.1. - Aquifère monocouche

- Régime permanent (DUPUIT-FORCHHEIMMER) :

$$\Delta = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R_a}{R} \quad (\text{eq 1})$$

avec : Δ = Rabattement
 Q = Débit
 T = Transmissivité
 R_a = Rayon d'action
 R = Rayon distance par rapport au centre du forage.

- Régime transitoire (THEISS)

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \text{ ou } u = \frac{R^2 S}{4Tt} \quad (\text{eq 2})$$

avec : S = Coefficient d'emmagasinement
 t = Temps

Pour $n < 0,1$ la fonction de puits peut être simplifiée.
 $W(u) = -\ln(1,78)u$ quand $u \leq 0,1$ et dans ce cas l'équation (2) se réduit à l'équation (1) en prenant pour rayon d'action $R_a = 1,5 \sqrt{\frac{Tt}{S}}$. Plus le temps est grand et plus cette condition se réalise. Donc au bout d'un certain temps on peut confondre les états d'équilibre et de non équilibre. Dans ce cas une approximation logarithmique de la formule de THEISS a été calculée : $\Delta = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2,25 Tt}{R^2 S}$ ou en remplaçant les logarithmes Népérien en logarithmes décimaux : $\Delta = 0,183 \frac{Q}{T} \log \frac{2,25 Tt}{R^2 S}$ (eq 3)

Cette formule simplifiée donne une solution d'autant plus approchée de la formule de THEISS que l'on est plus proche du puits de pompage et que le temps de pompage est plus long.

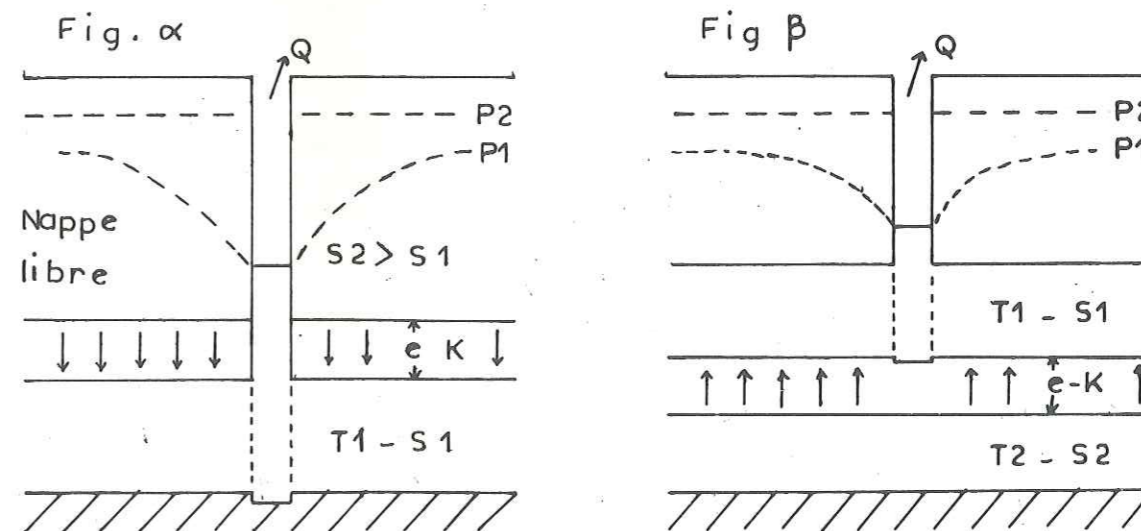
Pour interpréter les essais de pompage, nous disposons donc de deux méthodes. La première (méthode de THEISS) est basée sur l'équation (2). Elle est longue à calculer et peu employée. La seconde (méthode de JACOB) est basée sur l'équation (3). C'est celle-ci qui a été utilisée dans la plupart des cas. On trace la droite des rabattements en fonction du logarithme du temps (diagramme semi-logarithmique) et en fonction de la pente de la droite, on peut calculer T et S . $T = 0,183 Q/c$ (c est l'accroissement du rabattement pour un cycle logarithmique) ; $S = \frac{2,25 T t_0}{R^2}$ (t_0 est le temps où la droite représentative coupe l'axe des temps pour un rabattement nul. 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. En appliquant l'équation (3) 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 :

$$\Delta = 0,183 \frac{Q}{T} \log \frac{t}{t'} \quad (\text{eq 4})$$

Cette équation permet de calculer la transmissivité mais est indépendante du coefficient d'emmagasinement.

II-I- 2.1.2. - Nappe en charge alimentée par une forte drainance
 (Schéma de HANTUSH)

Il s'agit, en fait, d'un schéma bicouche dans lequel une couche est exploitée et l'autre couche, non exploitée, a un niveau piézométrique constant même lorsque la première couche est exploitée à fort débit. Concrètement, ce schéma correspond à deux cas illustrés par la figure suivante.



- Cas d'une nappe libre alimentant par drainance la couche captée (figure α). Les rabattements dans la nappe libre sont négligeables par rapport à ceux de la couche captée à cause du coefficient d'emménagement très important de la nappe libre.

- Cas d'une couche captée alimentée par drainance à partir d'une couche de forte transmissivité (figure β). Dans ce cas également, les rabattements dans la couche non exploitée sont négligeables par la suite de la différence de transmissivité.

Pour le régime transitoire, HANTUSH a établi l'équation suivante :

$$\Delta_1 = \frac{Q}{4\pi T} H\left(u, \frac{R}{B}\right) \quad (\text{eq 5})$$

$$\text{où } u = \frac{R^2 S_1}{4T_1 t} \quad \text{et} \quad B = \sqrt{\frac{L}{K} T_1} \quad (\text{B paramètre de drainance})$$

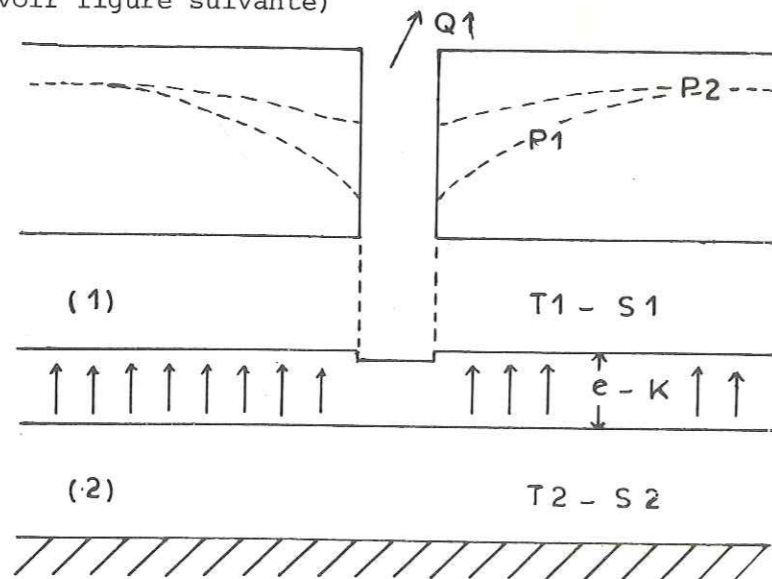
Si $u \geq \left(\frac{R}{B}\right)^2$, la fonction de HANTUSH $H\left(u, \frac{R}{B}\right)$ prend les valeurs de la fonction de THEISS $W(u)$. En pratique, cela signifie que si cette condition est satisfaite, un essai réalisé dans un aquifère bicouche selon le schéma de HANTUSH, peut être traité analytiquement à l'aide des formules applicables à un système monocouche.

Si $u < 0,1 \left(\frac{R}{B}\right)^2$ la fonction de HANTUSH $H\left(u, \frac{R}{B}\right)$ prend les valeurs de la fonction logarithmique $2 \ln(1,12 R/B)$.

Ces équations servent de base à la méthode d'interprétation de HANTUSH.

II-I- 2.1.3. - Aquifère bicouche (Schéma de BOTCHEVER)

Il s'agit d'un cas plus général que celui du schéma de HANTUSH. La couche (1), seule exploitée, de transmissivité T_1 et de coefficient d'emménagement S_1 est alimentée par drainance à travers une couche semi-perméable d'épaisseur e et de perméabilité verticale K , à partir d'une couche non exploitée de transmissivité T_2 et de coefficient d'emménagement S_2 (voir figure suivante)



- Régime permanent :

La différence entre les niveaux piézométriques P_1 et P_2 des deux couches est donnée par la différence :

$$P_2 - P_1 = \frac{Q_1}{2\pi T_1} K_0\left(\frac{R}{B}\right) \quad (\text{eq 6})$$

$$\text{où } B = \sqrt{\frac{e}{K} \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2}}$$

et $K_0(R/B)$ est la fonction de Bessel de deuxième type, d'ordre "0" et d'argument imaginaire.

- Régime transitoire :

Le régime transitoire a été traité théoriquement par BOTCHEVER dans le cas où les couches (1) et (2) sont identiques :

$$T_1 = T_2 = T \quad \text{et} \quad S_1 = S_2 = S$$

Les rabattements dans les deux couches sont donnés par les équations :

$$\text{dans la couche exploitée} \quad : \Delta_1 = \frac{Q_1}{8\pi T} \left[W(u) + H\left(u, \frac{R}{B}\right) \right] \quad (\text{eq 7})$$

$$\text{dans la couche non exploitée} \quad : \Delta_2 = \frac{Q_1}{8\pi T} \left[W(u) - H\left(u, \frac{R}{B}\right) \right] \quad (\text{eq 8})$$

$$\text{où } B = \sqrt{\frac{e T}{K 2}}$$

On a vu que si $u \geq \left(\frac{R}{B}\right)^2$ la fonction de HANTUSH prenait les mêmes valeurs que la fonction de THEISS ; le rabattement dans la couche exploitée est donné par la formule simplifiée :

$$\Delta_1 = \frac{Q_1}{4\pi T} W(u) \quad (\text{eq 9})$$

En pratique cela signifie que si $u > \left(\frac{R}{B}\right)^2$, tout se passe comme si la deuxième couche n'existait pas et l'essai peut être traité comme dans un système monocouche de paramètre T et E de la couche captée.

Si $u \leq 0,1 \left(\frac{R}{B}\right)^2$ la fonction de HANTUSH $H(u, R/B)$ prend les valeurs de la fonction $2 K_0 (R/B)$ et le rabattement dans la couche exploitée est donné par la formule :

$$\Delta_1 = \frac{Q_1}{4\pi(2T)} \left[W(u) + 2 K_0 \left(\frac{R}{B}\right) \right] \quad (\text{eq 10})$$

Si $u \leq 0,1 \left(\frac{R}{B}\right)^2$ et si $\frac{R}{B} \leq 0,3$ la fonction de HANTUSH prend les valeurs de la fonction logarithmique $2 \text{Ln} (1,12 R/B)$ et la fonction de THEISS se réduit également à une expression logarithmique de la forme $-\text{Ln} (1,78 u)$. Le rabattement dans la couche exploitée est alors donné par la formule logarithmique :

$$\Delta_1 = \frac{Q_1}{4\pi(2T)} \text{Ln} \frac{0,7B}{Ru} \quad (\text{eq 11})$$

Si $\frac{R}{B} > 3$ et si $u < 0,1$ $W(u) > 1,8$ alors que $2K_0 < 0,1$ et devient négligeable devant $W(u)$ dans l'équation (10) qui se simplifie et prend la forme :

$$\Delta_1 = \frac{Q_1}{4\pi(2T)} W(u) \quad (\text{eq 12})$$

En pratique cela signifie que si les conditions sont satisfaites, le système aquifère peut être assimilé à un système monocouche de transmissivité égale à la somme des transmissivités de chacune des deux couches.

Ce sont ces équations qui servent de base à la méthode d'interprétation de BOULTON.

II-I- 2.2. - Transmissivité et drainance

On peut s'interroger sur ce que représente la valeur de la transmissivité calculée en régime transitoire lorsqu'elle est issue d'une interprétation d'un pompage de durée limitée sur un forage qui ne capte que partiellement un aquifère composé de strates superposées. Le problème est de situer la transmissivité calculée (T_e) lors d'un essai par rapport à la transmissivité de la zone captée (T_c) et à la transmissivité totale (T_t) d'un aquifère multicouche.

Dans le dépouillement des essais ponctuels en régime transitoire, n'interviennent pas les valeurs des rabattements ; c'est, par contre l'allure générale de la courbe $\Delta = f(t)$ qui sert au calcul de la transmissivité ; en particulier dans le domaine où la fonction $W(u)$ peut être remplacée par la fonction logarithmique $-\text{Ln} (1,78u)$, c'est la perte de la droite établie expérimentalement entre Δ et $\log t$ qui sert à déterminer la transmissivité.

L'interprétation d'un tel essai revient donc à écrire l'équation (2) simplifiée en (3) pour les deux moments t_1 et t_2 :

$$\Delta(t_2) - \Delta(t_1) = 0,183 \frac{Q_1}{T_e} \log \frac{t_1}{t_2}$$

On a vu précédemment que pour $u \geq \left(\frac{R}{B}\right)^2$ l'équation générale en régime transitoire pour un aquifère bicouche prend la forme (9) formule de THEISS, et la différence de rabattement entre les moments t_1 et t_2 peut donc s'écrire :

$$\Delta_1(t_2) - \Delta_1(t_1) = 0,183 \frac{Q_1}{T} \log \frac{t_2}{t_1}$$

Dans cette équation, la transmissivité T correspond à la transmissivité de la couche captée. Par comparaison des deux équations, on voit donc que lorsque la condition $u \geq \left(\frac{R}{B}\right)^2$ est remplie, la transmissivité obtenue par interprétation de l'essai en régime transitoire (T_e) correspond à la transmissivité de la couche captée (T_c).

On a vu également que lorsque $u \leq 0,1 \left(\frac{R}{B}\right)^2$ et $\frac{R}{B} \leq 0,3$, l'équation générale en régime transitoire pour un aquifère bicouche (eq 7) prend la forme (eq 11) et la différence des rabattements entre les moments t_1 et t_2 peut donc s'écrire :

$$\Delta_1(t_2) - \Delta_1(t_1) = 0,183 \frac{Q_1}{2T} \log \frac{t_2}{t_1}$$

Dans ce cas, la transmissivité obtenue par interprétation de l'essai en régime transitoire par application de la formule de THEISS (T_e) correspond à la transmissivité totale T_t .

Dans le tableau suivant on résumera les résultats utiles au calcul.

Hypothèses

aquifère (1)	T_1	S_1

semi perméable	e	K

aquifère (2)	T_2	S_2

$$u \geq \left(\frac{R}{B}\right)^2$$

Résultats

$$B = \sqrt{\frac{e}{K} \times \frac{T_1 \times T_2}{T_1 + T_2}}$$

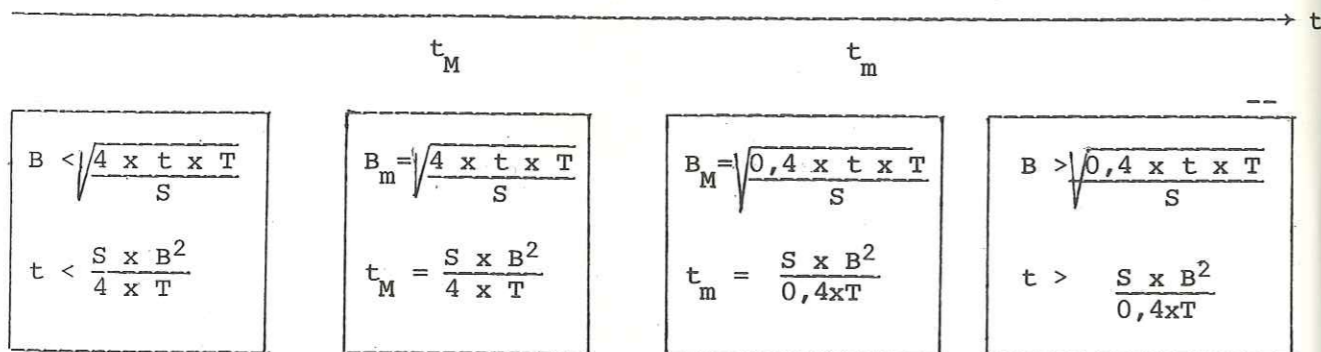
si $T_1 = T_2 = T$
 $S_1 = S_2 = S$ $B = \sqrt{\frac{e}{K} \times \frac{T}{2}}$

$$u \leq 0,1 \left(\frac{R}{B}\right)^2$$

$$T_e = T_c$$

$$T_c < T_e < T_t$$

$$T_e = T_t$$



avec $u = \frac{R^2 \times S}{4 \times T \times t}$ paramètre de THEISS

B_M = coefficient maximum de drainance

B_m = coefficient minimum de drainance

t_M = temps maximum

t_m = temps minimum

L'utilité pratique de cette méthode est évidente.

1°) Dans le cas d'un niveau très transmissif (de type AL AZIZIYAH par exemple) de transmissivité 10^{-2} m²/s, de coefficient d'emménagement 10^{-1} et d'un semi perméable de 20 m d'épaisseur et de perméabilité 10^{-8} m/s, le temps t_M serait de 289 jours. La transmissivité calculée après un essai de 3 jours t_m sera donc toujours la transmissivité de la zone captée (voir § II-2-3).

2°) Dans le cas d'un niveau peu transmissif (de type formation ABU SHAYBAH) de transmissivité 10^{-4} m²/s de coefficient d'emménagement 10^{-3} et d'un semi perméable de 20 m d'épaisseur et de perméabilité 10^{-7} m/s, le temps t_m serait de 2,8 jours. La transmissivité calculée à la fin d'un essai de 3 jours sera la transmissivité totale (voir § II-2-4).

Le problème peut aussi se poser dans les termes suivants :

Pour un temps de pompage t_o et pour un aquifère donné (S et T fixés), quelle est l'épaisseur d'un semi perméable de perméabilité K à partir de laquelle la transmissivité calculée représentera soit la transmissivité de la zone captée, soit la transmissivité totale.

1°) t_o , S et T étant fixés, une valeur B_m (coefficient minimum de drainance) est déterminée telle que pendant toute la durée du pompage la transmissivité calculée soit toujours égale à la transmissivité de la zone captée. Cette valeur de B est déterminée par :

$$t_o \leq t_M \quad \frac{4Tt_o}{S} \leq B^2 \quad B \geq B_m$$

$$t_o \leq \frac{SB^2}{4T} \quad B > \sqrt{\frac{4Tt_o}{S}} \quad \text{avec } B_m = \sqrt{\frac{4Tt_o}{S}}$$

2°) A cette valeur de $B_m = \sqrt{\frac{e_m}{K} \times \frac{T}{2}}$ correspondra une épaisseur de semi perméable e qui sera l'épaisseur minimale du semi perméable pouvant jouer le rôle d'épouffe.

3°) On peut aussi définir à partir des mêmes données une valeur maximum B_M (coefficient maximum de drainance) pour qu'en fin d'essai la transmissivité calculée soit égale à la transmissivité totale. Cette valeur de B est définie par $B_M = \sqrt{\frac{0,4t_o T}{S}}$.

4°) A cette valeur $B_M = \sqrt{\frac{e_M}{K} \times \frac{T}{2}}$ correspond pour un semi perméable donné une épaisseur e_M qui sera l'épaisseur maximum que ne devra pas dépasser un semi perméable pour qu'un système bicouche soit assimilable à un système monocouche.

Les valeurs B_m , B_M , e_m , e_M sont liées par les relations :

$$B_m = B_M \sqrt{10} \quad e_m = 10 e_M$$

II-I- 2.3. - Résultats

Sur certains forages, des tests à l'avancement ont été effectués. Ces résultats sont donnés sur les tableaux pages 91 - 92 - 93.

Sur tous les forages, un essai de pompage de longue durée (généralement 72 heures) à palier unique fut réalisé. Les résultats sont résumés dans les tableaux pages 94 - 95 - 96.

Les méthodes d'interprétation sont représentées par des indices suivant le code ci-après :

- (1) Méthode de JACOB (descente)
- (2) Méthode de JACOB (remontée)
- (3) Méthode de THEISS
- (4) Méthode de BOULTON
- (5) Méthode de HANTUSH

Résultats des tests de pompage effectués à l'avancement

PUITS	de (m)	à (m)	Méthode du test	Profondeur du niveau de l'eau (m)	Débit (l/s)	Rabattement (m)	Temps de remontée	Observations T (m ² /s)	Formation captée
RDH 1	9	124,5	Air lift		0,77				Quaternaire
RDH 2	149	163,5	Air lift	- 63,19 (sol)	4,86	0,08	1 h		AZ3
RDH 3	107,5	202	Air lift	- 27,67 (sol)	8,4	1,13	11 h 40	T = 1,5 x 10 ⁻² (2)	Quat-Plio-Miocène
RDH 5	53 90,6	87 180	Air lift Air lift	- 47,31 (sol) - 84,78 (sol)	3,3-3,8 1	> 0,19 >18,44	1 h 1 h		AZ5 AZ4 - AZ3u
RDH 7	78 143,5	171 550	Soupape Air lift	- 28,30 (sol) - 28,88 (sol)	0,47 0,78	41,19	4 h 16 h	T = 3,4 x 10 ⁻⁴ (2) T = 2,3 x 10 ⁻⁵ (2)	RH RH - OC
RDH 8	41,5	59,5	Air lift	Pas d'eau					AZ5
RDH 9	0 180	90 240	Air lift Air lift	- 34,40 (sol) - 34,73 (sol)	1,82 1,12	17,72 14,82	3 h 7 h		Quat-Plio-Miocène BS
RDH 10	10	150	Air lift	- 78,6	1	40,02			Quat-Pliocène- AZ4-AZ3u
RDH 11	0 180	180 300	Air lift Air lift	Pas d'eau - 88,85 (TBM)	2	0,40			Quat-Pliocène-AT Kiklah fm. et BS
RDH 12	64	131	Air lift	- 51,5 (sol)	2,08	2,6			AZ3l
RDH 13	88 90 250 401	129 210 400 560	Soupape Soupape Soupape Soupape	- 67,65 (sol) - 70,01 (sol) - 54,5 (sol) - 58,6 (sol)	0,9 2 1,25 0,64	1,45 33,96 55,55 ≠ 1	15 h 11 h 15 h 72 h		AZ2l AZ2l-AZ1-RH6-RH5u RH4m-RH4l- RH3u RH3l-RH2-RH1
RDH 14	3 125 3 248,5	139 251 240 370	Soupape Air lift Soupape Soupape	- 83,53 (sol) - 92,83 (sol) - 88,15 (sol)	0,62 0,32	3 >7,5	Pas de remontée		AZ3 AZ3-AZ1 AZ3-AZ2-AZ1 RH6l-RH5-RH4u

PUITS	de (m)	à (m)	Méthode du test	Profondeur du niveau de l'eau (m)	Débit (l/s)	Rabattement (m)	Temps de remontée	Observations T (m ² /s)	Formation captée
RDH 15	8,5 104 130	9,3 130 250	Soupape Pompape Pompape	- 114,8 (sol) - 114,26 (sol)	7,14 7,08	2,03 1,51	4 h 9 h	Pas d'eau T = 1,2 x 10 ⁻² T = 2,5 x 10 ⁻³ (1) (2)	Quat-Pliocène-BS AZ5 AZ4-AZ3
RDH 16	35 165 226,3	109 210 269,2	Air lift	- 26,60 - 38,73 - 158,58	1 2,2 0,05	15,55 0,27 ? 20,03	10 h 2 h		Quaternaire-BS AZ5-AZ4 AZ3m
RDH 18	0 109 345	48 188 405	Soupape Air lift Soupape	- 34,09 (sol) - 34,40 (sol) - 36,70 (sol)	0,35 2,08 1,47	0,66 26,45 53,27	4 h 10 h 15 h	T ≈ 10 ⁻⁶	Quat-Plio-Miocène Quat-Plio-Miocène AZ5-AZ4
RDH 19	70	112	Air lift	- 33,70	3,90	3,7			Quat-Plio-Miocène
RDH 20	75 21	220 211	Soupape Soupape	- 102,45 < - 116,47	0,3 0,3	4,65 >33,59	11 h 45 45 h 55		AZ4-AZ3 AZ4-AZ3
RDH 21	11 125 215	51 205 299	Soupape Soupape Soupape	- 12,23 - 76,80 Niveau dans AZ	0,94	4,22	8 h 35	T = 3,6 x 10 ⁻⁴ (2)	BS BS AZ5-AZ4
RDH 22	26 84	34 211	Soupape et Air lift	- 8,17 (sol) - 50,85 (sol)	0,37 4,19	24,30 >13	38 h 30 10 h	T = 1,5 x 10 ⁻⁴ (2)	BS
RDH 24	1 394	118,7 460,1	Soupape Pompape	- 98,66 (sol) - 69,25 (sol)	0,71 3,3	> 0,38 40,83	0 h 30 11 h 45	T = 7,6 x 10 ⁻⁴ (2) T = 5,9 x 10 ⁻⁵	AZ4-AZ3u-AZ3m RH4l
RDH 25	11	140	Soupape	- 88,63 (sol)	1,4	23,9	10 h		Quat-Pliocène in Tobi fm.
RDH 26	78 280 350	153 350 577	Pompape Soupape Soupape	- 83,96 (sol) - 74,10 (sol) - 73 (sol)	8,16 1,1 0,7	18,2 42,1 28	51 h 38 h 20 25 h 20	T = 3,7 x 10 ⁻⁵ (2) T = 7 x 10 ⁻⁶ ? T = 1,3 x 10 ⁻⁵ (2)	AZ1-RH6-RH5 RH4l-RH3u RH3m-RH3l-RH2

PUITS	de (m)	à (m)	Méthode du test	Profondeur du niveau de l'eau (m)	Débit (l/s)	Rabattement (m)	Temps de remontée	Observations T (m ² /s)	Formation captée
RDH 27	59	89	Pompape	- 55,69 (sol)	0,22 0,39 1	0,06 0,09 0,33	1 h 30		AZ3u
RDH 30	32 120	126 200	Air lift Air lift	- 73,50 - 72,33	0,92 3	>1,5 2,70	0 h 50 7 h	T = 1,5 x 10 ⁻³ (2) T = 7,8 x 10 ⁻⁴ (2)	Quat-Pliocène BS BS
RDH 31	0 0 0	70 117 240	Soupape Soupape Soupape	pas d'eau - 105,80 (sol) - 105,62 (sol)	0,5	0			Quat-Pliocène Plio-Quat-AZ3u Plio-Quat-AZ3-AZ2 AZ1u
RDH 32	0 0 0 125 166,1 235	90 109 125 252 216,2 330	Soupape Soupape Soupape	pas d'eau - 166,65 (sol) - 166,22 (sol) - 164,75 (sol)	0,4 0,8 0,06	>4,5 2,93 >0,3	1 h 10 h	T = 2,4 x 10 ⁻⁴ (2) T = 5,7 x 10 ⁻⁵ (2)	Quat-BS-AZ5 Quat-BS-AZ5-AZ4 Quat-BS-AZ5-AZ4-AZ3u AZ3m-AZ3l-AZ2u AZ3l AZ2l-AZ1
RDH 33	0 0 162,3	60 104 213,3	Soupape Soupape Lefranc	pas d'eau pas d'eau pas d'eau					BS AZ3u
RDH 34	29,4 155 124 230	70 190 185 360	Soupape Soupape Air lift Air lift	- 40,21 - 41,53 (sol) - 41,36 (sol) - 41,65 (sol)	0,31 0,47 4,78 3,33	0,96 0,035 15 12,56	2 h 0 h 24 2 h	T = 7,1 x 10 ⁻⁵ (2) T = 1,4 x 10 ⁻³ (2)	Plio-Quaternaire AZ5 BS-AZ5 AZ3-AZ2u
RDH 36	0 0 100 100 165 225	50 100 135 170 210 225	Soupape Soupape Soupape Soupape Soupape	pas d'eau - 49,66 (sol) - 130,21 (sol) - 152,25 (sol) - 141,86 (sol) - 102,41 (sol)	0,97 0,78 1,25 0,83 0,56	46,90 >0,11 10 14,15 101,06	39 h 1 h 42 h 30 23 h 24 h	T = 2,5 x 10 ⁻³ (2) T = 4,1 x 10 ⁻⁵ (2)	AZ5 AZ5-AZ4 AZ3u AZ3u AZ3l AZ2l-AZ1

PUITS	PROFONDEUR		DUREE		DEBIT (l/s)	RABATTEMENT		TRANSMISSIVITE		COEFFICIENT D'EMMAGASI- NEMENT	REMARQUES
	de (m)	à (m)	Pompage	Remon- tée		Puits (m)	Piezomètre (m)	Pompage (m ² /s)	Remontée (m ² /s)		
RDH 1	200	335,3	68 h	1 h 30	31,4	1,68					AZ3U-AZ3L
RDH 2	278	338	72 h	1 h	28,6	3,60					AZ2
RDH 3	543,6	593,6	31 h05 72 h	3 h30 82 h30	9,13 8,11			4,1 x 10 ⁻² (2) 4,1 x 10 ⁻² (2)			RH3
RDH 4	328,6	431,8	15 h30 120 h	10 h 144 h	4,36 4,9	62,96 75,29	1,27 (T3)	1,2 x 10 ⁻³ (3)	3,1 x 10 ⁻⁵ (3)		T = 10 ⁻⁴ ? RH4U-RH4M
RDH 5	60	84	24 h	50 h	4,7	5,03		2,5 x 10 ⁻³ (2)			AZ5
RDH 9	92,2	166,8	72 h	23 h30	8,31	32,63		2,5 x 10 ⁻³ (1)			Kiklah fm. et base du Tertiaire
RDH 10	200,8	237,4	57 h	13 h	8,45	26,83					AZ3L
RDH 11	179,6	263,8	30 h45 48 h	0 h30 48 h	7,5 24,5	2,89 12,17		4 x 10 ⁻³ (1)	4,2 x 10 ⁻³ (2) 3,7 x 10 ⁻³ (2)		Kiklah fm.
RDH 12	133	200,5	72 h	7 h	3,1	28,58					AZ2-AZ1
RDH 13	600,1	654,8	3 h	24 h30	0,53	57,36		2,2 x 10 ⁻⁶ (2)			OC
RDH 14	174,7	218	72 h	7 h	5,14	46,95					AZ1- T= 10 ⁻⁴ ?
RDH 15	242,2	308,2	8 h	17 h	7,1	2,41		2,6 x 10 ⁻³ (1)	2,6 x 10 ⁻³ (2)		AZ3L-AZ2
RDH 19	171	207,7	72 h 72 h	10 h 10 h	2,7 3,1	36,13 33,52		1,4 x 10 ⁻⁴ (1) 2,4 x 10 ⁻⁴ (1)	1,3 x 10 ⁻⁴ (2) 1,3 x 10 ⁻⁴ (2)		Mio-Plio-Quat.
RDH 20	245,7	294,7	72 h	11 h	13,9	6,73		1 x 10 ⁻² (1)	1,3 x 10 ⁻² (2)		AZ2L-AZ1U

PUITS	PROFONDEUR		DUREE		DEBIT (l/s)	RABATTEMENT		TRANSMISSIVITE		COEFFICIENT D'EMMAGASI- NEMENT	REMARQUES
	de (m)	à (m)	Pompage	Remon- tée		Puits (m)	Piezomètre (m)	Pompage (m ² /s)	Remontée (m ² /s)		
RDH 21	77,9	147,4	63h20	36h	4,44	31,31	6,30 (PZH8)	2,9 x 10 ⁻⁴ (1) 2,5 x 10 ⁻⁴ (1) 2,5 x 10 ⁻⁴ (4)	2,5 x 10 ⁻⁴ (2) 8,6 x 10 ⁻⁴		BS
RDH 22	118,4	209	8h 72 h	72h35	1,86 1,39	24,91 20,13	0 (PZH7) 0 (PZH7)	3,5 x 10 ⁻⁵	3,3 x 10 ⁻⁵		BS
RDH 23 A	35	82	71h15	51h45	16,45	6,96		6 x 10 ⁻³	6,7 x 10 ⁻³		Quaternaire
RDH 24	100	255	11h 56h 72h	14h 16h30 12 h	10 24,15 27,5	0,02 0,3 à 0 0,14					AZ2L-AZ1
RDH 25	453,6	632,5	72h 59h55 117h	15h 16h30 26h	20,28 20,28 24,44	6,65 6,87 10,51		1,2 x 10 ⁻³ (1) 1,2 x 10 ⁻³ (1) 1,7 x 10 ⁻³ (1)	1,5 x 10 ⁻³ (2) 1,4 x 10 ⁻³ (2) 1,3 x 10 ⁻³ (2)		AZ4-AZ3-AZ2
RDH 26	612,8	690,8	3h	67h40	1,06	>47,65			1 x 10 ⁻⁵		OC
RDH 26 A	90	120,3	2h40 10h20 48h	14h50 23h20 27h30	1,5 0,47 3,84	15,88 7,84 23,27		1,5 x 10 ⁻⁵			AZ1L
RDH 27	55	83	72h	11h	8,42	7,90					AZ3U
RDH 28	45	85	48h	6h	13,45	19,95		1,9 x 10 ⁻² (1)			AZ3U
RDH 30	217	319,4	64h15	9h	31,94	4,28		2,1 x 10 ⁻² (1)	1,8 x 10 ⁻² (2)		AZ5-AZ4-AZ3M
RDH 31	216	268,2	72h	30h	1,53	56,68		2,3 x 10 ⁻⁵ (1)	8,7 x 10 ⁻⁶ (2)		AZ1
RDH 32	166,4	317,1	72h 72h	24h 48h	1,67 5,5	4,85 21,77		1,4 x 10 ⁻³ (1)	1,1 x 10 ⁻³ (2)		T = 10 ⁻³ ? AZ3L-AZ1
RDH 34	265	350	48h	9h	13,71	16,25					AZ3L-AZ2U

PUITS	PROFONDEUR		DUREE		DEBIT (l/s)	RABATTEMENT		TRANSMISSIVITE		COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT	REMARQUES
	de (m)	à (m)	Pompage	Remon- tée		Puits (m)	Piézomètre (m)	Pompage (m ² /s)	Remontée (m ² /s)		
RDH 35	60,7	138	71h30	24h	19,44	35,46	0,01 (RDH19)		4,7 x 10 ⁻³		Plio-Quaternaire
RDH 36	147,1	194,5	4h35	17h	≈ 1	?			2,1 x 10 ⁻⁶ (2)?		AZ3L
PWH 2 PZH 1	155	191,2	72h	5h	24,72	1,04		1,5 x 10 ⁻¹			AZ2
PWH 3	139,7	194	72h	5h	35	0,77					AZ3L-AZ2
PWH 4	92	190	72h	6h35	33,33	0,16		1,7 x 10 ⁻¹ (1)			AZ3L-AZ2u
PWH 5	98,5	200	72h 173h	26h 16h	19,44 19,17	0,95 0,78	0,21 (GW1)	4,4 x 10 ⁻² (1) 1,3 x 10 ⁻² (1) 1 x 10 ⁻² (3)	2,2 x 10 ⁻² (2) 2,8 x 10 ⁻² (2)	3,2x10 ⁻² (1) 4,1x10 ⁻² (3)	AZ2-AZ1 d'après GW1 d'après GW1
PWH 6	150	245,3	72h	12h	17,69	1,53					AZ3L-AZ2
PWH 7	332,4	408,4	120h	12h	20,28	22,98		6,4 x 10 ⁻³ (1)			AZ3M
PWH 8	65	207	72h	10h	5,77	17,99		2,6 x 10 ⁻⁴ (1)	3,5 x 10 ⁻⁴ (2)		BS
PWH 9	175,5	266	57h	16h	26,53	9,80	2,80 (RDH11)	4,3 x 10 ⁻³ (1) 2,7 x 10 ⁻³ (1) 2,4 x 10 ⁻³ (5)	3,2 x 10 ⁻³ (2) 3,6 x 10 ⁻³ (2)	4,7x10 ⁻⁴ 5,4x10 ⁻⁴ (5)	Kiklah fm.
T 11 PZH2	136,4	155	118h 163h	19h 18h30	19 31,15	0,15 0,22	0,03 0,05	1,5 x 10 ⁻² (1) 3,9 x 10 ⁻² (1) 6,4 x 10 ⁻² (1) 1,1 x 10 ⁻¹ (1)	2,2 x 10 ⁻² (2)	2,6x10 ⁻¹	d'après PZH 2 d'après PZH 2
PZH 7	23,45	31,45	2h	9h	0,61	>13,69		1,8 x 10 ⁻⁵ (1)			Quaternaire
PZH 9	45	70	6h	4h30	1,25	> 1,43		2,1 x 10 ⁻³ (1)			

II-I- 3. CALCUL DU COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT A LONG TERME PAR LA METHODE DU COMPACTAGE DES COUCHES COMPRESSIBLES (Rapport ERES)

II-I- 3.1. - Principe de la méthode

II-I- 3.1.1. - Définition

La plupart des essais correspondant en fait à des écoulements de quelques jours, ne donnent que le coefficient d'emménagement de courte durée. Au cours du temps apparait le compactage des couches semi-perméables qui peut augmenter la valeur du coefficient d'emménagement dans le rapport de 1 à 100.

Dans le cas des exploitations de longue durée, le coefficient d'emménagement (s) est la résultante des deux effets suivants :

- la déformation élastique de l'ensemble des couches,
- la déformation plastique (compactage) des couches semi-perméables.

Le poids respectif de ces deux effets varie avec la profondeur des couches intéressées et la vitesse de variation du niveau piézométrique.

Dans le cas de couches à faible et moyenne profondeur, c'est le compactage qui est l'effet déterminant.

Dans le cas des couches profondes, c'est au contraire la déformation élastique car la variation de pression résultant de l'abaissement du niveau piézométrique est faible par rapport à la pression due au poids des couches sus-jacentes.

Le cas des couches de profondeur moyenne où, pratiquement seul le compactage intervient, sera étudié plus en détail dans la suite de l'exposé.

II-I- 3.1.2. - Relation entre s de longue durée et la nature des couches intercalaires

II-I- 3.1.2.1. - Compactage complet

Considérons le cas d'un aquifère stratifié avec "N" couches intercalaires et admettons que le compactage de toutes les couches soit complet. L'expression donnant le coefficient d'emmagasinement peut s'écrire :

$$s = \sum_{i=1}^N (m_v \cdot h)_i \quad (e'q 1)$$

où :

h_i est l'épaisseur de la couche intercalaire "i" en cm,
 $(m_v)_i$ son coefficient de compressibilité volumétrique exprimé en cm^2/kg .

Dans l'équation (1) nous avons négligé les déformations élastiques de l'eau et du milieu poreux.

II-I- 3.1.2.2. - Compactage incomplet - Influence du temps

En réalité, le compactage n'est jamais complet, même si la pression de l'aquifère reste constante.

Une équation plus précise que celles données ci-dessus, peut être déduite de la théorie du compactage de Therzaghi :

$$s = \gamma \sum_{i=1}^N (C_m h)_i \quad (e'q 2)$$

où :

C est le "degré de compactage" $C = f(T_r)$ où :

$$T_r = \frac{4 C_v}{h^2} t \quad (e'q 3)$$

Les valeurs $C = f(T_r)$ sont données par le diagramme de la figure a (pour une couche intercalaire semi perméable, on doit adopter la courbe C1).

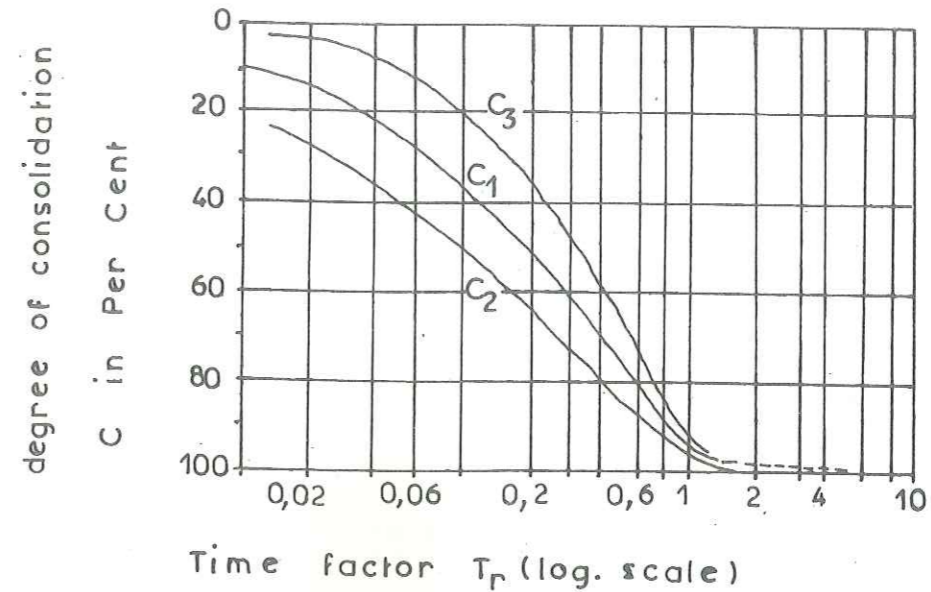


Fig. a Relation $C = f(T_r)$ d'après Terzaghi et Frölich

C_v est le coefficient de consolidation en cm^2/s déterminé en laboratoire,
 t est le temps en secondes.

Le coefficient d'emmagasinement dû au compactage donné par l'équation (1), représente une valeur moyenne pour la période considérée.

II-I- 3.1.2.3. - Application pratique

En comparant les formules (1) et (2) on note que l'on passe de l'une à l'autre en remplaçant h par Ch qui est appelé épaisseur efficace (h_{ef}).

Physiquement, l'épaisseur efficace est la partie de la couche semi-perméable qui est en contact direct avec les couches perméables et qui est effectivement compactée dans la période considérée.

Si la couche est épaisse, l'épaisseur efficace est, en fait, divisée en deux parties situées au toit et au mur de la couche intercalaire (figure b)

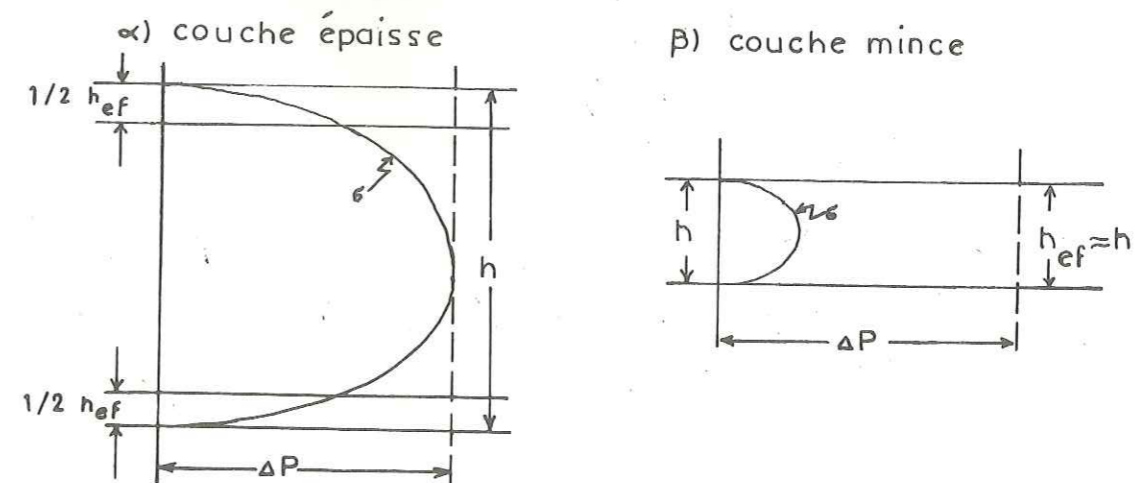


Fig. b Schéma relatif à la notion d'épaisseur effective

Si la couche est mince, les deux parties sont réunies et toute la couche est compactée.

Le mur et le toit de l'ensemble aquifère peuvent être assimilés respectivement au mur et au toit d'une couche très épaisse.

Dans l'application pratique du calcul du coefficient d'emmagasinement, on admet que le coefficient de consolidation C_v est égal à $5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ représentant la valeur moyenne des mesures en laboratoire citées dans l'ouvrage de Terzaghi (figure c)

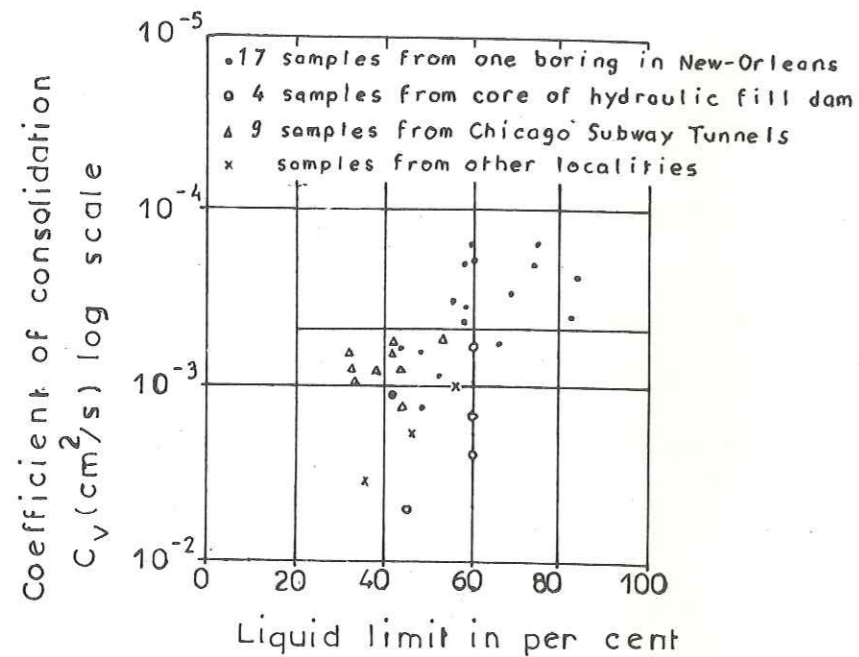


Fig. c Relation entre C_v et la limite de liquidité d'après Terzaghi

Pour déterminer l'épaisseur pour laquelle le degré de compactage $C = 95\%$ correspondant, selon Terzaghi, à $T_r = 1$, on utilise la formule (3) en considérant une période de temps $t = 20 \text{ ans} = 6,3 \times 10^8 \text{ secondes}$, correspondant à l'échéance moyenne des prévisions des modèles :

$$T_r = \frac{4.5 \times 10^{-4}}{h^2} \times 6,3 \times 10^8 = 1$$

d'où : $h = 10 \text{ m}$

On en conclut que toutes les couches d'épaisseur inférieure à 10 mètres seront entièrement compactées dans le temps considéré (20 ans).

Pour les couches d'épaisseur supérieure à 10 mètres, le calcul de l'épaisseur efficace $h_{ef} = Ch$ montre que, pour les mêmes hypothèses, celle-ci est approximativement constante et égale à 10 mètres.

La formule (1) devient alors :

$$s = 0,1 \sum_{i=1}^N (m_v \cdot h_{ef}^2) i \quad (\text{eq 4})$$

où : h_{ef} en m $\left\{ \begin{array}{l} h_{ef} = h \text{ pour } h \leq 10 \text{ m} \\ h_{ef} = 10 \text{ m pour } h > 10 \text{ m} \end{array} \right.$
 m_v en cm^2/kg

Pour le mur et également pour le toit du réservoir, on prend $h_{ef} = 5 \text{ m}$. Dans le cas où le toit ou le mur de l'ensemble aquifère est constitué par un matériel incompressible le terme correspondant s'annule.

II-I- 3.1.2.4. - Détermination de m_v

Pour pouvoir utiliser la formule (4), on doit connaître m_v qui est fonction de la tension effective σ à laquelle un échantillon de sol est soumis.

Le graphique (figure d) à l'échelle logarithmique, résume quelques essais relatifs à la détermination de m_v en fonction de σ .

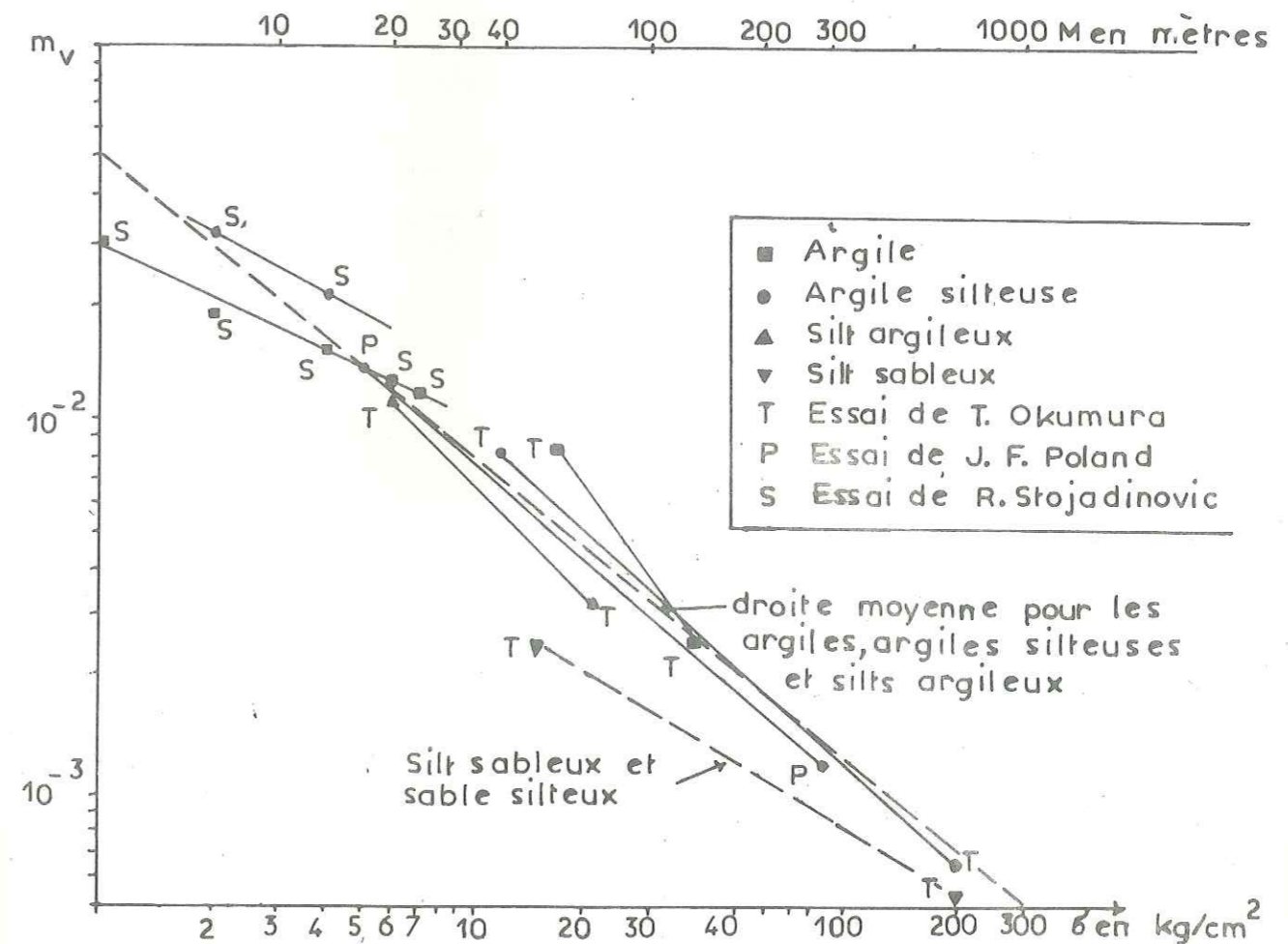


Fig. d Relation entre le coefficient de compressibilité volumétrique m_v , la tension effective σ et la profondeur M

Remarquons que le nombre de points expérimentaux représentés sur le graphique est limité, le nombre réel étant beaucoup plus grand.

Il est intéressant de constater que la dispersion de la plupart des résultats est assez faible (compte tenu du caractère du phénomène). Tous les résultats relatifs à l'argile, l'argile silteuse et le silt argileux ont ainsi pu être représentés par une seule droite.

Les valeurs de m_v pour le silt argileux sont nettement inférieures à celles des autres types de sol, l'ordre de grandeur de m_v restant toutefois le même. Ce domaine est représenté par une autre droite.

II-I- 3.1.2.5. - Relation entre m_v et la profondeur des couches par rapport au sol

Pour trouver la relation existant entre m_v et la profondeur M , on utilise les résultats de S. Muroyama qui a démontré que la pression de préconsolidation est sensiblement supérieure à la pression due au poids des terrains sus-jacents pour toutes les couches plus profondes que 20 mètres, le rapport étant de l'ordre de 1,5.

Si l'on admet que le poids spécifique du milieu poreux saturé est de l'ordre de $2 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$ et que l'effet de l'artésianisme sur la tension effective est négligeable, on arrive à la relation approchée :

$$\sigma = 0,3 M$$

M étant exprimée en m,
 σ en kg/cm^2

II-I- 3.2. - Résultats

- Evaluation du coefficient d'emmagasinement de la formation ABU SHAYBAH sur le forage RDH 21 :

Intervalle d'apparition des niveaux argileux	Profondeur moyenne	Epaisseur		mv Compressibilité à $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{kg}$	S coefficient d'emmagasinement 10^{-3}
		réelle utile			
56 - 61	58,5	5	5	5,4	2,7
64 - 73	68,5	9	9	4,4	4
104 - 116	110	12	10	3	3
120 - 125	122	5	5	2,8	1,4
147 - 192	170	45	10	2	2
					13,1
					≈ 10

- Evaluation du coefficient d'emmagasinement de la formation ABU SHAYBAH sur le forage RDH 29. :

Intervalle d'apparition des niveaux argileux	Profondeur moyenne	Epaisseur		mv Compressibilité à $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{kg}$	S coefficient d'emmagasinement 10^{-3}
		réelle utile			
80 - 85	82	5	5	3,8	1,9
108 - 122	115	14	10	3	3
146 - 186	166	40	10	2,1	2,1
					7
					≈ 10

- Evaluation du coefficient d'emmagasinement de la formation RAS HAMIA sur le forage RDH 13

Intervalle d'apparition des niveaux argileux	Profondeur moyenne	Epaisseur		mv Compressibilité à 10^{-3} cm ² /kg	S coefficient d'emmagasinement 10^{-3}
		réelle	utile		
225 - 280	250	55	5	1,5	0,75
285 - 287	286	2	2	1,3	0,26
209 - 291	290	2	2	1,25	0,25
330 - 347	337	17	10	1,2	1,2
365 - 374	369	11	10	1,15	1,15
382 - 386	384	4	4	1,1	0,44
390 - 398	394	8	8	1,05	0,84
407 - 425	416	18	10	1	1
437 - 440	438,5	3	3	1	0,3
456 - 468	462	12	10	0,9	0,9
472,5-477,5	475	5	5	0,8	0,4
490 - 504	497	14	10	0,8	0,8
527 - 537	532	10	10	0,8	0,8
548 - 553	550	5	5	0,8	0,4
					9,52
					≈ 10

II-II - RESULTATS

Au niveau de ce sous-chapitre seront exposés les résultats des pompages d'essais en fonction des formations testées qui seront reprises dans l'ordre stratigraphique.

II-II- 1. LA FORMATION OULED CHEBBI

Cette formation a été atteinte par deux forages RDH 7 et RDH 26. Elle a été traversée dans son ensemble au forage RDH 13. Elle a été testée sur le forage RDH 7 et captée sur les forages RDH 13 et 26.

Dans le test sur le forage RDH 7, la formation OULED CHEBBI est associée à la formation RAS HAMIA. Ces deux formations étant envahies par des intercalations rhyolitiques les observations au niveau de ce forage ne peuvent avoir qu'une valeur locale. La transmissivité calculée à partir de ce test est de l'ordre de 2×10^{-5} m²/s.

Sur le forage RDH 13 la formation OULED CHEBBI a une épaisseur de 80 m environ. Elle repose directement sur le socle granitique et se décompose en deux termes : la partie inférieure, crépinée, de 50 m environ est gréseuse alors que la partie supérieure discontinue est argileuse. Le rôle de la zone argileuse qui sépare la formation OULED CHEBBI de la formation RAS HAMIA sera exposé au paragraphe II-3.1. Compte tenu du fait que le niveau capté est situé entre le granite et un niveau argileux d'une épaisseur de 30 m environ et que le pompage a été de courte durée (3 heures), le test n'a intéressé que la zone crépinée dont la transmissivité serait de l'ordre de 2×10^{-6} m²/s.

Sur le forage RDH 26, à la suite du développement pendant lequel le débit spécifique est resté très faible, il n'y a pas eu d'essai de longue durée. La transmissivité calculée à partir de l'enregistrement de la remontée qui a suivi le développement a une valeur de 10^{-5} m²/s. Ne connaissant pas les caractéristiques lithologiques et géophysiques de la formation vers le bas, il n'est pas possible de connaître l'épaisseur réelle de la zone qui a été testée.

Il n'y a pas de test permettant le calcul d'un coefficient d'emmagasinement. De plus le caractère consolidé des grès de la formation OULED CHEBBI ne permet pas le calcul du coefficient d'emmagasinement à long terme. La perméabilité très faible (2×10^{-7} m/s) des grès de cette formation fait que cette dernière ne peut être qu'un aquifère de mauvaise qualité et peu exploitable. De plus on dispose de trop peu de sondages dans cette formation pour savoir si dans certains secteurs la perméabilité des grès ou leur fracturation peuvent permettre une amélioration locale des caractéristiques hydrodynamiques de cet aquifère. La porosité calculée à partir des diagraphies par application de la formule d'ARCHIE serait de l'ordre de 8 à 14 % pour les niveaux gréseux.

TABLEAU RECAPITULATIF DES ESSAIS DE
POMPAGE DANS LA FORMATION RAS HAMIA

	Horizon 6			Horizon 5			Horizon 4			Horizon 3			Horizon 2			Horizon 1		
	u	m	l	u	m	l	u	m	l	u	m	l	u	m	l	u	m	l
T 3										L.D.P.T.								
RDH 1							L.D.P.T.											
AZDW 2										L.D.P.T.								
RDH 7															D.			
RDH 3										L.D.P.T.								
RDH 14				A.T.														
RDH 12																		
RDH 13							A.T.						A. T.					
RDH 24							A.T.											
RDH 32																		
RDH 26							A.T.			A. T.								
RDH 31																		
RDH 36																		

A.T. : AQUIFER TEST TEST D'AQUIFERE
L.D.P.T.: LONG DURATION PUMPING TEST POMPAGE DE LONGUE DUREE
D. : DEVELOPMENT DEVELOPPEMENT

II-II- 2. LA FORMATION RAS HAMIA

La formation RAS HAMIA a été atteinte par les forages RDH 3, RDH 4, RDH 12, RDH 14, RDH 24, RDH 31, RDH 32, RDH 36, AZDW 2 et traversée par les forages RDH 13 et RDH 26 (voir tableau page 31).

Le tableau page 106 résume schématiquement l'ensemble des essais mis en oeuvre pour l'étude hydrogéologique de cette formation.

II-II- 2.1. - Caractéristiques hydrodynamiques de l'ensemble basal grés-argileux ou argilo-gréseux

II-II- 2.1.1. - Unicité hydraulique

Le caractère stratifié des dépôts détritiques de la formation RAS HAMIA témoignerait en faveur de l'individualisation d'un grand nombre de niveaux aquifères au sein de l'ensemble basal. Cette individualisation pourrait être confirmée par le fait que l'on observe une mise en charge progressive des niveaux avec la profondeur. Cela apparaît au cours des essais sur les forages RDH 26, RDH 13, RDH 4 et T 3. Ces observations sont résumées dans le tableau suivant.

Forage	Horizon	Niveau piézométrique	Horizon	Niveau piézométrique	Différence
RDH 26	4l,3u	90,86 (1)	3m,3l,2	91,86 (1)	1,1
RDH 13	4m,4l,3u,3m	94,6 (1)	3l,2,1	90,5 (1)	1,92
RDH 4	4u,4m	112,33			} 5,13
T 3			3u,3m	117,46	

(1) niveau théorique après calcul de fin de remontée.

Chaque horizon a été divisé en 3 niveaux : u (upper) niveau supérieur, m (middle) niveau moyen, l (lower) niveau inférieur.

Evolution des niveaux piézométriques suivant le niveau capté dans la formation RAS HAMIA

Mais trois faits viennent infirmer ces présomptions :

a) A la suite de la mise en production du forage T 3, on observe une remontée de l'ordre du mètre du niveau piézométrique pendant plus d'une année. Cette remontée pourrait être due à la mise en équilibre de deux niveaux aquifères de charge légèrement différente. Ceci amène à utiliser les niveaux piézométriques relevés à la fin d'un essai avec précaution.

b) Les zones aquifères captées sur les forages RDH 4 et T 3 (distants de 957 m) sont séparées par une dizaine de m de niveaux moins résistants. Le forage RDH 4 capte des niveaux supérieurs à ceux captés par le forage T3. Malgré la différence de charge existant entre les deux aquifères, on observe un rabattement de 1,27 m sur le forage T 3 après un pompage de 120 heures sur le forage RDH 4. Considérant qu'un rabattement de 10 cm est significatif, le forage T 3 a réagi au pompage sur le forage RDH 4 après 2 heures. A partir des données obtenues par ce pompage on peut calculer la perméabilité K du niveau semi-perméable séparant les captages des deux forages :

données : $S = 3,1 \times 10^{-5}$

$T = 1,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

$t_0 = 2 \text{ heures}$

$e = 10 \text{ m}$

$$\text{Résultat : } B_m = \sqrt{\frac{4xt_0T}{S}} = \sqrt{\frac{e}{K} \times \frac{T}{2}} = 1055$$

$$K = 5,4 \times 10^{-9}$$

On peut considérer que, pendant les deux premières heures de pompage le niveau argileux joue le rôle d'éponte puisque le forage T 3 ne réagit au pompage du forage RDH 4 qu'après ce laps de temps. On calcule donc B_m coefficient minimum de drainance pour que $T_e = T_c$. De cette valeur on peut tirer la perméabilité K du semi perméable d'épaisseur e.

La valeur trouvée $K = 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ peut être considérée comme une valeur maximum de la perméabilité des niveaux conducteurs.

c) Les analyses chimiques des eaux (voir chapitre IV) montrent le long d'un même forage un faciès chimique des eaux constant en particulier sur les forages RDH 13 et RDH 26. Ce faciès chimique est le même que celui qui apparaît dans la formation OULED CHEBBI.

II-II- 2.1.2. - Transmissivité

Parmi les tests à l'avancement, plusieurs n'ont pas une durée suffisante pour permettre le calcul d'une transmissivité, d'autres ne donnent qu'un rabattement spécifique qui ne permet pas une interprétation en transmissivité. Les deux tests à l'avancement qui ont pu être interprétés ont montré une transmissivité variant de $1,3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (RDH 26) à $5,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (RDH 24).

En dehors de l'essai sur le forage RDH 7 qui du fait des particularités lithologiques n'est pas représentatif, les valeurs des transmissivités calculées à partir des forages RDH 4, AZDW 2 et RDH 3 sont les suivantes :

RDH 4 : $1,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Transmissivité calculée à partir de l'évolution de T 3)

AZDW 2: $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

RDH 3 : $4,1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

En comparant les valeurs de la transmissivité acquises au cours des tests à l'avancement et celles acquises à la suite de pompages de longue durée, on voit apparaître une différence qui peut atteindre deux puissances de 10. Cela peut s'expliquer comme suit :

- Il suffit pour les temps de pompages courts, comme le montre le tableau page 110, d'une épaisseur de semi-perméable ($K = 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$) d'une dizaine de mètres pour que la transmissivité calculée ne représente pas la transmissivité totale de l'aquifère. Or, dans la série détritique de la formation RAS HAMIA ces niveaux semi-perméables ont une épaisseur de cet ordre ; il est donc probable qu'un test de courte durée n'intéresse pas une épaisseur d'aquifère comparable à celle d'un essai de longue durée, mais cela n'explique pas toute la différence existant entre les valeurs de la transmissivité calculée.

- Les tests à l'avancement ne bénéficient pas du développement qui précède habituellement les essais mis en oeuvre après un captage.

Il semblerait donc que seuls les résultats acquis à la suite d'essais de longue durée puissent être pris en compte. Les paramètres de ces tests sont groupés dans le tableau page 110 où apparaissent les épaisseurs maximales et minimales permettant de définir le rôle d'un semi-perméable. La perméabilité du semi-perméable a été choisie égale à $5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$, valeur calculée précédemment. Le tableau montre que :

- les niveaux semi-perméables d'épaisseur inférieure à 40-60 m que l'on rencontre dans la formation RAS HAMIA ne joueront pas le rôle d'éponte.

- les épontes des zones testées devront être recherchées dans des niveaux d'épaisseurs importantes (supérieures à 40-60 m) que l'on trouve au sommet des formations OULED CHEBBI et RAS HAMIA.

Forage	RDH 26	RDH 24	RDH 4	AZDW 2	RDH 3
Transmissivité calculée (m ² /s)	1,3x10 ⁻⁵	5,9x10 ⁻⁵	1,2x10 ⁻³	2x10 ⁻⁴	4,1x10 ⁻²
Temps de pompage (h)	27	17	120	72	72
Valeur maximale de B _M pour T _e = T _t (m)	127	215	2 580	820	> 10 000
Épaisseur maximale correspondante e _M (m)	12,5	7,8	56	33	33
Valeur minimale de B _m pour T _e = T _c (m)	402	680	8 180	2 600	> 30 000
Épaisseur minimale correspondante e _m (m)	125	78	560	330	330

Hypothèses : coefficient d'emmagasinement à court terme : 3,1 x 10⁻⁵
 perméabilité du niveau semi perméable : 5 x 10⁻⁹ m/s

Les effets du niveau sommital argileux (RDH 13) de la formation OULED CHEBBI dont le facteur de drainance est faible, 245 m (e = 30 m ; K = 5 x 10⁻⁹ m/s ; T₁ = 10⁻³ m²/s ; T₂ = 10⁻⁵ m²/s) sont négligeables au cours d'un pompage d'une durée supérieure à une dizaine d'heures. De ce fait l'éponte inférieure doit être recherchée au niveau du socle granitique rencontré au forage RDH 13.

Le niveau sommital de la formation RAS HAMIA (horizons 5 et 6) qui est caractérisé par un facteur de drainance élevé de l'ordre de 3,5 x 10³ m (e = 60 m ; K = 5 x 10⁻⁹ m/s ; T₁ = 2 x 10⁻² m²/s ; T₂ = 1 x 10⁻³ m²/s) qui lui fera jouer un rôle d'éponte pour un pompage de 72 heures.

Il apparaît donc qu'au cours d'un pompage de quelques jours l'ensemble des niveaux argilo-gréseux des formations RAS HAMIA et OULED CHEBBI sera concerné, les limites inférieures et supérieures étant le socle anté-OULED CHEBBI et le mur des argiles des horizons 5 et 6 de la formation RAS HAMIA.

Les transmissivités calculées à partir des essais de pompage représenteraient donc la valeur de la transmissivité de l'ensemble de l'aquifère RAS HAMIA-OULED CHEBBI. Les différences de valeurs de la transmissivité peuvent être dues à des variations de l'importance de la phase grossière au sein de la formation RAS HAMIA. Au niveau du forage AZDW 2, la proportion des niveaux gréseux par rapport à l'ensemble de la série est de 40 % alors qu'en RDH 4 elle est de 50 % pour atteindre 75 % au RDH 3.

II-II- 2.1.3. - Coefficient d'emmagasinement

Une seule valeur du coefficient d'emmagasinement a été calculée à partir du pompage sur le forage RDH 4 et de l'enregistrement du rabattement sur le forage T 3. Cette valeur est très faible puisqu'elle n'est que de 3,1 x 10⁻⁵. Il faut considérer cette valeur comme une valeur à court terme.

Le coefficient d'emmagasinement à long terme peut être beaucoup plus important du fait de la finesse des niveaux argileux qui peuvent être efficaces sur toute leur épaisseur.

Une approche de la valeur de ce coefficient d'emmagasinement a été faite (voir tableau page 104). Seuls les niveaux argileux apparaissant en diagraphie ont été pris en compte. On a considéré que les niveaux gréseux étaient suffisamment consolidés pour ne pas intervenir. Dans ce cas on obtient une valeur peu inférieure à 10⁻², ce qui paraît élevé. La porosité calculée à partir des diagraphies par application de la formule d'ARCHIE pour les niveaux gréseux serait de l'ordre de 11 à 18 %.

II-II- 2.2. - Caractéristiques hydrodynamiques de l'ensemble argilo-dolomitique sommital

Les horizons 5 et 6 de la formation RAS HAMIA à faciès essentiellement argileux ont été regroupés pour former un seul niveau au caractère argileux bien marqué et dont les caractéristiques physiques (électriques et nucléaires) sont très voisines de celles des niveaux argileux rencontrés au sein de l'ensemble gréso-argileux sous-jacent.

L'épaisseur totale de cet ensemble dans lequel se trouve interstratifié un niveau de calcaire dolomitique d'une dizaine de mètres est d'une soixantaine de mètres.

Le niveau calcaréo-dolomitique n'a pas été séparé de l'ensemble argileux car son caractère interstratifié lui interdit toutes possibilités de karstification et de dissolution qui auraient pu le rendre aquifère. En outre, son épaisseur totale est relativement faible comparée à celle des niveaux argileux.

	Horizon 5			Horizon 4			Horizon 3			Horizon 2			Horizon 1		
	u	m	l	u	m	l	u	m	l	u	m	l	u	m	l
RDH 17							A.T.								
RDH 5	A.T.			A.T.											
	L.D.P.T.														
RDH 36	A.T.			A.T.			A.T.			A.T.					
							A.T.			A.T.			A.T.		
									D.						
RDH 20			*	A.T.			A.T.			L.D.P.T.					
	A.T.			A.T.											
RDH 15				A.T.						L.D.P.T.					
RDH 25							L.D.P.T.								
RDH 31						*	A.T.			A.T.			L.D.P.T.		
PWH 2				*						L.D.P.T.					
PZH 1				*			L.D.P.T.								
PWH 4				*			L.D.P.T.								
PWH 5						*				L.D.P.T.					
PWH 3				*						L.D.P.T.					
RDH 24				A.T.									L.D.P.T.		
	A.T.														
RDH 32							A.T.			A.T.			A.T.		
							A.T.						L.D.P.T.		

- ★ : UNCONFORMITY
- A.T. : AQUIFER TEST
- L.D.P.T. : LONG DURATION PUMPING TEST
- P.T. : PRODUCTIVITY TEST
- D. : DEVELOPMENT
- DISCORDANCE
- TEST D'AQUIFERE
- POMPAGE DE LONGUE DUREE
- TEST DE PRODUCTION
- DEVELOPPEMENT

En fait seuls les forages RDH 13, RDH 14, RDH 24 et RDH 20 montrent des différences de cotes piézométriques au sein de la formation AL AZIZIYAH.

- Sur le forage RDH 13 on observe une différence de cotes entre les niveaux piézométriques des deux premiers tests mais le deuxième test intéresse, en même temps qu'une partie de la formation AL AZIZIYAH, une partie non négligeable de la formation RAS HAMIA et de fait, ne peut être pris comme référence.

- Le long d'une même verticale sur le site du forage RDH 14 on note entre le niveau piézométrique de l'horizon 1 (RDH 14) et celui de l'horizon 2 (RDH 14A) une différence piézométrique de 0,72 m. Le niveau supérieur peut être rattaché à un système de nappe perchée existant plus au Nord (voir chapitre III § III - IV-1.2.2).

- Sur le forage RDH 24 entre les horizons 4 et 3 testés et l'horizon 1 capté on observe une différence piézométrique de l'ordre de 2 m. Ces observations sont ponctuelles et ne sont pas confirmées par l'existence d'autres points au voisinage.

- Sur le forage RDH 20 on observe une différence de l'ordre de 40 m entre l'horizon 3 testé et l'horizon 1 capté. Cette observation est confirmée par l'existence d'un puits voisin dont le niveau piézométrique est proche de celui du niveau supérieur du RDH 20.

Ces observations ne représentent que des exceptions par rapport au grand nombre de tests qui tendent à prouver qu'il n'existe pas de différence notable de cotes piézométriques entre les différents horizons de la formation AL AZIZIYAH.

L'étude de la répartition verticale de la transmissivité ne permet pas de mettre en évidence l'existence d'une coupe-type de transmissivité ; chaque niveau pouvant afficher toute une gamme de transmissivité.

Ces faits tendent à justifier que l'on puisse aborder l'étude hydrogéologique de la formation AL AZIZIYAH dans son ensemble et indépendamment des distinctions qui ont pu être faites précédemment.

II-II- 3.2.2. - Transmissivité

La formation AL AZIZIYAH étant une alternance de niveaux argileux et de niveaux calcaires, le problème est de savoir ce que représente la transmissivité calculée par rapport à la transmissivité de l'ensemble de la formation. Il a été vu précédemment (§ II-I-2.2) que pour des niveaux très transmissifs où le contraste entre la transmissivité et la perméabilité du semi-perméable était élevé, la transmissivité calculée à partir d'un essai de 3 jours représentait la transmissivité de la zone captée. De ce fait afin de mieux approcher la valeur de la transmissivité réelle de la formation AL AZIZIYAH, on est amené à définir sur chaque forage une épaisseur utile qui, comparée à l'épaisseur testée, permet de définir un intervalle probable de valeurs de transmissivité.

CALCUL DES TRANSMISSIVITES TOTALES DE LA FORMATION AL AZIZIYAH

Forage	Transmissivité calculée	Epaisseur captée	Epaisseur utile	Transmissivité totale	
				Minimale	Maximale
RDH 1	$1,5 \times 10^{-1}$ 2×10^{-1}	61	> 350 (1)	2×10^{-1}	5×10^{-1}
RDH 2	5×10^{-2}	48	> 325 (1)	5×10^{-2}	3×10^{-1}
RDH 5	$2,5 \times 10^{-3}$	24	24 (2)	2×10^{-3}	$2,5 \times 10^{-3}$
RDH 8					
RDH 10	1×10^{-3}	40	200	1×10^{-3}	5×10^{-3}
RDH 14	1×10^{-4} (?)	47	140	1×10^{-4}	3×10^{-4}
RDH 15	$1,7 \times 10^{-2}$	212	275	2×10^{-2}	2×10^{-2}
RDH 18		37	?	5×10^{-6}	
RDH 20	$1,2 \times 10^{-2}$	50	200	1×10^{-2}	5×10^{-2}
RDH 23	5×10^{-3}	38	300	5×10^{-3}	4×10^{-2}
RDH 24	10^{-1}	120	150	10^{-1}	10^{-1}
RDH 25	$1,5 \times 10^{-3}$	179	270	2×10^{-3}	2×10^{-3}
RDH 26	$1,5 \times 10^{-5}$	50	50	2×10^{-5}	2×10^{-5}
RDH 27	5×10^{-3}	33	220	5×10^{-3}	2×10^{-2}
RDH 28	$1,1 \times 10^{-2}$	40	210	2×10^{-2}	1×10^{-1}
RDH 30	2×10^{-2}	103	270	2×10^{-2}	5×10^{-2}

Forage	Transmissivité calculée	Epaisseur captée	Epaisseur utile	Transmissivité totale	
				Minimale	Maximale
RDH 31	1×10^{-5}	52	165	-	5×10^{-2} (3)
RDH 32	$1,4 \times 10^{-3}$	150	160 (2)	1×10^{-3}	2×10^{-3}
RDH 34	$1,4 \times 10^{-3}$	50	275	2×10^{-3}	8×10^{-3}
RDH 36	$2,5 \times 10^{-3}$	47	47 (2)	2×10^{-3}	$2,5 \times 10^{-3}$
PWH 2	10^{-1}	36	170	1×10^{-1}	5×10^{-1}
PWH 3	$1,6 \times 10^{-1}$	64	175	1×10^{-1}	5×10^{-1}
PWH 4	$1,7 \times 10^{-1}$	95	180	2×10^{-1}	5×10^{-2}
PWH 5	$2,8 \times 10^{-2}$	102	180	3×10^{-2}	5×10^{-2}
PWH 6	2×10^{-2}	95	180	2×10^{-2}	4×10^{-2}
PWH 7	$6,4 \times 10^{-3}$	76	310	6×10^{-3}	5×10^{-2}
PZH 2 T 11	$1,1 \times 10^{-1}$	18	200	1×10^{-1}	5×10^{-1}
PZH 9	$2,1 \times 10^{-3}$	10	275	2×10^{-3}	2×10^{-2}
AZDW 1	$3,8 \times 10^{-2}$	62,5	350 (1)	4×10^{-2}	2×10^{-1}
AZDW 2	2×10^{-2}	60	320 (1)	2×10^{-2}	2×10^{-1}

(1) L'épaisseur utile comprend la partie saturée de la formation AL AZIZIYAH augmentée de l'épaisseur de recouvrement en contact hydraulique (voir § III-I-3.1)

(2) Ces forages captent le faciès marno-gypseux de la formation AL AZIZIYAH ; leur épaisseur utile est limitée à l'épaisseur des niveaux calcaires subsistants qui représente en général l'épaisseur de la zone captée.

(3) Voir explication dans le texte.

Ces valeurs probables de la transmissivité apparaissent sur les tableaux pages 116 et 117 ainsi que sur la planche n°20, page 157. Les transmissivités se répartissent en 3 catégories :

a) Transmissivité élevée $T_t > 5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

Dans cette catégorie on rencontre : RDH 1, RDH 2, RDH 20, RDH 24, RDH 28, RDH 30, PWH 2, PWH 3, PWH 4, PWH 5, PWH 7, PZH 1, AZDW 1, AZDW 2. Les forages de cette catégorie ont en général présenté lors de la foration des pertes de boue et des chutes d'outils attestant un développement important de la karstification. Cette remarque permet de placer dans cette catégorie le forage RDH 31 dont la faible transmissivité calculée ($10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) correspondant à la zone captée de médiocre qualité, ne tient pas compte de l'importance des pertes de boues rencontrées au-dessus de la zone de captage. Les forages de cette catégorie sont localisés dans les zones de plaine où l'on aurait eu un écoulement important permettant un développement de la karstification en particulier au débouché des wadis dans la plaine (Wadi GHAN).

b) Transmissivité moyenne $5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} < T_t < 5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

Dans cette catégorie se classent les forages suivants : RDH 5, RDH 10, RDH 15, RDH 23, RDH 25, RDH 27, RDH 32, RDH 34, RDH 36, PWH 6, PZH 9. La répartition géographique des forages de cette catégorie est aléatoire.

c) Transmissivité faible $T_t < 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

Les forages RDH 14 et RDH 26 apparaissent dans cette dernière catégorie. Au niveau du forage RDH 26, la faible transmissivité peut s'expliquer par la faible épaisseur saturée de la formation et par la proximité d'un pointement de la formation RAS HAMIA qui a pu faire écran aux écoulements et empêcher le développement d'une karstification.

Au niveau du forage RDH 14, on observe en géophysique une valeur élevée (700 Ωm) de la résistivité transversale de la formation AL AZIZIYAH traduisant un faible degré de fissuration. Cette faible valeur de la transmissivité sera étendue à toutes les zones de fortes résistivités transversales que l'on trouve dans les collines de part et d'autre de la route AL AZIZIYAH - BIR AL GHANAM.

II-II- 3.2.3. - Coefficient d'emmagasinement

Quelques valeurs du coefficient d'emmagasinement ont pu être obtenues lors des tests sur les forages T 11 (T 11, PZH 2 distants de 113,2 m) et PWH 5 (PWH 5, GW 1 distants de 297,35 m). La valeur obtenue au forage T 11 est très élevée puisqu'elle serait de 20 à 30 $\times 10^{-2}$. Au forage PWH 5 la valeur du coefficient d'emmagasinement n'est plus que de 3 $\times 10^{-2}$. Ces deux valeurs très éloignées montrent bien l'hétérogénéité de l'aquifère et démontrent l'intérêt uniquement local des valeurs qui ont été calculées.

II-II- 4. LA FORMATION ABU SHAYBAH

La formation ABU SHAYBAH a été reconnue par 21 forages (voir tableaux pages 41 et 42). Le tableau page 120 résume les tests effectués dans cette formation.

II-II- 4.1. - Unicité hydraulique

La partie basale, argileuse, définie au chapitre géologie (horizon 1) d'une quarantaine de mètres d'épaisseur a été isolée du reste de la série (voir § I-II-1.4.4.). Le reste de la série est considéré comme aquifère.

L'aquifère ABU SHAYBAH est du même type que celui défini dans le paragraphe relatif à la formation RAS HAMIA et les observations rassemblées dans le tableau page 121 nous amènent à conclure que les bancs semi-perméables d'une épaisseur inférieure à 2 m peuvent être négligés et que seuls les niveaux dont l'épaisseur dépasse une quinzaine de mètres peuvent jouer le rôle d'éponte. Ceci rejoint le fait que seuls les niveaux relativement épais sont continus. Les petits niveaux seraient lenticulaires.

TABLEAU RECAPITULATIF DES ESSAIS DE POMPAGE
DANS LA FORMATION ABU SHAYBAH

	Horizon 5			Horizon 4			Horizon 3			Horizon 2			Horizon 1		
	u	m	l	u	m	l	u	m	l	u	m	l	u	m	l
RDH 30					*										
RDH 22 PZH 7			*												
RDH 21			*												
PWH 8			*												
RDH 11															
RDH 9															
RDH 33				*											
RDH 6					*										
RDH 29			*												

*	: UNCONFORMITY	DISCORDANCE
A.T.	: AQUIFER TEST	TEST D'AQUIFERE
L.D.P.T.	: LONG DURATION PUMPING TEST	POMPAGE DE LONGUE DUREE
P.T.	: PRODUCTIVITY TEST	TEST DE PRODUCTION
D.	: DEVELOPMENT	DEVELOPPEMENT

Forage	RDH 22	RDH 21	PWH 8	RDH 29	RDH 30
Transmissivité calculée (m ² /s)	1,5x10 ⁻⁴	2,5x10 ⁻⁴	2,6x10 ⁻⁴	5,3x10 ⁻³	7,8x10 ⁻⁴
Temps de pompage (h)	72	63 h 20	72	10	11
Valeur maximum de B _M pour T _e = T _t (m)	140	170	185	310	125
Epaisseur maximale correspondante e _M (m)	1,3	1,1	1,3	≈ 0,2	≈ 0,2
Valeur minimale de B _M pour T _e = T _c (m)	445	535	580	980	395
Epaisseur minimale correspondante e _m (m)	13	11	13	18	19

Hypothèses : coefficient d'emmagasinement a court terme : 8 x 10⁻⁴
perméabilité du niveau semi-perméable : 5 x 10⁻⁹ m²/s

II-II- 4.2. - Transmissivité

Dans ces conditions les tests ont intéressé l'ensemble de l'épaisseur de la zone grés-argileuse en s'arrêtant au toit de la zone argileuse basale et on peut estimer que la transmissivité de l'ensemble aquifère de la formation ABU SHAYBAH serait de l'ordre de 5 x 10⁻³ m²/s dans l'axe du Wadi GHAN (RDH 29 : 5 x 10⁻³ m²/s) et de 10⁻⁴ à 10⁻⁵ m²/s ailleurs (RDH 30 : 7,8 x 10⁻⁴ m²/s ; RDH 21 : 2,5 x 10⁻⁴ m²/s ; RDH 22 : 3 x 10⁻⁵ m²/s ; PWH 8 : 3,5 x 10⁻⁴ m²/s).

II-II- 4.3. - Coefficient d'emmagasinement

Une valeur du coefficient d'emmagasinement a pu être obtenue dans le secteur du Wadi ABU SHAYBAH à partir du pompage sur le forage RDH 21 et de l'observation des réactions du forage PWH 8 distant de 32,38 m. Elle serait de l'ordre de 10⁻³. Le coefficient à long terme calculé par la méthode du compactage des couches compressibles a une valeur de 10⁻² (voir tableaux page 103).

II-II- 5. LES FORMATIONS DU CRETACE

Les formations du crétacé rencontrées sont la formation KIKLAH et les calcaires de la formation AIN TOBI.

II-II- 5.1. - La formation KIKLAH

Cette formation de faciès gréseux a été rencontrée sur les forages RDH 11, RDH 25 et PWH 9 qui l'ont recoupée entièrement. Cette formation se trouve dans un fossé d'effondrement entre des formations triasiques. Des essais de pompage ont été effectués sur les forages RDH 11 et PWH 9. Ces deux forages étant situés à 29,12 m l'un de l'autre RDH 11 a pu servir de piézomètre lors du pompage sur PWH 9.

L'interprétation de ces essais par différentes méthodes donne les résultats suivants :

RDH 11 JACOB : T = 4,0 x 10⁻³ m²/s (pompage)
 JACOB : T = 3,7 x 10⁻³ m²/s (remontée)

PWH 9 JACOB : T = 4,3 x 10⁻³ m²/s (pompage)
 JACOB : T = 3,2 x 10⁻³ m²/s (remontée)

RDH 11 utilisé comme piézomètre de PWH 9
WALTON : T = 2,4 x 10⁻³ m²/s
 S = 5,4 x 10⁻⁴

Point d'inflexion de HANTUSH

$$T = 2,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 7 \times 10^{-4}$$

$$B = 375 \text{ m}$$

$$K_v = 6 \times 10^{-7} \text{ m/s (perméabilité}$$

verticale du niveau argileux de 20 m d'épaisseur situé entre la formation KIKLAH et la formation ABU SHAYBAH).

On peut retenir une transmissivité moyenne de 3 x 10⁻³ m²/s et un coefficient d'emmagasinement de 5,4 x 10⁻⁴.

La porosité calculée à partir des diagraphies par application de la formule d'ARCHIE serait de 25 % au forage RDH 11.

La formation KIKLAH reposant directement sur la formation ABU SHAYBAH de faciès comparable ; la transmissivité calculée représentera la transmissivité de l'ensemble.

II-II- 5.2. - La formation AIN TOBI

Cette formation de faciès calcaire a été rencontrée sur les forages RDH 11, PWH 9 et RDH 25. Elle a fait l'objet de deux tests à partir desquels il n'a pas été possible de calculer une transmissivité. On enregistre un débit spécifique très faible.

Cette formation n'est donc pas considérée comme aquifère.

II-II- 6. LE RECOUVREMENT

Les épaisseurs importantes du recouvrement sont cantonnées dans la partie Nord de l'étude où on a été amené à définir deux types de recouvrement ; la limite entre ces deux types apparaît sur la planche n°6, page 63.

Le premier type de recouvrement voit se développer au sein d'une série essentiellement détritique grossière un niveau d'"argile verte" qui n'apparaît que dans la partie nord et ouest. Le rôle que peut jouer ce niveau argileux peut être entrevu par l'étude des pompages sur les forages RDH 19 et RDH 35. Le forage RDH 19 capte entre 171 et 207 m de profondeur un niveau calcaire et conglomératique du MIOCENE Inférieur. Le forage RDH 35 situé à 30 m du précédent capte de 61 à 138 m de profondeur deux passées sablo-graveleuses du MIOCENE Supérieur. Les deux aquifères sont séparés de 138 à 171 m par un semi-perméable argilo-sableux de résistivité apparente 20 Ωm. La faible différence de charge (0,30 m) entre les deux aquifères n'est pas significative car une certaine indépendance se manifeste entre les deux formations puisqu'un pompage sur un des puits n'entraîne pas de réaction sur l'autre. Les transmissivités calculées sont T1 = 4,7 x 10⁻³ m²/s (pour la partie supérieure : RDH 35) et T2 = 2 x 10⁻⁴ m²/s (pour la partie inférieure RDH 19). En considérant qu'il n'y a pas eu de réaction d'un puits sur l'autre au bout d'un pompage de 72 heures, on peut approcher la valeur de la perméabilité verticale du semi-perméable.

Forage	T (m ² /s)	S	t (h)	B (m)
RDH 35	T1 = 5 x 10 ⁻³	10 ⁻¹	72	230
RDH 19	T2 = 2 x 10 ⁻⁴	5 x 10 ⁻³	72	200

Les valeurs de B dans les deux cas sont très proches et permettent connaissant T1, T2 et e de calculer K qui aurait une valeur de 10⁻⁷ m/s. Cette valeur de K est relativement élevée et représente un maximum au-delà duquel on observerait une réaction entre les deux aquifères. Il n'y a pas eu de test permettant le calcul d'un coefficient d'emménagement.

Le deuxième type de recouvrement est essentiellement détritique grossier et peut être considéré comme un aquifère. Il a été testé sur le forage RDH 3 où sa transmissivité serait de 1,5 x 10⁻² m²/s.

II-III - LES NIVEAUX SEMI-PERMEABLES

L'étude des caractéristiques hydrodynamiques de la série stratigraphique de la zone d'étude a mis en évidence un certain nombre d'aquifères séparés par des niveaux semi-perméables qui sont de bas en haut :

- le niveau supérieur de la formation OULED CHEBBI,
- le niveau supérieur de la formation RAS HAMIA,
- le niveau basal de la formation ABU SHAYBAH,
- la formation AIN TOBI,
- les "argiles vertes" du MIOCENE.

II-III- 1. - LE NIVEAU SUPERIEUR DE LA FORMATION OULED CHEBBI

La formation OULED CHEBBI se termine par un niveau argileux discontinu, de faible résistivité, dont le paramètre de drainance serait de l'ordre de 245 m (voir § II-II-2.1.2). Ce niveau dans le contexte hydrogéologique où il se trouve ne peut pas jouer un rôle d'éponte pour un pompage supérieur à une dizaine d'heures dans la formation OULED CHEBBI.

Il est donc possible à l'échelle d'un pompage de durée plus longue, effectué dans la formation OULED CHEBBI de négliger ce niveau. La transmissivité calculée devrait représenter la transmissivité de l'ensemble des formations OULED CHEBBI - RAS HAMIA.

II-III- 2. - LE NIVEAU ARGILEUX SUPERIEUR DE LA FORMATION RAS HAMIA

Ce niveau a déjà été décrit dans les paragraphes II-II-2.1.2 et II-II-2.2. Pour apprécier la perméabilité verticale de ce niveau, on peut :

- a) Analyser les effets d'un pompage de part et d'autre de ce niveau argileux : au cours d'un pompage d'une centaine d'heures (Q = 4,9 l/s, Δ = 75,29 m) sur le forage RDH 4 captant les niveaux supérieurs du faciès gréso-argileux de la formation RAS HAMIA, il n'y a pas eu de réaction sur le forage PWH 6 captant la formation AL AZIZIYAH immédiatement au-dessus du niveau argileux sommital de la formation RAS HAMIA.

Les caractéristiques hydrodynamiques des niveaux captés étant connues on peut calculer une valeur maximum de la perméabilité qui serait de $1,2 \times 10^{-8}$ m/s (Formation AL AZIZIYAH : $T1 = 2 \times 10^{-2}$ m²/s ; formation RAS HAMIA : $T2 = 1,2 \times 10^{-3}$ m²/s ; $S2 = 3,1 \times 10^{-5}$, $e = 60$ m, $t = 100$ heures).

b) Comparer les caractéristiques physiques de ce niveau à celles d'autres niveaux rencontrés plus bas dans la série et dont on connaît les caractéristiques hydrodynamiques (niveau argileux séparant les zones captées sur les forages RDH 4 et T3 par exemple). Cette analyse tend à montrer que le niveau supérieur est comparable à ceux pour lesquels on a pu calculer une perméabilité verticale de 5×10^{-9} m/s (voir § II-II-2.1.1.).

c) Analyser des différences piézométriques dans un état permanent de part et d'autre de ce niveau. On note une différence de 28 m entre les piézométries observées sur les forages RDH 4 et PWH 6 de part et d'autre de ce niveau argileux (voir planche n° 10 page 127). Les différences piézométriques induites par les niveaux semi-perméables de perméabilité 5×10^{-9} m/s sont au plus de quelques mètres. Ceci permettrait de prévoir que la perméabilité verticale du niveau sommital de la formation RAS HAMIA serait inférieure à 5×10^{-9} m/s et pourrait se situer autour d'une valeur égale à 10^{-10} m/s.

Dans cette hypothèse, si l'on considère une différence de charge moyenne de 10 m, le débit de fuite de la formation RAS HAMIA vers la formation AL AZIZIYAH serait de l'ordre de 2×10^{-5} m³/s par km² ($Q = K s i$ avec $K = 10^{-10}$ m/s, $s = 10^6$ m²; $i = 10/60$).

II-III- 3. LE NIVEAU ARGILEUX BASAL DE LA FORMATION ABU SHAYBAH

Ce niveau a été décrit dans les paragraphes I-II-1.4.4 et II.II-4.2. Au cours d'un essai de 117 heures sur le forage RDH 25 captant la formation AL AZIZIYAH on n'a pas enregistré d'effet sur le forage RDH 11 captant l'ensemble KIKLAH - ABU SHAYBAH ce qui implique que la perméabilité de ce niveau argileux doit avoir une valeur inférieure à 8×10^{-8} m/s (valeur maximum avec $T = 1,5 \times 10^{-3}$ m²/s, $s = 10^{-3}$, $t = 117$ heures, $e = 40$ m). Cette valeur paraît élevée pour un niveau dont les caractéristiques physiques (électriques, nucléaires) sont proches de celles observées sur les niveaux argileux de la formation RAS HAMIA. Il est donc probable que la perméabilité du niveau basal de la formation ABU SHAYBAH soit du même ordre de grandeur. On retiendra donc pour la suite la valeur de 5×10^{-10} m/s.






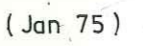

Planche n° 10

COMPARAISON ENTRE LES NIVEAUX
PIEZOMETRIQUES DE LA FORMATION
RAS HAMIA ET CEUX DE LA FORMATION
AL AZIZIYAH

- LEGENDE -

- Puits
- ✦ Forage non artésien
- ✦ Forage artésien
- Source
- Num du puits
- Numéro du puits dans le système WRI (Water Resources Inventory)

Le point d'eau 20 appartient à la carte au 1/50 000 1959 I, son numéro dans le système WRI est 583 1/22

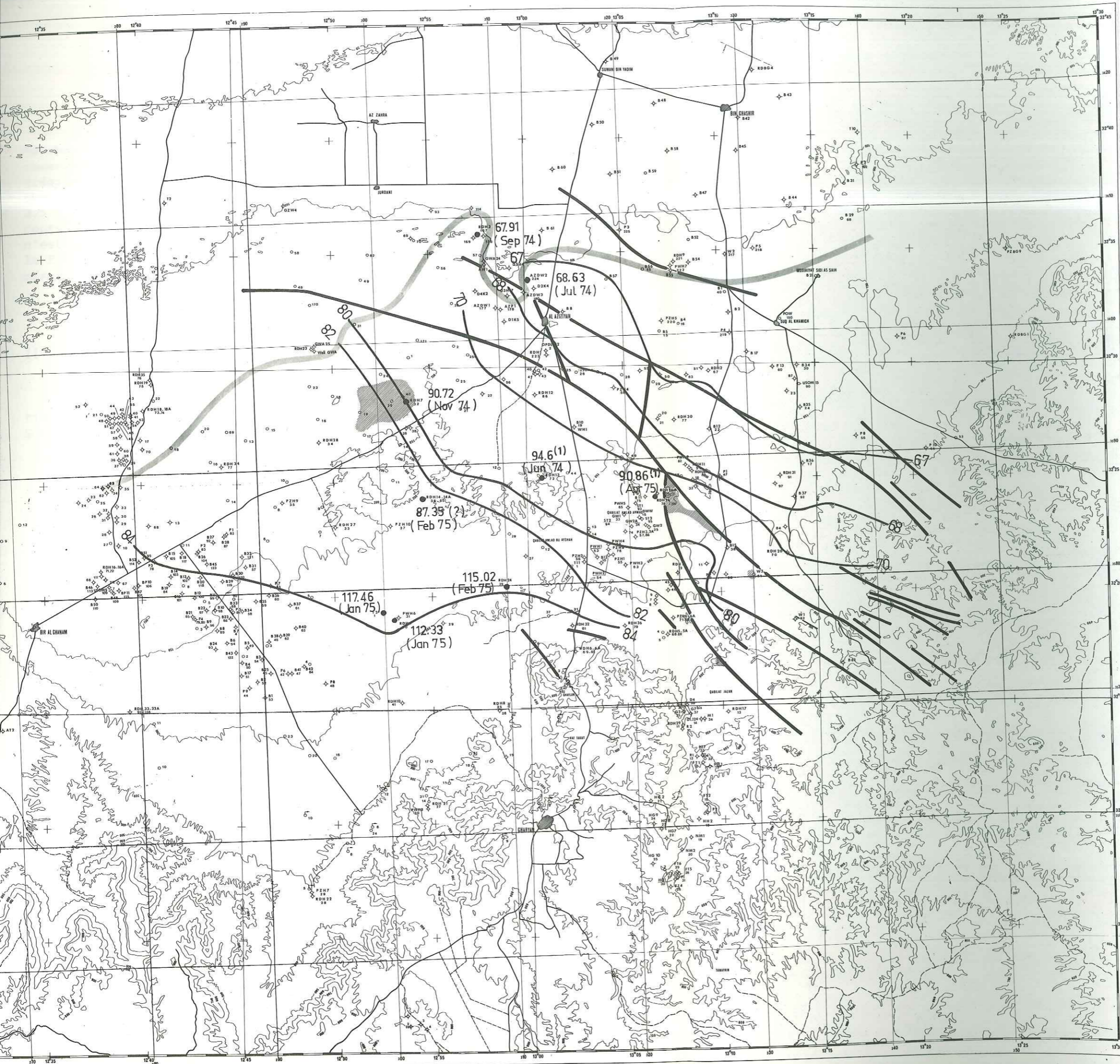
-  Limite sud d'extension des "argiles vertes"
-  Pointements de la formation RAS HAMIA dans le réservoir
-  - Faille
-  - 80 -
Courbe piézométrique dans la formation AL AZIZIYAH
-  90.96
Niveau piézométrique dans la formation RAS HAMIA
-  (Jan 75)
Date de la mesure
-  (1)
Niveau théorique obtenu en fin de remontée



Assemblage des cartes au 1/50 000

1870 III	1870 II	1870 I	1870 IV	1870 V
1871 III	1871 II	1871 I	1871 IV	1871 V
1872 III	1872 II	1872 I	1872 IV	1872 V
1873 III	1873 II	1873 I	1873 IV	1873 V

Equidistance des courbes : 100 mètres sauf en plaine 50 mètres



En fonction de la répartition géographique des différences de charges entre la formation AL AZIZIYAH et la formation ABU SHAYBAH, on observera des débits de fuite différents. Ainsi dans la zone du forage RDH 8 (région du Wadi ABU SHAYBAH) et dans le cours amont du Wadi AL HAY où l'on observe un gradient de 0,5, le débit de fuite serait de l'ordre de $2,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ($K = 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$; $i = 20/40$; $s = 10^6 \text{ m}^2$). Dans le cours aval du Wadi AL HAY et aux environs de BIR AL GHANAM, où le gradient n'est plus que de 0,1, le débit de fuite de la formation ABU SHAYBAH vers la formation AL AZIZIYAH n'est plus que de $5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ($K = 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$; $i = 4/40$; $s = 10^6 \text{ m}^2$).

II-III- 4. LA FORMATION AIN TOBI

Dans la zone d'étude les deux tests mis en oeuvre dans cette formation amènent à considérer cette formation comme relativement peu perméable. Son extension est toutefois limitée.

II-III- 5. LES "ARGILES VERTES" DU MIOCENE

Nous avons vu précédemment que la perméabilité maximum K du niveau semi-perméable était de l'ordre de 10^{-7} m/s (§ II-II-6.). La valeur réelle devrait être sensiblement plus faible. C'est ce que montre d'autres études réalisées plus au Nord. Une valeur de 5×10^{-9} à 10^{-10} m/s sera attribuée à ce niveau. Son existence détermine le passage d'un système monocouche à un système bicouche. Sa situation géographique le long de la limite nord de l'étude fait qu'il n'intéresse pas directement celle-ci.

II-IV - CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons pu calculer les paramètres hydrodynamiques des différentes formations géologiques. On peut ainsi voir quelles sont les meilleures formations à ce point de vue ; ceci fournissant des renseignements très importants en vue d'une exploitation future. Si on classe les formations en 3 catégories, on peut dire que la formation AL AZIZIYAH a de bonnes caractéristiques dans sa partie carbonatée, que les formations ABU SHAYBAH et RAS HAMIA sont moyennes et que la partie marneuse de la formation AL AZIZIYAH est mauvaise ainsi que la formation OULED CHEBBI.

L'étude des caractéristiques hydrodynamiques des niveaux semi-perméables d'épaisseur supérieure à une trentaine de mètres montre qu'il n'a pas été possible, au cours des divers essais de pompage de longue durée, de mettre en évidence des phénomènes de drainance pour des niveaux de cette épaisseur.

De ce fait, les valeurs de perméabilité sont des valeurs maximales qui restent dans une gamme allant de 10^{-7} à 5×10^{-9} m/s.

Si l'on admettait des valeurs de perméabilité plus faibles, de l'ordre de 10^{-9} à 5×10^{-10} m/s, cela reviendrait à considérer que les niveaux sont totalement imperméables et que les formations aquifères sont indépendantes dans la mesure où il n'existe pas de contacts latéraux.

Mais le jeu de la tectonique, de l'érosion et de la sédimentation a sensiblement modifié les conditions de gisement initiales et nous conduit à la définition des réservoirs qui pourront regrouper plusieurs formations aquifères.

CHAPITRE III

ETUDE DES EAUX SOUTERRAINES

Dans ce chapitre nous verrons les relations entre la stratigraphie et la structure dans le but de définir des réservoirs et les liaisons qui existent entre ceux-ci.

Ensuite nous étudierons les écoulements qui se produisent à l'intérieur de ce système.

III-I- ETUDE DES RESERVOIRS

III-I- 1. RAPPELS DE STRATIGRAPHIE

En prenant comme critères la perméabilité ou l'imperméabilité des différentes formations, nous pouvons schématiser la coupe lithostratigraphique comme le montre la planche page 134. On peut considérer comme susceptibles d'être aquifères les formations OULED CHEBBI, RAS HAMIA, AL AZIZIYAH dans sa partie carbonatée, ABU SHAYBAH, KIKLAH et le recouvrement. Seront imperméables le niveau supérieur de la formation RAS HAMIA, la formation AL AZIZIYAH dans sa partie marneuse et gypseuse, le niveau inférieur de la formation ABU SHAYBAH, la formation AIN TOBI et les "argiles vertes" du MIOCENE Moyen.

Les coupes planches 13-14-15 pages 137-138-139 ont d'ailleurs été habillées suivant cette décomposition. Les niveaux semi-perméables sont figurés par des hachures. La formation AL AZIZIYAH est décomposée en horizons ; quand ce découpage n'apparaît pas, nous sommes dans la partie peu perméable de la formation. Sur ces coupes figurent également les différents niveaux piézométriques rencontrés. Celui correspondant à la formation AL AZIZIYAH est en trait plein, les autres (quaternaire ou formation ABU SHAYBAH) en pointillés.

III-I- 2. STRUCTURES ET LIMITES

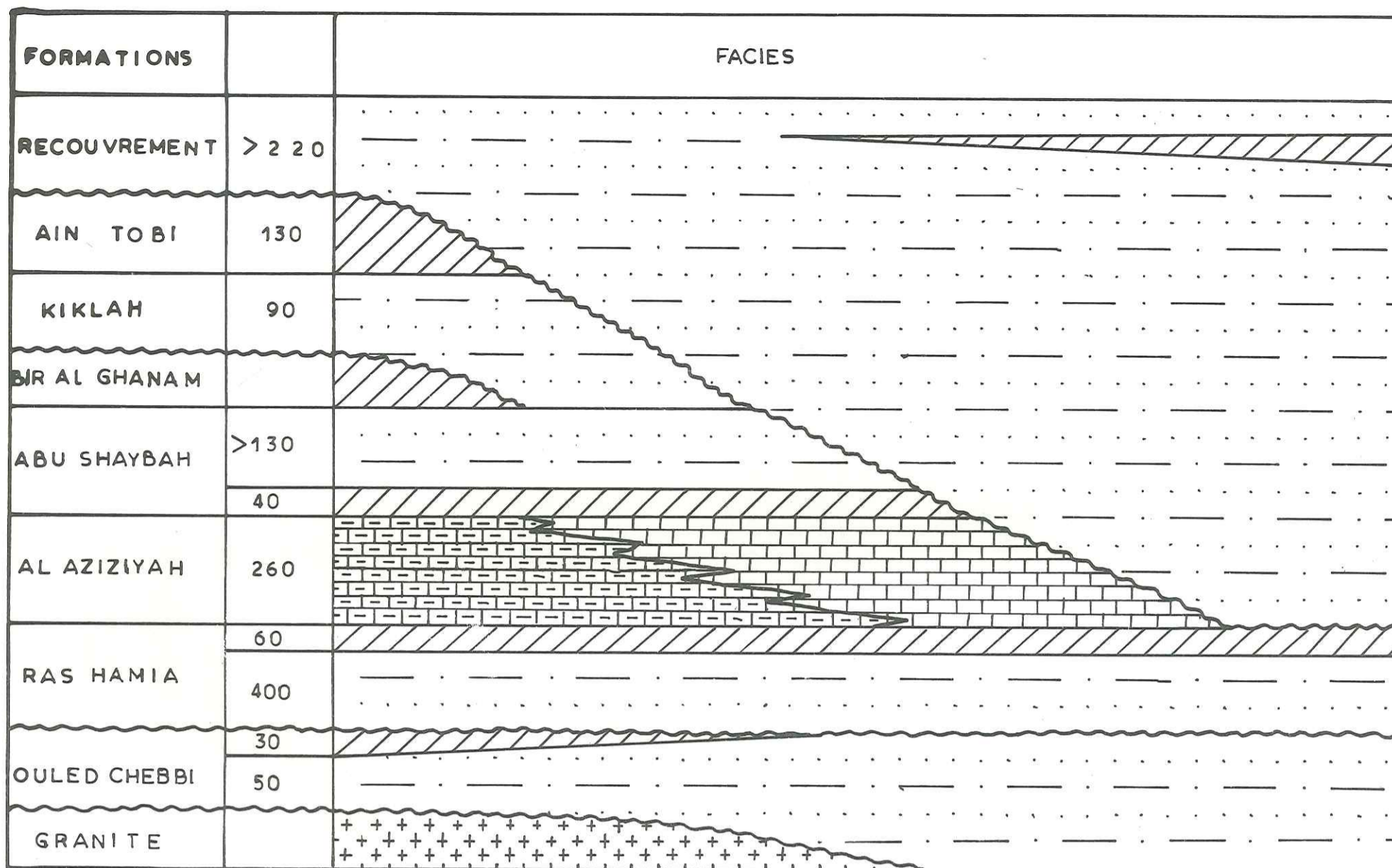
La schématisation proposée dans le paragraphe précédent permet de pressentir le rôle hydrogéologique des ensembles structuraux définis dans le chapitre Géologie. Cette structure se voit sur le schéma lithostratigraphique (planche 9 page 71).

Ensemble 1 : Cette unité couvre la zone du Jebel. Dans cette unité la formation RAS HAMIA n'a pas été reconnue. La formation AL AZIZIYAH est à prédominance argileuse et gypseuse ; seules peuvent être aquifères :

- . la formation ABU SHAYBAH,
- . les formations du Recouvrement (QUATERNAIRE).

Ensemble 2 : Cette unité s'étend dans la plaine du pied du Jebel . à la faille D3. Dans cette unité affleure largement la formation AL AZIZIYAH sous son faciès dolomitique.

Au Sud et à l'Ouest de la limite d'érosion totale de la formation ABU SHAYBAH (piedmont du Jebel secteur du Wadi AL HAY) la formation AL AZIZIYAH disparaît sous la formation ABU SHAYBAH et les formations du recouvrement qui sont aquifères.



COUCHES

Roches sédimentaires

COUCHES

Roches détritiques

IMPERMEABLES

Roches intrusives

PERMEABLES

Roches calcaires

Planche n° 12

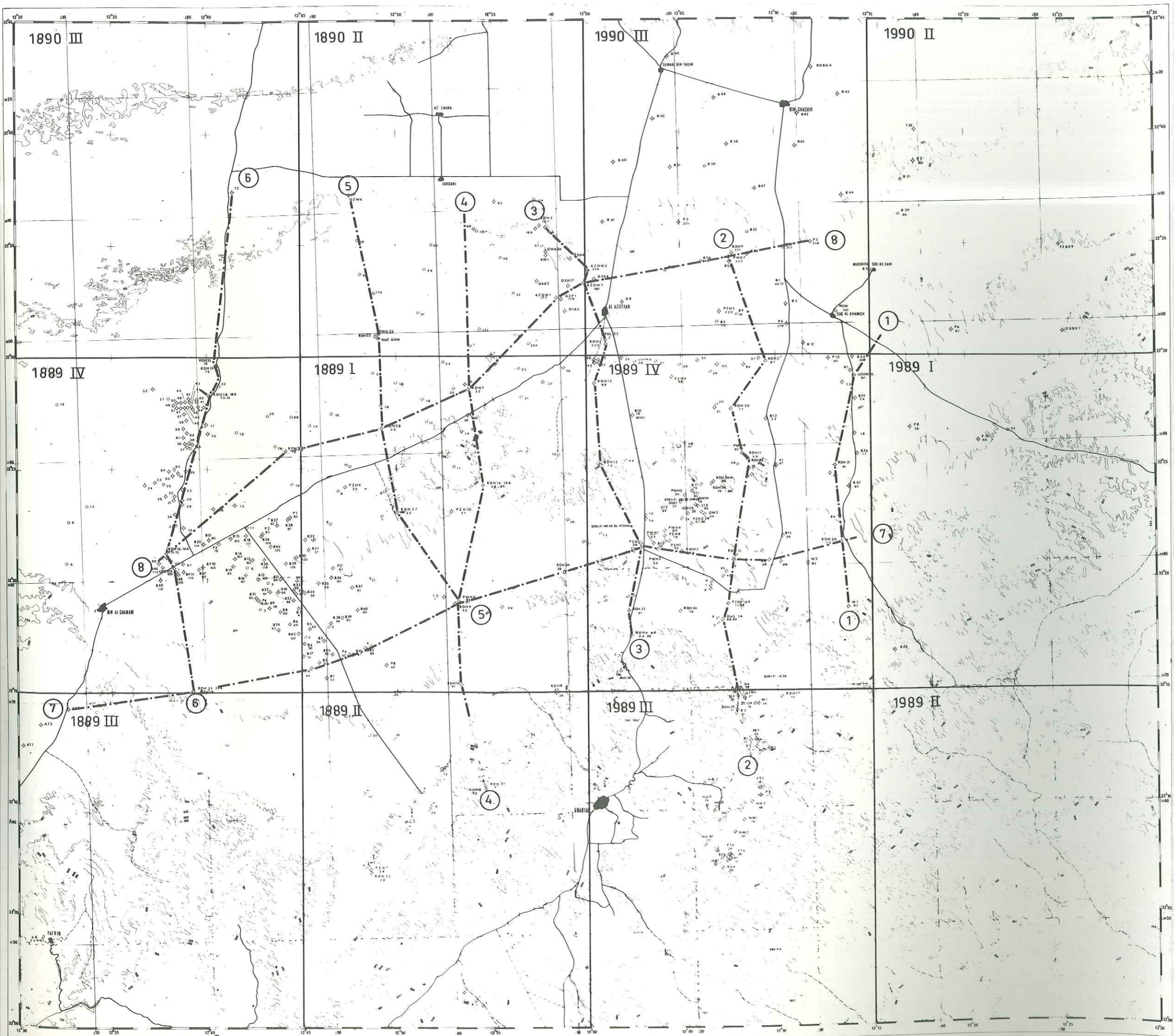
LOCALISATION DES COUPES
HYDROGEOLOGIQUES

— LEGENDE —

- Puits
 - ◇ Forage non artésien
 - ◇ Forage artésien
 - ⊕ Source
 - ◇ Nom du puits
 - 32 Nombre du puits dans le système WRI (Water Resources Inventory)
- Le point d'eau 32 appartient à la carte au 1:50 000 1889 I, son numéro dans le système WRI sera WRI 132



Échelle 1:50 000



SUD

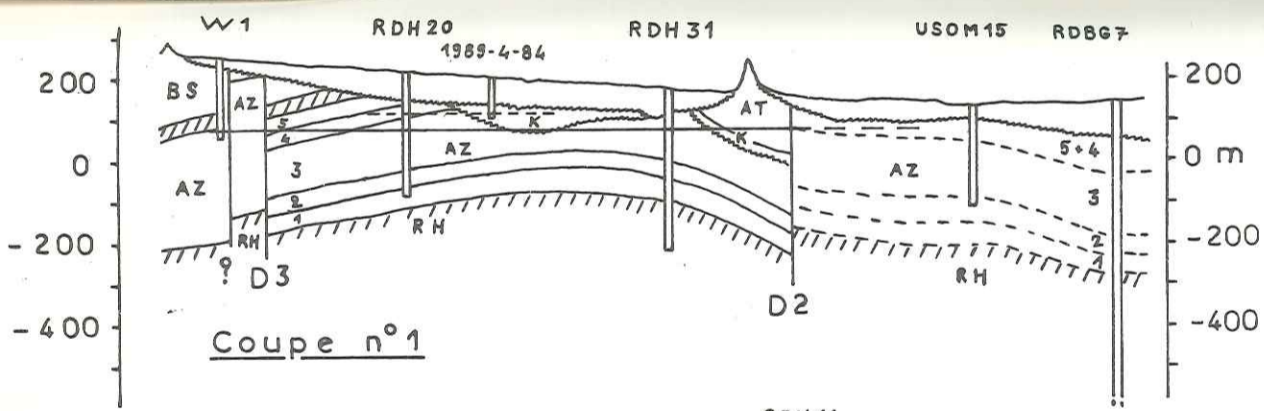
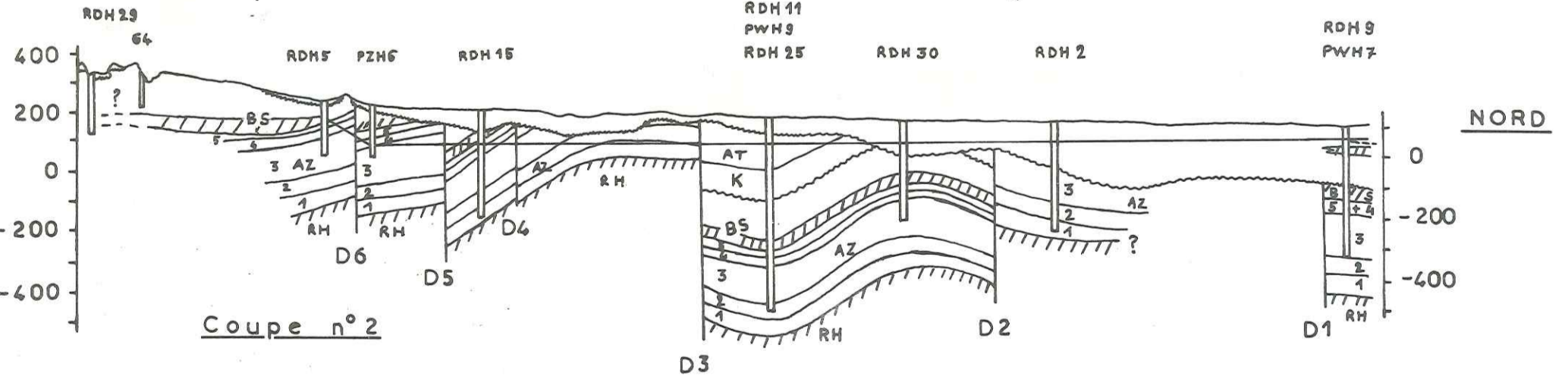


Planche n° 13

Niveau semi-perméable



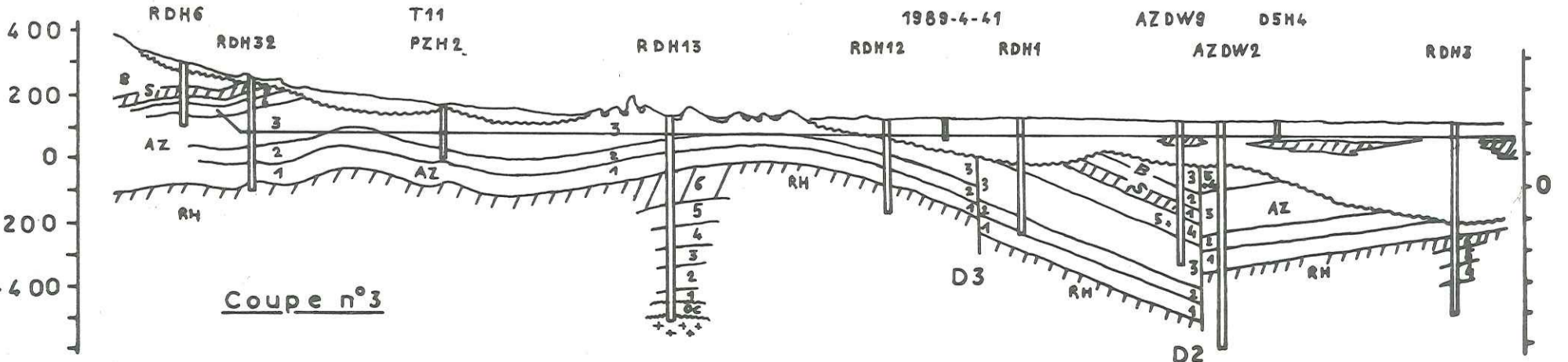
RDH29



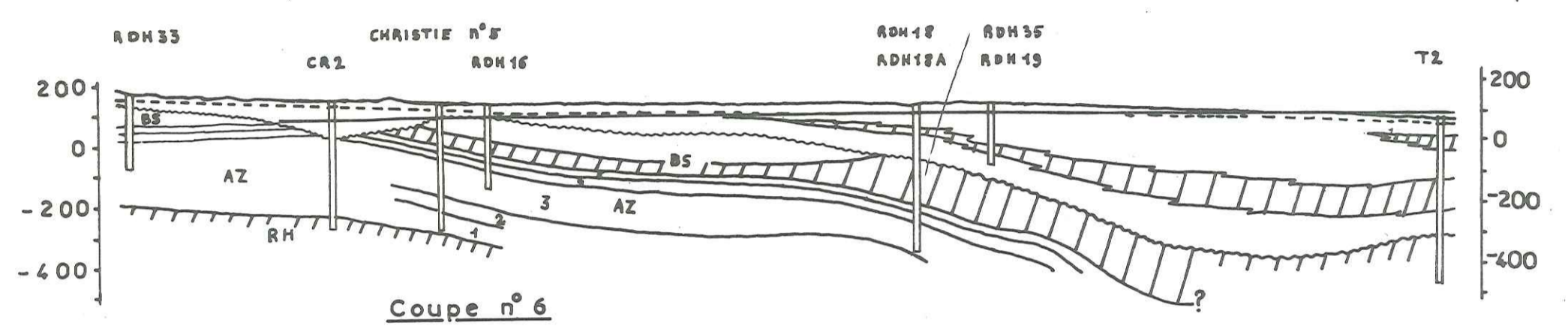
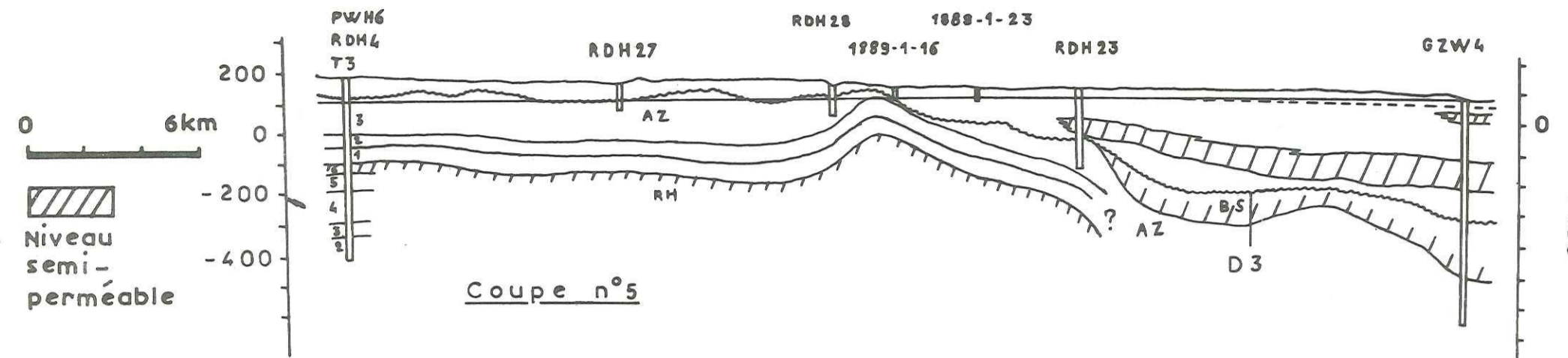
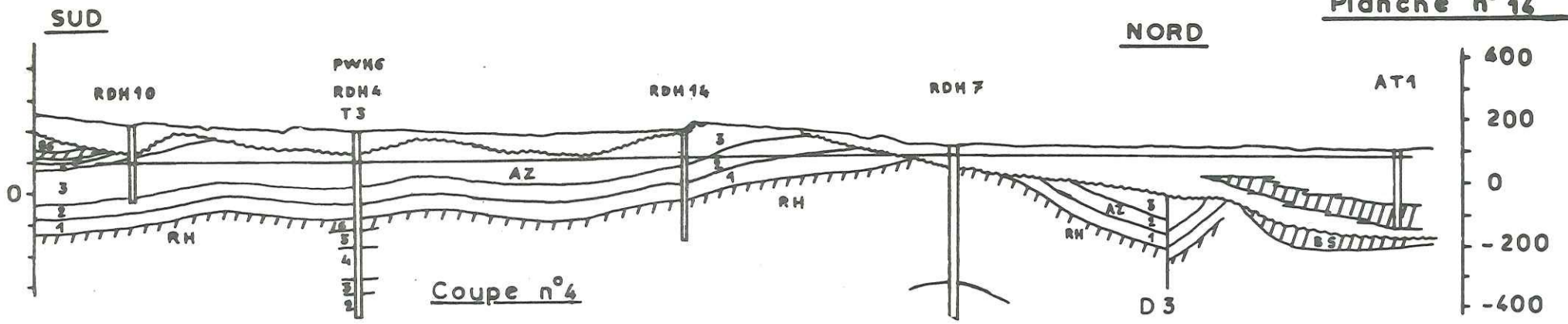
NORD

Coupe n°2

D3

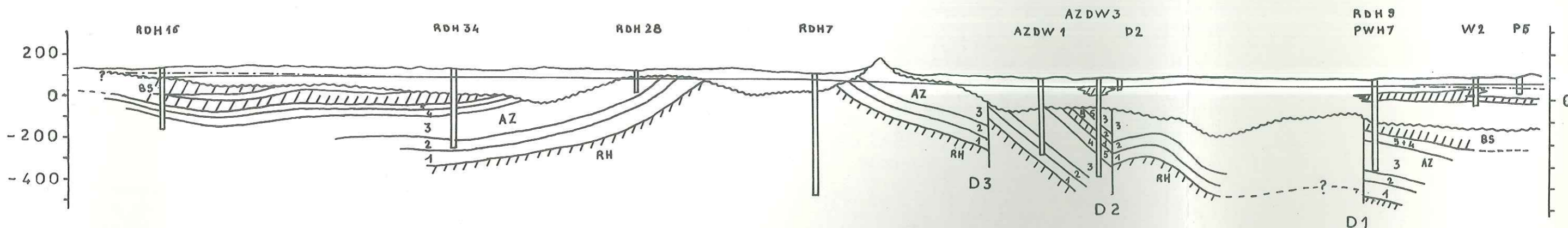


Coupe n°3

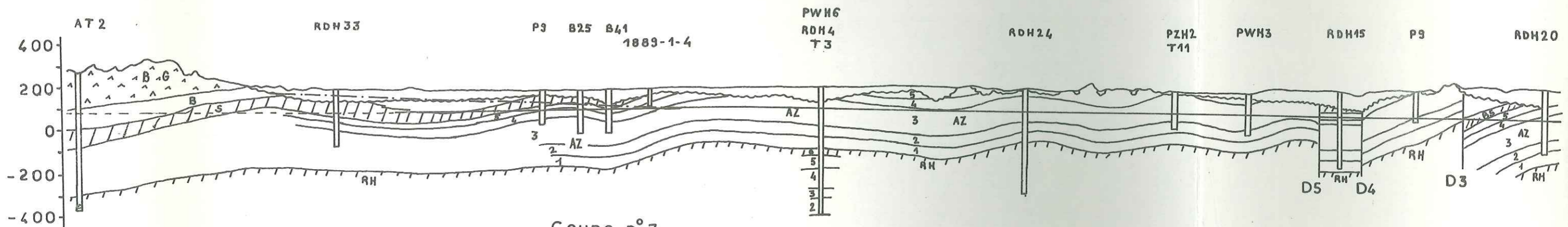


OUEST

EST



Coupe n° 8



Coupe n° 7

LEGENDE COMMUNE A TOUTES LES COUPES


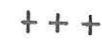





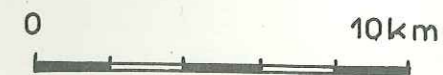
-  Niveau semi-perméable
-  Granite
-  Formation OULED CHEBBI
-  Formation RAS HAMIA (6 horizons)
-  Formation AL AZIZIYAH (5 horizons)
-  Formation ABU SHAYBAH (5 horizons)
-  Formation BIR AI GHANAM
-  Formation KIKLAH
-  Formation AIN TOBI

Planche n° 15



A l'Est et au Nord de cette limite, la formation AL AZIZIYAH est directement recouverte par les formations dites du recouvrement qui sont sèches jusqu'au niveau de la route BIR AL GHANAM - AL AZIZIYAH (voir planche n° 19 page 155) où elles deviennent saturées.

A l'Est à la faveur d'une faille, on observe un pointement de la formation RAS HAMIA. Au niveau de ce pointement, on observe évidemment une diminution du nombre et de l'épaisseur des aquifères potentiels ; seuls subsistent les aquifères des formations OULED CHEBBI et RAS HAMIA.

Au Nord on observe une remontée de la formation RAS HAMIA due à une remontée du socle. Ceci entraîne (voir coupes 3 et 4) une diminution de l'aquifère potentiel AL AZIZIYAH.

Ensemble 3 : Cette unité comprise entre les failles parallèles D2 et D3 est un compartiment effondré bordé de part et d'autre par la formation AL AZIZIYAH.

Dans sa partie Nord-Ouest, le compartiment effondré est constitué par la formation AL AZIZIYAH et cette unité ne jouera pas de rôle hydraulique particulier.

Dans sa partie Sud-Est, il est constitué par les formations moins perméables du CRETACE. Comme le montrent les coupes 1 et 2, on voit que ces formations sont de faible étendue et n'entravent que peu un écoulement possible de la formation AL AZIZIYAH. En profondeur se pose le problème du contact entre la formation RAS HAMIA et les formations AL AZIZIYAH, ABU SHAYBAH et CRETACEES (voir coupe 2). On peut considérer que les eaux de la formation RAS HAMIA qui passent dans la formation AL AZIZIYAH sont isolées des eaux supérieures par le niveau inférieur imperméable de la formation ABU SHAYBAH. Celles qui passent dans les formations ABU SHAYBAH et KIKLAH se heurtent à la structure anticlinale qui remonte le niveau imperméable basal de la formation ABU SHAYBAH au Nord du compartiment effondré.

On voit donc que cette unité est traversée comme l'unité 2 par deux ensembles aquifères.

Ensemble 4 : Au Nord de la faille D2 on retrouve la formation AL AZIZIYAH qui s'enfonce de plus en plus vers le Nord sous le recouvrement tertiaire.

Les unités 2, 3 et 4 sont regroupées en biais par la limite d'extension des "argiles vertes" (coupes 4, 5 et 6 et schéma lithostratigraphique) qui a permis de définir deux régions suivant le type de recouvrement. Au Nord de cette limite le recouvrement peut être divisé en plusieurs niveaux aquifères. Au Sud le recouvrement forme un seul aquifère qui le plus souvent pourra être assimilé à l'aquifère sous-jacent.

III-I- 3. DEFINITION DES RESERVOIRS

Nous venons de voir que la structure n'a qu'une influence limitée au point de vue hydrogéologique et à la place d'ensembles structuraux, nous allons définir des ensembles hydrogéologiques et des réservoirs indépendants de la structure.

III-I- 3.1. - Ensembles hydrogéologiques

Nous allons nous servir des différentes limites définies précédemment. Ce sont du Sud au Nord :

- la limite d'extension de la formation AL AZIZIYAH aquifère ;
(limite 1)
- la limite d'érosion totale de la formation ABU SHAYBAH ;
(limite 2)
- la limite Nord du recouvrement non saturé ;
(limite 3)
- la limite d'extension des "argiles vertes" du MIOCENE Moyen ;
(limite 4).

Ceci nous permet de définir 5 ensembles :

Ensemble 1 : Il se situe au Sud de la limite 1. Seules sont aquifères les formations ABU SHAYBAH et du recouvrement.

Ensemble 2 : Il est compris entre les limites 1 et 2. Sont aquifères les formations AL AZIZIYAH et ABU SHAYBAH (et le recouvrement dans la partie Nord-Ouest).

Ensemble 3 : Il est compris entre les limites 2 et 3. Est aquifère la formation AL AZIZIYAH surmontée par le recouvrement sec.

Ensemble 4 : Il est compris entre les limites 3 et 4. Sont aquifères la formation AL AZIZIYAH et le recouvrement réunis en une seule formation hydrogéologique.

Ensemble 5 : Il est situé au Nord de la limite 4. Sont aquifères le recouvrement divisé en deux parties (une supérieure formée du recouvrement quaternaire, une inférieure formée par le Tertiaire et la formation ABU SHAYBAH) et la formation AL AZIZIYAH.

Planche n° 16

CARTE DES ENSEMBLES
HYDROGEOLOGIQUES

LEGENDE

- Puits
 - ◇ Forage non artésien
 - ⊕ Forage artésien
 - ⊙ Source
 - ◇ Nom du puits
 - ⊕ Nombre de puits dans le système WRS (Water Resources Strategy)
- Le point d'eau 32 appartient à la carte au 1:50 000, 1889 I, son numéro dans le système WRS sera 889 132

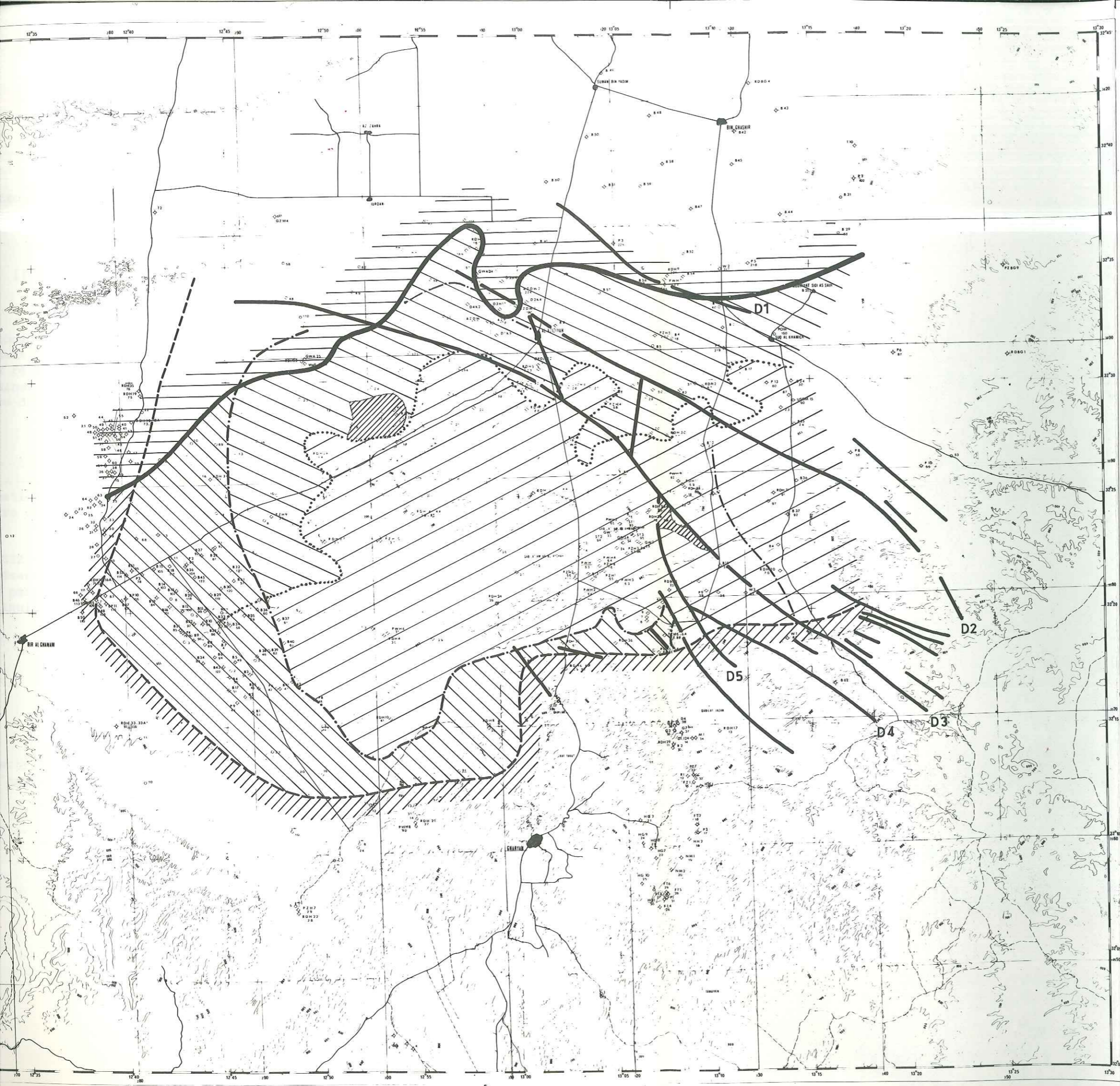
- Limite sud d'extension des "argiles vertes"
- · - · - Limite d'érosion totale de la formation ABU SHAYBAH
- - - - Limite d'extension de la formation AL AZIZIYAH aquifère
- · · · · Limite d'extension du recouvrement saturé
- Faille
- ▨ Ensemble 1
- ▧ Ensemble 2
- ▩ Ensemble 3
- Ensemble 4
- Ensemble 5
- ▨ Pointement de la formation RAS-HAMIA dans le réservoir



Assemblage des cartes au 1:50 000

12°45'	12°45'	12°45'	12°45'	12°45'	12°45'
1890 III	1890 II	1890 III	1890 II	1890 III	1890 II
12°30'					
12°15'	1889 IV	1889 I	1889 IV	1889 I	1889 IV
12°00'	1889 III	1889 II	1889 III	1889 II	1889 III
12°00'	12°45'	12°30'	12°15'	12°00'	12°00'

Équivalence des courbes 100 mètres sur un plan 50 mètres



Ces 5 ensembles sont figurés sur la planche n° 16 page 143.

Il est entendu que l'on postule que sous toutes la zone d'étude se trouvent les formations aquifères OULED CHEBBI et RAS HAMIA.

III-I- 3.2. - Définition des réservoirs

Si l'on fait une coupe Nord-Sud de la carte des ensembles hydro-géologiques on peut obtenir le schéma figurant sur la planche n° 17 page 146. On peut distinguer sur cette coupe schématique plusieurs réservoirs. On appellera réservoir un ensemble d'aquifères de caractéristiques hydrodynamiques voisines (ou progressivement variables) où un écoulement est susceptible de se développer.

On distingue :

- Un premier réservoir constitué par les niveaux aquifères des formations OULED CHEBBI et RAS HAMIA qui est isolé des réservoirs supérieurs par le niveau sommital argileux de la formation RAS HAMIA.

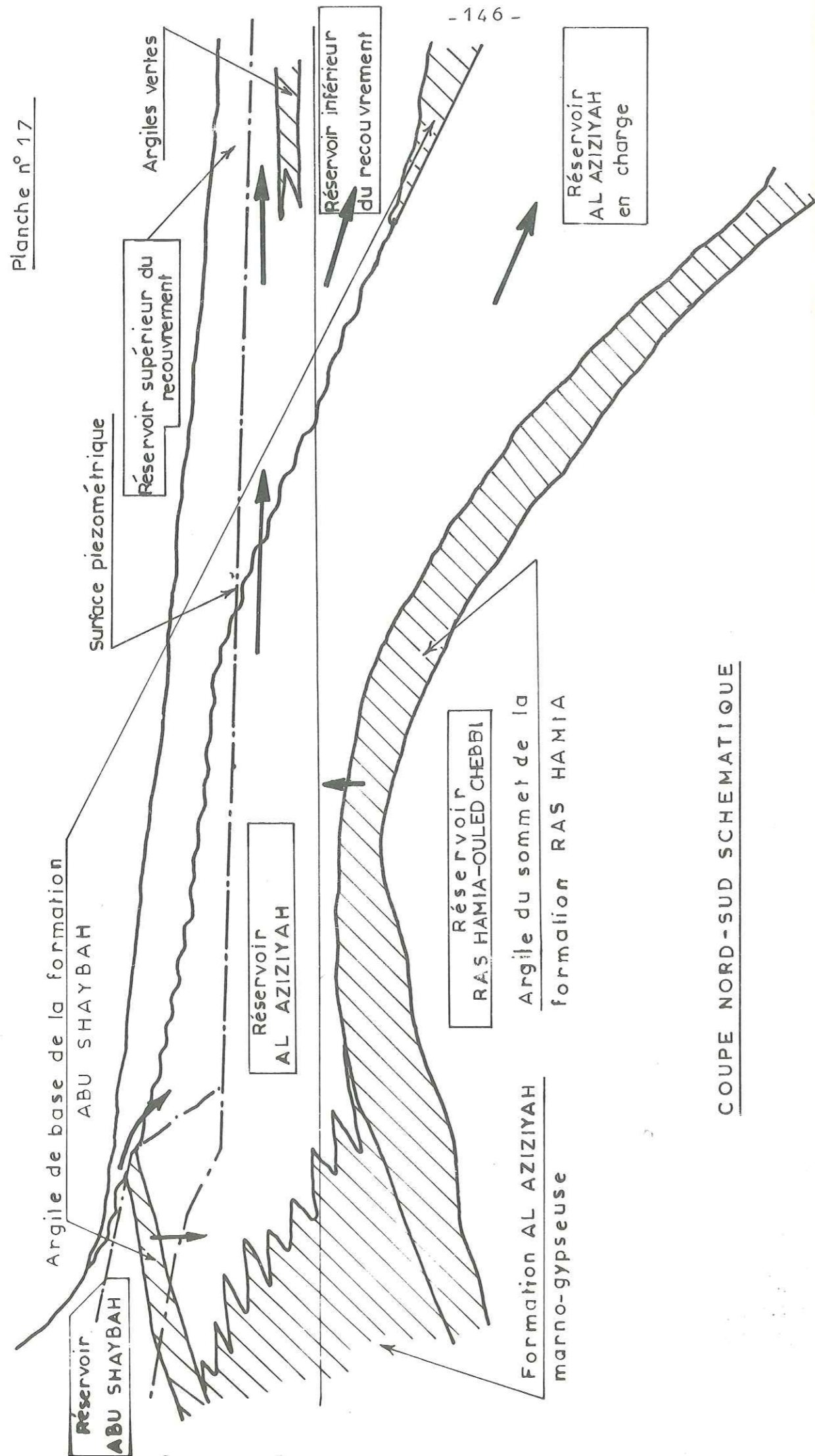
- Un second réservoir constitué par les aquifères de la formation AL AZIZIYAH et le niveau du recouvrement en continuité hydraulique avec elle. Ce réservoir reçoit au sud les écoulements des eaux du réservoir ABU SHAYBAH (par percolation verticale et par déversement) et alimente au Nord en continuité hydraulique trois réservoirs :

- . un réservoir AL AZIZIYAH en charge,
- . un réservoir recouvrement inférieur,
- . un réservoir recouvrement supérieur.

Ce système hétérogène sera appelé le réservoir supérieur.

Le réservoir OULED CHEBBI - RAS HAMIA sera traité indépendamment des autres qui, ayant de nombreuses relations latérales, apparaîtront de l'amont vers l'aval.

Planche n° 17



COUPE NORD-SUD SCHEMATIQUE

III-II - LE RESERVOIR OULED CHEBBI - RAS HAMIA

III-II- 1. DEFINITION

Les formations OULED CHEBBI et RAS HAMIA constituent un même réservoir comme cela a été démontré au § II-III- 1.

III-II- 2. LIMITE VERTICALE ET EXTENSION GEOGRAPHIQUE

La limite supérieure est marquée par l'apparition du niveau argileux supérieur de la formation RAS HAMIA d'une soixantaine de mètres d'épaisseur.

La limite inférieure n'a pu être atteinte que sur le forage RDH 13 où elle est marquée par l'apparition du socle granitique.

Le réservoir OULED CHEBBI - RAS HAMIA existerait sous l'ensemble de la zone d'étude. Il a été retrouvé au Nord dans la région de BIN GHASHIR avec des caractéristiques identiques.

III-II- 3. MORPHOLOGIE ET FACIES

Le faciès du réservoir OULED CHEBBI - RAS HAMIA est essentiellement détritique et est formé par une succession d'alternances de niveaux argileux et de niveaux gréseux. Parfois, il est perturbé par des intercalations rhyolitiques (RDH 7). On observe une augmentation de la phase gréseuse vers le Nord (RDH 3).

L'épaisseur totale des faciès argilo-gréseux des formations RAS HAMIA et OULED CHEBBI est de 466 m au forage RDH 13, à l'Ouest de la route de GHARYAN - AL AZIZIYAH. Elle dépasse 600 m au forage RDH 26 à l'Est de la route (voir planche n° 18 page 149).

L'épaisseur utile déduction faite des niveaux argileux est de l'ordre de 220 m au forage RDH 13 et dépasserait 300 m au forage RDH 26.

La comparaison entre les épaisseurs totales et les épaisseurs utiles montre que schématiquement l'épaisseur utile est en général de l'ordre de 50 % de l'épaisseur totale sauf au forage RDH 3 où elle est de l'ordre de 75 %.

III-II- 4. CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

Les caractéristiques hydrodynamiques ont été évoquées aux paragraphes II-II- 1, et II-II- 2. On peut les résumer comme suit :

- Transmissivité totale :
 - 1 x 10⁻³ m²/s au Sud du parallèle de AL AZIZIYAH
 - 1 x 10⁻² m²/s au Nord du parallèle de AL AZIZIYAH
- Coefficient d'emmagasinement calculé :
2 x 10⁻³
- Coefficient d'emmagasinement estimé à long terme :
≈ 10⁻²

III-II- 5. PIEZOMETRIE - RELATION AVEC LES AUTRES RESERVOIRS

On constate que la charge hydraulique augmente avec la profondeur des différents niveaux gréseux au sein du réservoir. De ce fait le niveau capté n'étant pas toujours le même, on se trouve dans l'impossibilité :

- de tracer une carte piézométrique montrant les écoulements, donc de calculer les entrées et les sorties. Cependant comme le montre la planche n° 10 page 127 les niveaux piézométriques observés sont décroissants du Sud vers le Nord. Il y aurait donc grossièrement un écoulement du Sud vers le Nord ;

- de déterminer avec précision les différences de charge de part et d'autre de l'éponte séparant ce réservoir du réservoir AL AZIZIYAH sus-jacent. La carte de la planche n° 10 page 127 donne une estimation de ces différences de charge :




- . une trentaine de mètres au Sud de la zone d'étude (RDH 24, RDH 6) ;
- . une vingtaine de mètres au centre (RDH 13; RDH 26) ;
- . entre une dizaine de mètres et zéro mètre au Nord à la latitude de AL AZIZIYAH (RDH 7, AZDW 2).

Planche n° 18

RESERVOIR OULED CHEBBI - RAS HAMIA:
EPAISSEUR - TRANSMISSIVITE

- LEGENDE -

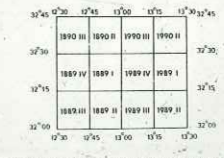
- Puits
 - ◇ Forage non artésien
 - ⊕ Forage artésien
 - ⊙ Source
 - ⊕ Nom du puits
 - Numero de puits dans le système WRI (Water Resources Inventory)
- Le point d'axe 20 appartenant à la carte Au 1:50 000 1693 I, son numéro dans le système WRI sera 109 132

-  Limite sud d'extension des "argiles vertes"
-  Pointement de la formation RAS HAMIA dans le réservoir
-  Faille
- | |
|----------------------|
| >195 |
| >100 |
| 0.51 |
| ≈ 1x10 ⁻³ |

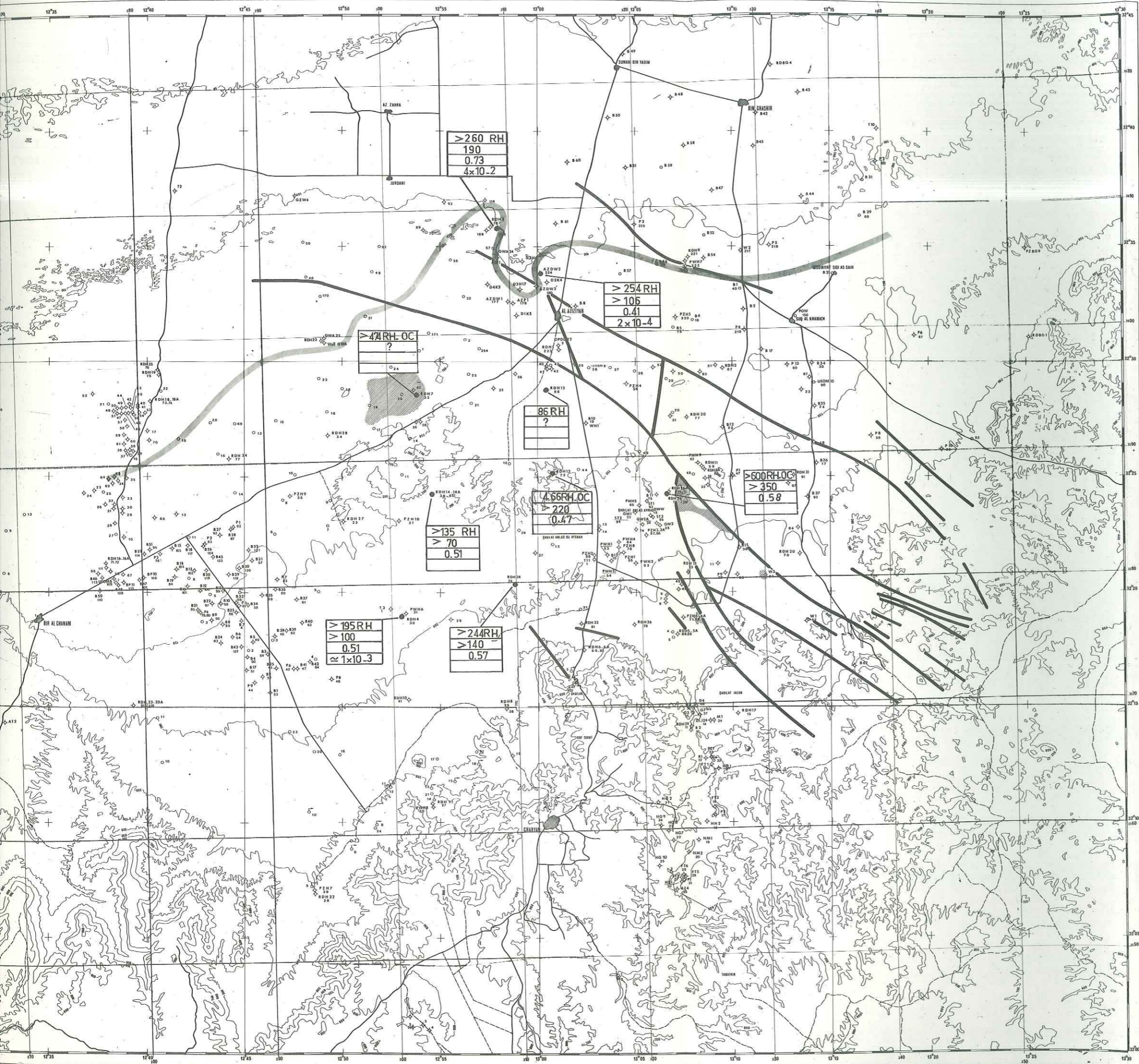
 - Epaisseur totale traversée
 - Epaisseur utile
 - Epaisseur utile / Epaisseur totale
 - Transmissivité



Assemblage des cartes au 1:50 000



Equidistance des courbes : 100 mètres sur un plan 50 mètres



D'après les données du § II-III-2 le débit de fuite par percolation verticale à travers l'éponte constituée par les argiles sommitales de la formation RAS HAMIA ($K = 10^{-10}$ m/s, $e = 60$ m) peut être estimé à (voir planche n° 10 page 127) :

- au Sud : 5×10^{-5} m³/s/km²
($K = 10^{-10}$ m/s, $s = 10^6$ m², $i = \frac{30}{60}$)
- au Centre : 3×10^{-5} m³/s/km²
($K = 10^{-10}$ m/s, $s = 10^6$ m², $i = \frac{20}{60}$)
- au Nord : $\approx 10^{-5}$ m³/s/km²
($K = 10^{-10}$ m/s, $s = 10^6$ m², $i = \frac{5}{60}$)

Les entrées et les sorties horizontales ne sont pas connues. Un léger débit de fuite vers le réservoir supérieur "AL AZIZIYAH" peut exister au niveau de la faille D3.

III-III - L'ENSEMBLE DES RESERVOIRS AL AZIZIYAH,
 ABU SHAYBAH ET DU RECOUVREMENT :
 LE RESERVOIR SUPERIEUR

Ces réservoirs sont en relation étroite puisque le réservoir ABU SHAYBAH se déverse dans le réservoir AL AZIZIYAH qui alimente à son tour vers le Nord en continuité hydraulique les 2 réservoirs du recouvrement et le réservoir AL AZIZIYAH en charge (voir planche n° 17 page 146).

Le réservoir AL AZIZIYAH qui est le plus étendu dans la zone d'étude constitue le réservoir principal.

L'étude de la carte piézométrique (planche n° 21 page 163) permettra de mieux comprendre leurs relations hydrauliques.

III-III- 1. LE RESERVOIR ABU SHAYBAH

III-III- 1.1 - Définition

Le réservoir ABU SHAYBAH est constitué par l'ensemble des niveaux aquifères appartenant à la formation ABU SHAYBAH et par les niveaux saturés du recouvrement en continuité hydraulique.

III-III- 1.2 - Limite verticale et extension géographique

La limite inférieure est constituée par le toit du niveau argileux basal d'une quarantaine de mètres d'épaisseur.

C'est le réservoir situé le plus à l'amont. Il se développe au Sud et à l'Ouest d'une limite d'érosion totale (voir planche n° 21 page 163) qui, à l'est du Wadi ZARAT, suit la courbe de niveau 250 m située à flanc de Jebel.

Vers l'amont, au delà du Wadi ZARAT, la limite d'érosion totale s'écarte du Jebel et on observe une grande plage d'affleurement de la formation ABU SHAYBAH plus ou moins masquée par un recouvrement de type grossier qui participe à la formation du réservoir ABU SHAYBAH.

Dans cette zone, le réservoir ABU SHAYBAH se prolonge également sous le Jebel.

III-III- 1.3 - Morphologie - Faciès - Caractéristiques hydrodynamiques

Le faciès de ce réservoir est un faciès détritique formé de nombreuses alternances de grès et d'argile.

Son faciès plus gréseux dans certains secteurs peut expliquer les différences de transmissivité qui passe de $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ dans l'axe du Wadi GHAN à $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ailleurs.

Le coefficient d'emmagasinement à court terme, connu dans le seul secteur du Wadi ABU SHAYBAH est de l'ordre de 10^{-3} .

Le calcul du coefficient d'emmagasinement à long terme, en ne prenant en compte que les niveaux argileux (voir § II-I-3.2) conduit à une valeur de l'ordre de 10^{-2} .

III-III- 2. LE RESERVOIR AL AZIZIYAH

III-III- 2.1 - Définition

C'est le réservoir principal de la zone d'étude. Il est formé essentiellement par la formation AL AZIZIYAH et par les formations détritiques grossières du recouvrement lorsqu'elles sont saturées (au Nord de l'étude, voir planche n° 21 page 163).

III-III- 2.2 - Limite verticale et extension géographique

Sa limite inférieure est marquée par le toit du niveau argileux sommital de la formation RAS HAMIA.

Son extension vers le Sud est limitée par l'apparition d'un faciès marno-gypseux qui se développe en pied de Jebel au delà de la limite d'érosion de la formation ABU SHAYBAH.

Vers le Nord, schématiquement, à partir de la latitude de AL AZIZIYAH, il plonge sous le recouvrement qui peut être assimilé au réservoir AL AZIZIYAH quand son faciès est suffisamment grossier pour ne pas apporter de perturbation à la piézométrie. Au delà de l'apparition des "argiles vertes" cette condition n'est plus remplie.

Le réservoir sera limité au Nord dès que l'on observera une différence de charge entre le réservoir AL AZIZIYAH et les réservoirs sus-jacents. Ce phénomène est la conséquence de l'apparition d'un niveau argileux, soit au toit de la formation AL AZIZIYAH (niveau de base de la formation ABU SHAYBAH), soit au sein du recouvrement ("argiles vertes" du MIOCENE). Mais en général, la limite des "argiles vertes" est la première rencontrée par l'écoulement et de ce fait c'est elle qui jouera le rôle le plus important.

III-III- 2.3 - Morphologie - Faciès - Caractéristiques hydrodynamiques

Compte tenu du fait que le réservoir AL AZIZIYAH s'identifie essentiellement à la formation AL AZIZIYAH, on se reportera au § II-II-2.3 pour les variations de faciès et de transmissivité au sein du réservoir.

On rappellera simplement ici la limite d'un faciès marno-gypseux qui se développe au Sud et à l'Ouest au-delà de la limite d'érosion du réservoir ABU SHAYBAH.

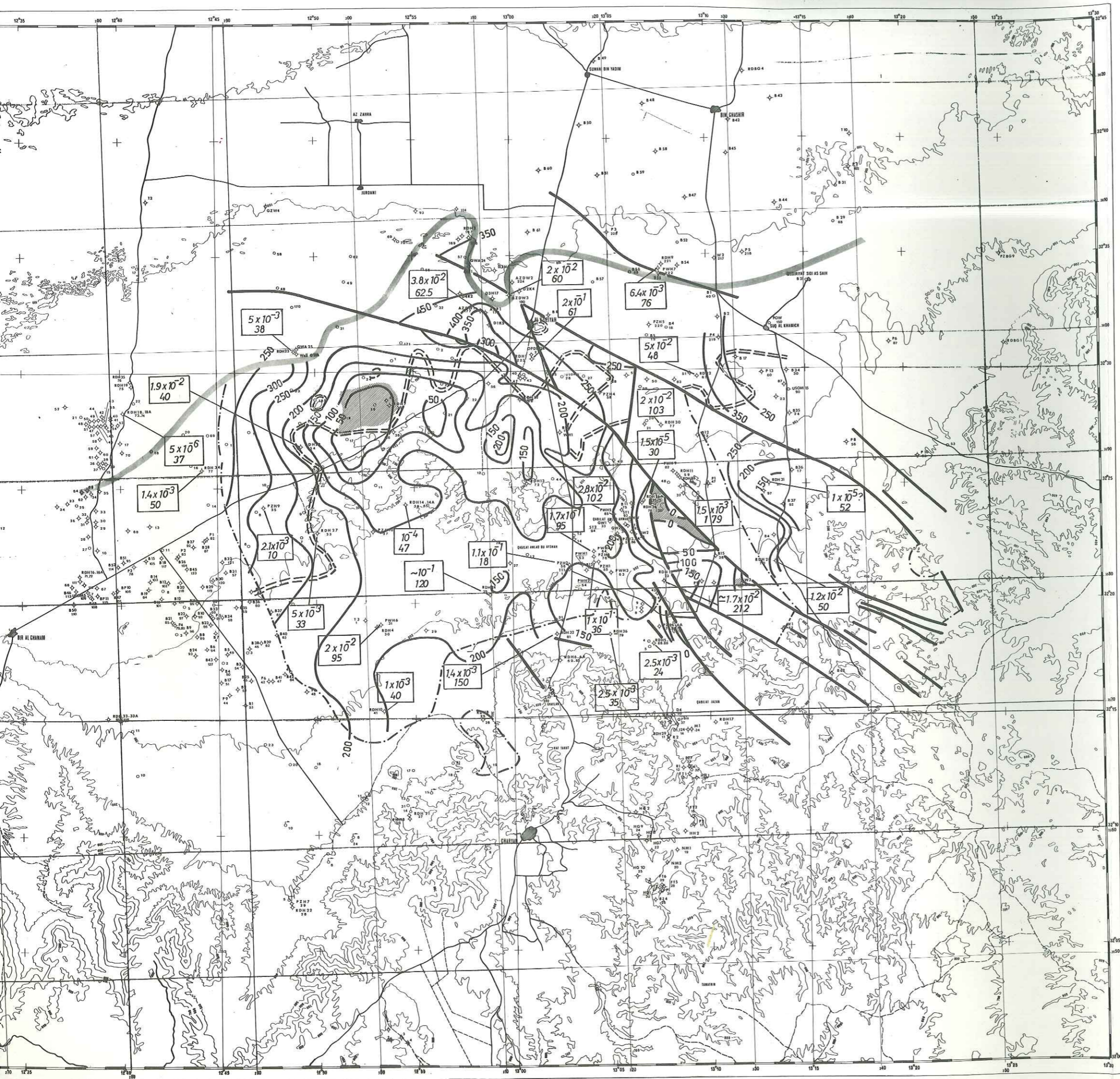
Dans le secteur Nord-Est de l'étude, de nombreuses failles amènent au contact ou isolent, au sein du réservoir AL AZIZIYAH, des niveaux moins perméables des formations RAS HAMIA ou ABU SHAYBAH. En général, on n'observe pas d'obstacle complet à l'écoulement dans la section de passage. Cela se traduira par des épaisseurs efficaces plus faibles et par des transmissivités plus faibles. Ces variations d'épaisseurs efficaces sont traduites sur la planche n° 19 page 155).

Cette carte d'épaisseur efficace comparée à la transmissivité calculée à partir d'un essai de pompage donne comme on l'a vu au § II-II-3.2.2 la transmissivité de la zone captée. La transmissivité de la zone captée permet d'approcher une valeur probable de la transmissivité totale du réservoir AL AZIZIYAH dans sa partie libre. Ces valeurs apparaissent sur la planche n° 20 page 175.

On a montré dans le § II-II- 3.2.3 que les valeurs calculées du coefficient d'emmagasinement prouvaient l'hétérogénéité de l'aquifère, ce coefficient variant de 2 à $30 \cdot 10^{-2}$.

Planche n° 19

CARTE ISOPAQUE DU RESERVOIR AL AZIZIYAH A SURFACE LIBRE



- LEGENDE -

- Puits
 - ◇ Forage non artésien
 - ⊕ Forage artésien
 - ⊙ Source
 - ⊕ Num. du puits
 - ⊕ Num. du puits dans le système WRI (Water Resources Inventory)
- Le point d'eau 32 appartenant à la carte au 1:50 000 1389, son numéro dans le système WRI sera 009 1132

- Limite sud d'extension des "argiles vertes"
- Pointement de la formation RAS HAMIA dans le réservoir.
- Faille
- Isopaque 250 m.
- Limite nord du recouvrement non saturé dans le réservoir AL AZIZIYAH
- Limite d'érosion totale de la fm. ABU SHAYBAH
- Transmissivité calculée (en m²/s)
Epaisseur testée (en m)

Assemblage des cartes au 1:50 000

32°45'	12°30'	12°45'	12°50'	12°55'	13°00'	13°05'	13°10'	13°15'	13°20'	13°25'
1970 III	1970 III	1970 III	1970 III	1970 III	1970 III	1970 III	1970 III	1970 III	1970 III	1970 III
32°30'	12°30'	12°45'	12°50'	12°55'	13°00'	13°05'	13°10'	13°15'	13°20'	13°25'
1970 IV	1970 IV	1970 IV	1970 IV	1970 IV	1970 IV	1970 IV	1970 IV	1970 IV	1970 IV	1970 IV
32°15'	12°30'	12°45'	12°50'	12°55'	13°00'	13°05'	13°10'	13°15'	13°20'	13°25'
1970 V	1970 V	1970 V	1970 V	1970 V	1970 V	1970 V	1970 V	1970 V	1970 V	1970 V

Equidistance des courbes : 100 mètres sauf en plaine 50 mètres



Planche n° 20

VALEUR PROBABLE DE LA TRANSMIS. SIVITE TOTALE DU RESERVOIR AL AZIZIYAH

- LEGENDE -

- Puits
 - ◇ Forage non artésien
 - ◇ Forage artésien
 - ◇ Source
 - ◇ Nom du puits
 - Nombre de puits dans le système WRI (Water Resources Inventory)
- Le point d'eau 22 appartenant à la carte au 1:50 000 1989 I, son numéro dans le système WRI sera 1989 I 22

2×10^{-2} Valeur minimale

5×10^{-2} Valeur maximale



Assemblage des cartes au 1:50 000

1990 III	1990 II	1990 I	1990 I
1989 IV	1989 I	1989 IV	1989 I
1989 III	1989 II	1989 III	1989 II

Equidistance des courbes : 100 mètres sauf en plaine 50 mètres



III-III - 3. LES RESERVOIRS DE L'AVAL

Comme le montre le schéma de la planche n° 11 page 134 et les coupes Nord-Sud (planches n° 13-14 pages 137-138) le réservoir AL AZIZIYAH à surface libre alimente vers l'aval trois réservoirs superposés dont l'individualisation est due à l'apparition de niveaux semi-perméables. Ces niveaux semi-perméables apparaissent à la base de la formation ABU SHAYBAH et au sein du recouvrement, leurs extensions apparaissent sur la carte de la planche n° 21 page 163. Leurs rôles ont été vus au § II-III-2.

Ces réservoirs de l'aval, étant en dehors de la zone d'étude, n'ont fait l'objet que d'un petit nombre de forages de reconnaissance ; ceci n'ayant permis que des observations ponctuelles dont les résultats sont les suivants :

- Réservoir AL AZIZIYAH en charge :
forage PWH 7 : $T = 6,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (calculée)

- Réservoir inférieur du recouvrement :
forage RDH 9 : $T = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (calculée)

- Réservoir supérieur du recouvrement (PLIO-QUATERNAIRE)
forage RDH 35 : $T = 4,7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

III-IV - ETUDE DE LA PIEZOMETRIE
DU RESERVOIR SUPERIEUR

III-IV- 1. METHODE D'ETUDE

III-IV- 1.1. Recherche des données

III-IV- 1.1.1. - Inventaire des points d'eau

Dans le cadre de cette étude un inventaire systématique des points d'eau a été effectué. 434 puits ont été ainsi répertoriés et classés. Tous les renseignements pouvant être obtenus ont été insérés dans un catalogue : numéro d'inventaire, localisation, nom du propriétaire, mode de creusement, coupe, cotes de captage, niveaux statiques, renseignements sur le type d'exploitation (débit et durée du pompage). Le numéro d'inventaire est obtenu par adjonction du numéro de la feuille du 1/50 000 sur laquelle se trouve le puits et du numéro d'entrée dans l'inventaire : ex : RDH 13 1989/4/72 se trouve sur la feuille QABILAT AL ABQAR n° 1989/4 et porte le numéro 72.

Sur chaque puits où cela était possible, un échantillon d'eau a été prélevé pour effectuer une analyse chimique de l'eau.

Enfin tous ces points ont été nivelés. Ce nivellement a été rattaché au nivellement général de la LIBYE. Les points nivelés antérieurement à cette étude ont été vérifiés et parfois corrigés.

III-IV- 1.1.2. - Mesures périodiques

205 puits ont été mesurés régulièrement tous les mois pour voir l'évolution de la nappe. Cette évolution a été étudiée en détail par M. ALLEMMOZ. En résumé, on peut dire qu'il n'y a pas de recharges visibles dues aux précipitations. Les variations observées sur certains puits sont dues à l'arrêt ou à l'intensification des pompages au Nord dans les régions de BIN GHASHIR et AL AZIZIYAH. Ces variations peuvent en outre permettre d'approcher les quantités d'eau extraites de la nappe.

III-IV - 1.2. - Etablissement de la carte piézométrique

III-IV - 1.2.1. - Obtention des données

Du 18 au 26 Juillet 1975, 104 puits ont été mesurés. Les mesures ont été effectuées avec des sondes électriques OTT. La précision de la mesure est à ± 1 cm.

Toutes ces mesures ont été ensuite transformées en niveau piézométrique. Suivant la connaissance que l'on a de chaque puits (cote de captage et formation captée) on a pu tracer une carte piézométrique.

III-IV - 1.2.2. - Traçé de la carte piézométrique
(planche n° 21 page 163)

On s'aperçoit que l'on a des niveaux ayant des différences de charge énormes suivant les formations captées. Il ne s'agit donc pas des mêmes nappes. La carte tracée comprend en réalité deux cartes : celle de la nappe du réservoir ABU SHAYBAH - RECOUVREMENT à l'Ouest et celle de la nappe du réservoir AL AZIZIYAH à l'Est. On a vu que la structure mettait en rapport ces deux réservoirs; les deux piézométries se raccordent donc.

Le tracé dans le réservoir AL AZIZIYAH s'est heurté à l'existence de nappes perchées au sein de celui-ci. En général elles apparaissent dans les zones de faible transmissivité de la formation AL AZIZIYAH et n'ont qu'un intérêt très local. On peut en dénombrer trois :

- La première apparaît autour du forage RDH 20 dans le secteur du Wadi MEGENIN. On peut la suivre sur le puits 1989-4-84. Son extension est de l'ordre de quelques kilomètres carrés et la transmissivité de ce niveau, calculée à partir d'un test sur le forage RDH 20, est très faible.

- La seconde apparaît au niveau du forage RDH 24 dans le secteur du Wadi ABU SHAYBAH et son niveau serait à 2 m au-dessus de celui du réservoir AL AZIZIYAH. Cette nappe n'a pas été observée sur d'autres points.

La faible extension de ces deux nappes perchées fait qu'elles n'ont pas été tracées sur la carte piézométrique.

- La troisième, beaucoup plus étendue, apparaît sur la carte piézométrique dans les affleurements de formation AL AZIZIYAH situés de part et d'autre de la route AL AZIZIYAH - BIR AL GHANAM. On a pu la suivre sur un certain nombre de forages de reconnaissance. Son influence se fait sentir très au Nord, au delà de la limite des "argiles vertes".

Ces trois nappes ne peuvent être considérées comme faisant partie de l'écoulement général mais peuvent cependant engendrer un débit de percolation verticale vers le réservoir AL AZIZIYAH.

III-IV- 2. ETUDE DE LA CARTE PIEZOMETRIQUE

III-IV- 2.1. - Le réservoir "ABU SHAYBAH"

Dans la partie du réservoir située sous le Jebel en particulier au niveau du Wadi GHAN, on observe, au sein des différents niveaux argilo-gréseux, des cotes piézométriques décroissantes de haut en bas du réservoir.

Dans la partie du réservoir située en plaine et par suite de l'érosion de la partie supérieure du réservoir, on observe schématiquement un seul niveau piézométrique de base auquel se raccordent les différents niveaux piézométriques perchés rencontrés dans le Jebel.

La piézométrie montre d'une façon générale un écoulement du Sud vers le Nord et la limite d'érosion de la formation ABU SHAYBAH. Elle montre une position générale perchée par rapport à la piézométrie du réservoir AL AZIZIYAH sous-jacent. Au delà de la limite totale d'érosion, le réservoir ABU SHAYBAH se déverse dans le réservoir AL AZIZIYAH. En deçà de la limite totale d'érosion, il sature en continuation hydraulique le recouvrement et forme avec lui un seul réservoir.

Ce réservoir ABU SHAYBAH peut alimenter de deux façons le réservoir AL AZIZIYAH sous-jacent :

a) par percolation verticale à travers les argiles de base : le débit de percolation par unité de surface dépendra de la différence de charge entre les deux réservoirs, de la perméabilité et de l'épaisseur du semi-perméable de la base du réservoir ABU SHAYBAH. Ce débit a été calculé précédemment (voir § II-III- 3) et il est :

- au niveau du Wadi ABU SHAYBAH et dans le cours amont du Wadi AL HAY de l'ordre de $2,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$;

- au niveau du cours aval du Wadi AL HAY de $5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

b) par déversement le long de la limite d'érosion totale : le débit de déversement par kilomètre de front dépendra du gradient et de la transmissivité du réservoir ABU SHAYBAH. Malgré le petit nombre d'observations, on peut schématiquement distinguer 3 zones de gradient :

- une zone de gradient de l'ordre de 8×10^{-3} qui s'étend de la limite est de l'étude au Wadi ZAQUT compris où la transmissivité est en général de $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Le débit de déversement est alors de $0,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$. Le long du Wadi GHAN et sur un front de quelques kilomètres, la transmissivité a une valeur de $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, ce qui fournirait un débit de l'ordre de $40 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$.

Planche n° 21

CARTE PIEZOMETRIQUE OBSERVEE
EN ETE 1975

particulier
aux argilo-
du réservoir.

uite de
matiquement
fférents

ent du Sud
Elle
e du résér-
ion, le
En deçà de
le recou-

s le résér-

base : le
nce de
aisseur
a été

du

$3/s/km^2$.

le : le
et de
re d'ob-
nt :

end de la
est en
 $10^{-3} m^3/s/km$
transmis-
de l'ordre

- LEGENDE -

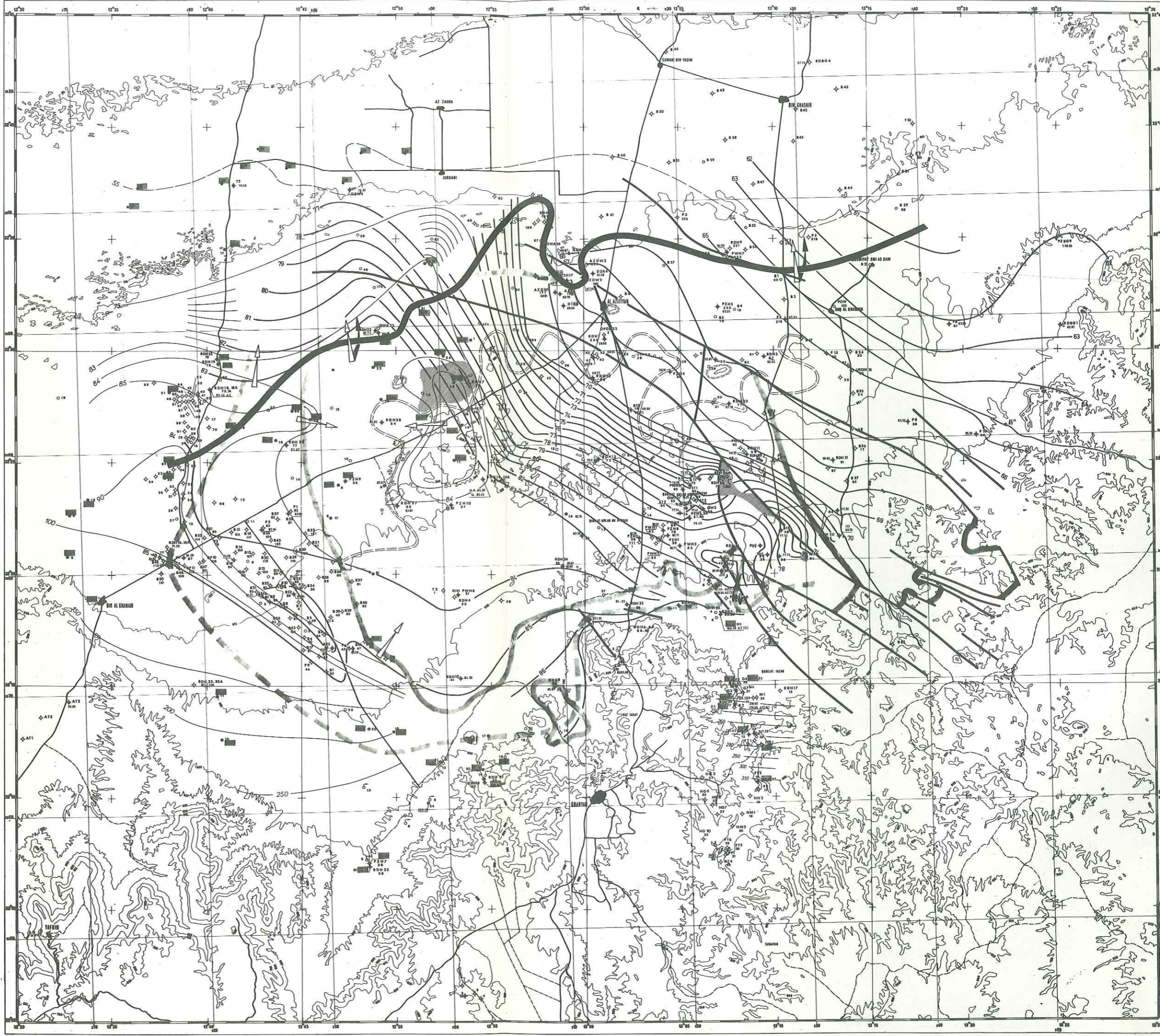
- Puits
 - ◇ Forage non artésien
 - ⊕ Forage artésien
 - ⊙ Source
 - ⊖ Non de puits
 - Numéro du puits dans le système WRI (Water Resources Inventory)
- Le point d'eau 32 appartient à la carte au 1/50 000 1589 I, son numéro dans le système WRI sera 1000 1/32
- Limite sud d'extension des "argiles vertes"
 - Limite d'érosion totale de la formation Abu SHAYBAH
 - Limite d'extension de la formation AL AZIZIYAH aquifère
 - Pointements de la formation BAS HAHK à l'intérieur du réservoir
 - Faille
 - Limite sud du recouvrement saturé dans le recouvrement AL AZIZIYAH
 - Isopieze du réservoir AL AZIZIYAH
 - Niveau statique du réservoir AL AZIZIYAH
 - Sens d'écoulement dans le réservoir AL AZIZIYAH
 - Isopieze du réservoir du recouvrement ou du réservoir ABU SHAYBAH
 - Niveau statique du réservoir du recouvrement ou du réservoir ABU SHAYBAH
 - Sens d'écoulement dans le réservoir du recouvrement



Assemblage des cartes au 1/50 000

32° 45'	12° 30'	12° 45'	12° 00'	12° 15'	12° 30'	12° 45'	12° 00'	12° 15'	12° 30'	12° 45'
1590 III	1590 III	1590 III	1590 III	1590 III	1590 III	1590 III	1590 III	1590 III	1590 III	1590 III
32° 30'	12° 45'	12° 00'	12° 15'	12° 30'	12° 45'	12° 00'	12° 15'	12° 30'	12° 45'	12° 00'
1589 IV	1589 IV	1589 IV	1589 IV	1589 IV	1589 IV	1589 IV	1589 IV	1589 IV	1589 IV	1589 IV
32° 15'	12° 00'	12° 15'	12° 30'	12° 45'	12° 00'	12° 15'	12° 30'	12° 45'	12° 00'	12° 15'
1589 III	1589 III	1589 III	1589 III	1589 III	1589 III	1589 III	1589 III	1589 III	1589 III	1589 III
32° 00'	12° 15'	12° 30'	12° 45'	12° 00'	12° 15'	12° 30'	12° 45'	12° 00'	12° 15'	12° 30'
1589 II	1589 II	1589 II	1589 II	1589 II	1589 II	1589 II	1589 II	1589 II	1589 II	1589 II

Espacement des courbes : 100 mètres sauf en plaine 50 mètres



- une zone à gradient plus élevé (5×10^{-2}) qui se développe depuis le Wadi ZAOUT jusqu'au Wadi ZARAT et où la transmissivité n'est plus que de $2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (RDH 22). Le débit de déversement n'est plus alors que de $10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$.

- en plaine, le long de la limite ouest d'érosion totale de la formation ABU SHAYBAH dans la région du Wadi AL HAY, le gradient est faible ($1,5 \times 10^{-4}$) et le débit de déversement peut être négligé.

III-IV- 2.2. - Le réservoir "AL AZIZIYAH"

Le réservoir "AL AZIZIYAH" se développe dans la zone de plaine. En bordure du Jebel, il reçoit par percolation et par déversement les eaux du réservoir ABU SHAYBAH (voir § III-IV-2.1).

L'écoulement général se fait du Sud-Ouest vers le Nord-Est avec des gradients très différents. Ce sens d'écoulement est différent de celui du réservoir ABU SHAYBAH qui s'écoule du Sud vers le Nord.

Dans la partie Ouest, zone du Wadi ABU SHAYBAH, on observe un gradient très faible (compris entre 5×10^{-5} et 10^{-4}) vers le Nord.

Au Nord d'une ligne Sud-Est-Nord-Ouest passant par les forages RDH 32, RDH 14, RDH 23 le gradient est élevé et devient de l'ordre de 10^{-3} (1 m par km) jusqu'à une ligne Sud-Est-Nord-Ouest située à quelques kilomètres du Sud de AL AZIZIYAH.

Dans cette plage de gradient, on note un certain nombre d'anomalies (gradients localement plus élevés) traduisant soit l'existence d'obstacles (au niveau de pointements de formation RAS HAMIA), soit les effets d'une recharge (ou débouché du Wadi GHAN dans la plaine).

Au Nord-Est de la plage de gradient élevé et jusqu'aux limites de l'étude, le gradient diminue et n'est plus que de l'ordre de 10^{-4} .

Vers le Nord, le réservoir se divisant en deux au niveau des "argiles vertes", une partie des eaux va alimenter le réservoir supérieur du recouvrement déjà alimenté plus à l'ouest par les écoulements en provenance du réservoir ABU SHAYBAH, l'autre partie restant dans le réservoir AL AZIZIYAH.

Le long de la limite d'extension des "argiles vertes", dans la partie Ouest, la piézométrie du réservoir AL AZIZIYAH est en général plus basse que celle du réservoir supérieur du recouvrement influencé par les nappes perchées et la terminaison ouest du réservoir ABU SHAYBAH - Recouvrement. Dans la partie Est, elle est supérieure à celle du réservoir supérieur du Recouvrement, ceci serait dû à la surexploitation relative de ce dernier réservoir dans le Nord.

III-V - CONCLUSION

Après avoir dans les chapitres précédents défini les caractéristiques géologiques et hydrodynamiques des formations géologiques, nous avons pu définir dans celui-ci des réservoirs. A partir de ceux-ci, on peut expliquer le système de nappes et les écoulements qui se produisent dans ces réservoirs.

On a donc montré la présence de deux nappes : une inférieure dans le réservoir OULED CHEBBI - RAS HAMIA et une supérieure dans plusieurs formations. Cette nappe supérieure est complexe. Cette complexité est due à l'hétérogénéité des différents réservoirs dans lesquels ont lieu les écoulements.

Nous avons démontré le système d'écoulement des eaux supérieures. Au pied du Jebel les eaux s'écoulent dans le réservoir AL AZIZIYAH à surface libre par percolation à travers le niveau basal semi-perméable de la formation ABU SHAYBAH et par déversement le long de la limite d'érosion de cette formation. Les eaux qui sont restées dans le réservoir ABU SHAYBAH continuent dans celui-ci et la partie supérieure du Recouvrement, ceci à l'Ouest. A l'Est, les eaux du réservoir AL AZIZIYAH à surface libre se divisent en 3 parties : une première partie passe dans le réservoir supérieur du recouvrement, la seconde partie dans le réservoir inférieur du recouvrement, la troisième partie se met en charge dans la formation AL AZIZIYAH.

On note pour cette nappe supérieure une anomalie dans le sens d'écoulement. Les eaux s'écoulent du Sud vers le Nord, ceci dans les réservoirs ABU SHAYBAH puis ABU SHAYBAH-Recouvrement et AL AZIZIYAH en charge dans sa partie Ouest. Ce sens est le même que celui de la nappe OULED CHEBBI - RAS HAMIA. Or dans la partie réservoir AL AZIZIYAH à surface libre le sens est Sud Ouest - Nord Est. On peut s'interroger sur cette orientation. La formation AL AZIZIYAH n'est aquifère que dans la partie carbonatée et cette partie est certainement karstifiée. On peut supposer que l'écoulement est lié à cette karstification. Mais l'hypothèse la plus plausible est que le sens de l'écoulement est dû à l'influence de l'exploitation qui est très importante au Nord-Est de la zone étudiée dans la région d'AL AZIZIYAH et de BIN GHASHIR où les puits sont très nombreux.

Ces puits sont crépinés dans le réservoir AL AZIZIYAH à surface libre à AL AZIZIYAH ou dans le premier réservoir du recouvrement à BIN GHASHIR. Les réservoirs plus profonds (AL AZIZIYAH en charge) ne sont généralement pas équipés, ce qui explique qu'ils ont un sens d'écoulement Nord-Sud conforme à l'écoulement général.

CHAPITRE IV

CHIMIE DES EAUX

IV-I - INTRODUCTION - INFORMATIONS UTILISEES
CLASSIFICATION DES EAUX ADOPTES

IV-I- 1. - DISPERSION DES OBSERVATIONS

La synthèse des propriétés hydrochimiques des différents aquifères est d'autant plus difficile que :

- les observations sont irrégulièrement réparties géographiquement (denses dans les zones d'exploitations liées à un plan de développement rural - périmètre prioritaire du Wadi AL HIRA, projet du Wadi AL HAY - elles sont dispersées dans la plupart des autres régions) ;

- pour une région donnée, ces observations concernent le plus souvent un même aquifère. Ainsi les observations faites au Nord de la route AL AZIZIYAH - BIR AL GHANAM intéressent essentiellement les formations dites du recouvrement d'âge mio-plio-quadernaire et, très peu nombreuses sont les observations relatives à la formation AL AZIZIYAH ;

- certains points d'eau captent simultanément plusieurs formations (nombreux forages du projet du Wadi AL HAY par exemple), d'autres captent des formations non identifiées avec certitude (majorité des points d'eau exécutés par les paysans).

IV-I- 2. - PRESENTATION - TRAITEMENT ET QUALITE DES ANALYSES

La totalité des informations disponibles a été utilisée. 368 analyses chimiques ont été répertoriées et regroupées dans un recueil. Sur ce recueil figurent : (voir planche n° 22, page 170)

- le numéro d'inventaire du point d'eau dans le système "Water Resources Inventory" (W.R.I.) ;
- la date de prélèvement ;
- la conductivité mesurée (c) exprimée en millimhos/cm à 25°C ;
- le résidu sec mesuré ou teneur en sel dissous ou T.D.S. mesuré (y) exprimé en mg/l ;

SIGMA + (A)	SIGMA - (B)	A-B B	REAL TDS (X)	X-Y Y	TAPPED ZONE DEPTH FROM TO	DH IN FRENCH DEGREE	R MG++ R CA++	R SO4-- R CL-	R NA+ R CL-
51.04	47.78	.064	3196	.031	91 175	156.6	4.9 .66	2.55	1.64
43.03	49.27	.145	2910	.030					
35.48	29.17	.178	1921	.136					
17.03	17.49	.027	1185	.011		47.1	3.4 .31	1.81	1.63
22.84	20.33	.110	1323	.128					
20.74	21.17	.021	1344	.001		53.6	4.2 1.04	1.14	1.34
30.28	34.98	.155	2014	.150					
20.07	19.53	.027	1137	.486		57	76.6 1.6 .39	.08	.30
20.06	18.76	.065	1183	.106		71	49.3 4.5 .65	.71	1.34
11.67	12.62	.081	725	.096		48	40.2 1.7 .62	.17	.43
15.32	15.23	.006	879	.037		52	50.2 2.2 .55	.28	.54
18.58	18.82	.013	1199	.062		53	51.2 3.6 .63	1.18	1.37
9.43	8.80	.068	490	.168		42	33.6 1.3 .50	.14	.59
7.23	7.19	.006	436	.173		42	21.9 1.8 .29	.23	.78
8.32	8.62	.037	511	.052		42	29.1 1.3 .63	.19	.50

NUMBRER	DATE	C	TDS (Y)	CA	MG	K	NA	CL	SO4	CO3	HCO3	NO3	PO4	SI02	B	PH	TEMP
118891	11-4-4-72	4.5	3101	380	150	11.0	443	418	1440	12.0	342.0	0	0.00	151.0	1.30	17.7	
	129-10-72	4.6	3000	85	49	0.0	798	970	332	0.0	676.0	266	1.00		1.19	17.2	
118891	2126-6-71	3.2	2224	180	117	59.0	350	403	495	12.0	305.0	143	.09	129.0	1.60	17.7	
118891	41-9-5-74	1.8	1198	144	27	9.0	169	160	391	0.0	285.0	11	.06	120.0	.50	17.6	
118891	5129-6-71	2.1	1517	150	55	9.0	242	234	374	9.0	250.0	105	0.00	117.0	.90	18.1	
	1-8-9-74	2.2	1343	106	66	6.0	225	260	402	0.0	279.0	61	-0.00	115.0	.42	17.6	
118891	61-1-6-71	3.2	2369	210	112	9.0	235	547	730	6.0	165.0	99	0.00	7.0	.61	18.0	
	1-9-5-74	2.0	2213	221	52	8.0	103	530	56	0.0	167.0	47	-0.00	113.0	.61	17.5	
118891	71-1-6-71	2.1	1324	120	47	9.0	228	263	254	18.0	244.0	99	0.00	8.0	.29	18.3	
118891	81-1-6-71	1.4	802	100	37	6.0	79	284	67	6.0	146.0	43	0.00	6.0	.52	18.1	
118891	91-1-6-71	1.7	913	130	43	11.0	114	328	125	6.0	122.0	81	0.00	7.0	.36	18.1	
	1-9-5-74	1.9	1278	126	48	6.0	187	210	334	0.0	288.0	83	.03	119.0	.40	17.5	
118891	10122-5-71	.9	589	90	27	8.0	57	148	29	3.0	128.0	124	0.00	2.0	.44	17.7	
	1-7-5-74	.7	527	68	12	7.0	61	120	38	0.0	130.0	60	-0.00	115.0	.13	17.4	
	111-9-74	.7	539	72	27	8.0	52	160	42	0.0	150.0	53	-0.00	111.0	.19	17.1	

- les cations et anions Ca, Mg, K, Na, Cl, SO4, CO3, HCO3, NO3, PO4 dont les concentrations sont exprimées en mg/l ;
- les éléments secondaires SiO2 et B dont les concentrations sont exprimées en mg/l ;
- le pH ;
- la température en degré CELSIUS (TEMP) de l'eau lors du prélèvement.

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 me/l) et celle des anions (en me/l) sur la somme des anions (en me/l) est inférieure à 10 %, ont été prises en compte par la suite, soit 333 analyses.

L'ensemble des analyses disponibles ayant été utilisées, (celles effectuées dans le cadre de la présente étude aussi bien que celles effectuées dans le cadre d'autres études, celles effectuées par le GEFLI aussi bien que celles effectuées par d'autres laboratoires), 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 (T.D.S. mesuré) a été dosé à des températures variables s'échelonnant entre 105°C et 180°C et la valeur d'une concentration en sels dissous ou T.D.S. réel a été calculée à partir de la somme des anions et des cations en mg/l.

Un test de corrélation entre le T.D.S. mesuré et la conductivité a montré, pour l'ensemble des 333 analyses retenues, un coefficient de corrélation égal à 0,954 pour la corrélation de la forme :

$$C = 1,45 \times 10^{-3} \times \text{T.D.S.} + 0,09 \quad (\text{C en mmhos/cm ; T.D.S. en mg/l}).$$

Un test de corrélation entre le T.D.S. réel et la conductivité a montré un meilleur coefficient de corrélation égal à 0,962 pour la corrélation de la forme :

$$C = 1,36 \times 10^{-3} \times \text{T.D.S.} + 0,22 \quad (\text{C en mmhos/cm ; T.D.S. en mg/l}).$$

Un test de corrélation entre la conductivité et la valeur maximale de la somme (Σmax) soit des cations (en me/l), soit des anions (en me/l) a montré un coefficient de corrélation égal à 0,968 pour la corrélation de la forme :

$$C = 88,29 \times 10^{-3} \times \Sigma \text{max} + 0,18 \quad (\text{C en mmhos/cm ; } \Sigma \text{max en me/l}).$$

La planche n° 24 page 174 montre, pour les analyses effectuées par le GEFLI que la conductivité et la valeur maximale de la somme (Σmax) soit des cations, soit des anions sont reliées par la corrélation de la forme :

$$C = 0,95 \times 1/10 \Sigma \text{max} \approx 1/10 \Sigma \text{max} \quad (\text{C en mmhos/cm ; } \Sigma \text{max en me/l}).$$

Ce résultat vérifie la relation : somme (en me/l) des anions ou des cations égale à dix fois la conductivité, proposée par de nombreux auteurs dans le monde. Pour plus d'homogénéité, les conductivités exprimées en mmhos/cm à 25°C seront prises égales au dixième de la valeur maximale de la somme soit des cations soit des anions exprimés en me/l.

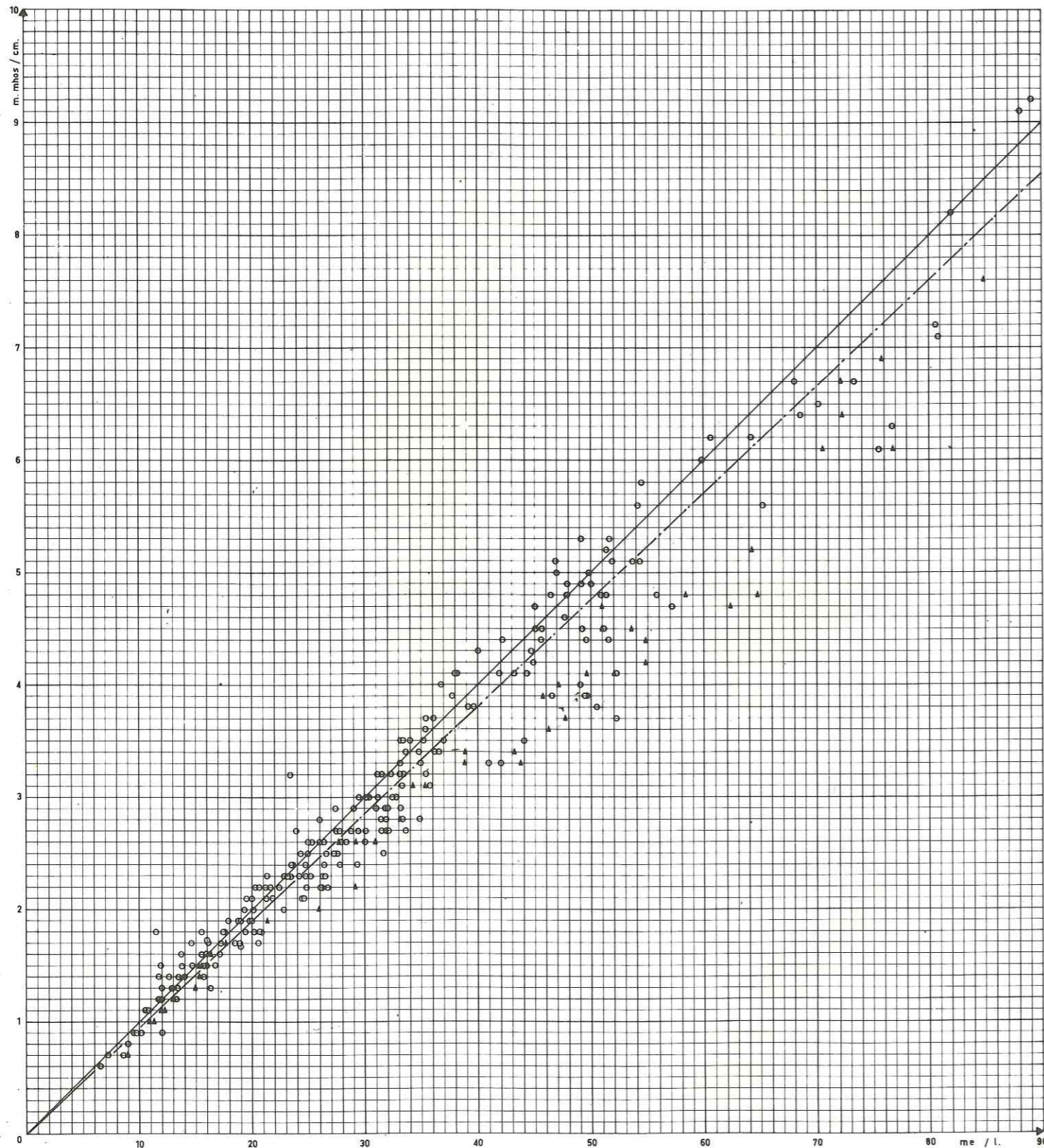
Ainsi sur le recueil (voir planche n° 23 page 171) figurent en outre :

- la somme des cations exprimée en me/l ($\text{SIGMA} + (\text{A})$) ;
- la somme des anions exprimée en me/l ($\text{SIGMA} - (\text{B})$) ;
- le rapport de la différence entre la somme des cations (A) et celle des anions (B) sur la somme des anions $\left(\frac{\text{A} - \text{B}}{\text{B}}\right)$;
- la concentration réelle en sel dissous (ou T.D.S. réel) calculée à partir de la somme des cations et des anions exprimée en mg/l (REAL T.D.S.; x)
- le rapport de la différence entre le T.D.S. mesuré (y) et le T.D.S. réel (x) sur la valeur du T.D.S. mesuré $\left(\frac{x - y}{y}\right)$;
- les cotes de la zone crépinée ou testée exprimée en mètres sous le sol avec une cote pour le haut des crépines ou du début de test (FROM) et une cote pour le bas des crépines ou du fond du puits (TO) ;
- le dHT ou degré hydrotimétrique exprimé en degré français et calculé à partir de la formule :

$$\text{dHT} = 0,2497 \text{ Ca} + 0,4115 \text{ Mg} \quad (\text{Ca et Mg exprimés en mg/l}) ;$$
 ce degré hydrotimétrique ou dureté totale exprime la quantité de sels de calcium et de magnésium dissous et est mesuré en mg/l de CaCO3.
- le rapport d'absorption de sodium ou S.A.R. égal à :

$$\text{S.A.R.} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \quad (\text{Na, Ca, Mg exprimés en me/l})$$
- les rapports caractéristiques $\frac{\text{Mg}}{\text{Ca}}, \frac{\text{SO}_4}{\text{Cl}}, \frac{\text{Na}}{\text{Cl}}$

CORRELATION ENTRE LA CONDUCTIVITE MESUREE (en mmhos/cm à 25° C) ET LA SOMME MAXIMALE (en me / l) SOIT DES CATIONS SOIT DES ANIONS



LEGENDE

— C = 1/10 Σ max

- - - C = 0.95 x 1/10 Σ max

○ Analyses effectuées par le GEFLI

▲ Autres analyses

Lorsque la balance ionique n'est pas vérifiée, il a été décidé par convention de ne porter sur les tableaux aucune des valeurs devant figurer à droite de la valeur du rapport $\frac{x - y}{y}$.

IV-I- 3. CLASSES DE POTABILITE DES EAUX

Les classes de potabilité des eaux sont définies à partir de normes variant suivant les pays et les organisations internationales.

Les classes de potabilité des eaux adoptées dans ce mémoire sont celles qui se réfèrent à la classification de H. SCHOELLER (1937) spécialement conçue pour les pays de la zone aride ou semi-aride.

Sur les diagrammes de potabilité (planche n° 27 page 183 par exemple) ne figurent que les échelles significatives (T.D.S., dH, Na, Cl, SO₄). Les valeurs limites des classes croissent en progression géométrique et les échelles logarithmiques sont ajustées aux valeurs limites des classes reliées par des traits horizontaux, déterminant ainsi des bandes horizontales de même potabilité. Ces valeurs limites correspondent à peu près à des concentrations totales (T.D.S.) de 0,5 g/l, 1 g/l, 2 g/l, 4 g/l, 8 g/l.

Sur les diagrammes de potabilité, la classification adoptée comprend six classes d'eaux réparties comme suit (planche n° 27 page 183 par exemple) :

Potabilité permanente	- 1ère qualité (eau bonne) T.D.S. inférieur à 0,5 g/l
	- 2ème qualité (eau passable) T.D.S. compris entre 0,5 et 1 g/l
	- 3ème qualité (eau médiocre) T.D.S. compris entre 1 et 2 g/l
	- 4ème qualité (eau mauvaise) T.D.S. compris entre 2 et 4 g/l
Potabilité momentanée	- T.D.S. compris entre 4 et 8 g/l
Impotabilité	- T.D.S. supérieur à 8 g/l

IV-I - 4. - 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 et secondairement par la teneur en bore.

IV-I - 4.1. - Classification en fonction de la salinité des eaux et du danger d'alcalinisation des sols

Le laboratoire de RIVERSIDE 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 estimé en fonction du taux d'absorption de sodium ou S.A.R.

IV-I- 4.1.1. - Conductivité

Pour le laboratoire de RIVERSIDE, les eaux d'irrigation sont divisées en quatre classes séparées par les valeurs de conductivité égales à 0,250 mmhos/cm, 0,750 mmhos/cm, 2,250 mmhos/cm. Cette classification reconnue comme trop sévère pour les sols sableux a été adaptée à la suite des travaux effectués en ALGERIE par J.H. DURAND (1955).

La classification adoptée dans ce rapport est celle du laboratoire de RIVERSIDE à laquelle on a :

- retranché la limite de 0,250 mmhos/cm et regroupé dans la même classe les eaux dont la conductivité est inférieure à 0,750 mmhos/cm ;
- ajouté la limite de 10 mmhos/cm.

Ainsi, compte-tenu de la salinité, la classification adoptée dans ce rapport est la suivante (voir planche n° 28 page 184 par exemple) :

- Classe 1 - conductivité en mmhos/cm à 25°C inférieur à 0,750, eaux de salinité faible pour la LIBYE,
- Classe 2 - conductivité en mmhos/cm à 25°C comprise entre 0,750 et 2,250, eaux de salinité moyenne,
- Classe 3 - conductivité en mmhos/cm à 25°C comprise entre 2,250 et 5,000, eaux de salinité forte,
- Classe 4 - conductivité en mmhos/cm à 25°C comprise entre 5,000 et 10,000, eaux de salinité très forte,
- Classe 5 - conductivité en mmhos/cm à 25°C supérieure à 10,000, eaux de salinité excessive.
(Les eaux de cette classe sont considérées comme inutilisables normalement pour l'irrigation).

IV-I- 4.1.2. - Taux d'absorption de sodium ou S.A.R.

$$S.A.R. = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (Ca, Mg, Na \text{ exprimés en me/l})$$

Compte tenu du danger d'alcalinisation des sols, quatre sous-classes sont déterminées par le laboratoire de RIVERSIDE d'après le taux d'absorption de sodium et la conductivité de l'eau.

Les courbes de séparation des quatre 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
Courbe moyenne	S.A.R. = 31,31 - 6,66 log C
Courbe supérieure	S.A.R. = 43,75 - 8,87 log C

où C exprime la conductivité en micromhos/cm à 25°C.

Ainsi, dans la classification adoptée, les classes déterminées suivant la conductivité des eaux (1 à 5) sont elles-mêmes divisées en fonction du S.A.R. en quatre sous-classes (sauf la classe 5 qui n'est pas divisée) qui sont (voir planche n° 28 page 184 par exemple) :

- sous-classe a : eaux utilisables avec peu de danger d'alcalinisation des sols ;
- sous-classe b : eaux utilisables avec un danger d'alcalinisation des sols appréciable ;
- sous-classe c : eaux pouvant provoquer une alcalinisation des sols dangereuse ;
- sous-classe d : eaux présentant un danger d'alcalinisation des sols fort.

IV-I- 4.2. - Classification en fonction de la teneur en bore

Le bore pouvant gêner la croissance des plantes, C.S. SCOFIELD a différencié 5 classes d'eau suivant la tolérance relative des cultures au bore comme l'indique le tableau ci-dessous :

Classes d'eaux	Cultures tolérantes	Cultures semi-tolérantes	Cultures sensibles
1	1,00*	0,67	0,33
2	1,00 à 2,00	0,67 à 1,33	0,33 à 0,67
3	2,00 à 3,00	1,33 à 2,00	0,67 à 1,00
4	3,00 à 3,75	2,00 à 2,50	1,00 à 1,25
5	3,75	2,50	1,25

* Concentration en bore exprimée en mg/l

IV-II - CHIMIE DES EAUX DES DIFFERENTES FORMATIONS

IV-II- 1. - CHIMIE DES EAUX DE LA FORMATION OULED CHEBBI

La chimie des eaux de la formation OULED CHEBBI n'est connue que sur les forages RDH 13 et RDH 26 (région du Wadi AL HIRA).

IV-II- 1.1. - Faciès chimique et conductivité

Le faciès chimique de ces eaux est celui de la planche n° 25 page 180 établie à partir du diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF. Les eaux, d'après la classification de O.A. ALEKINE (1953), appartiennent à la classe des eaux chlorurées et au groupe des eaux sodiques. On désignera ces eaux par le terme : eaux chlorurées sodiques.

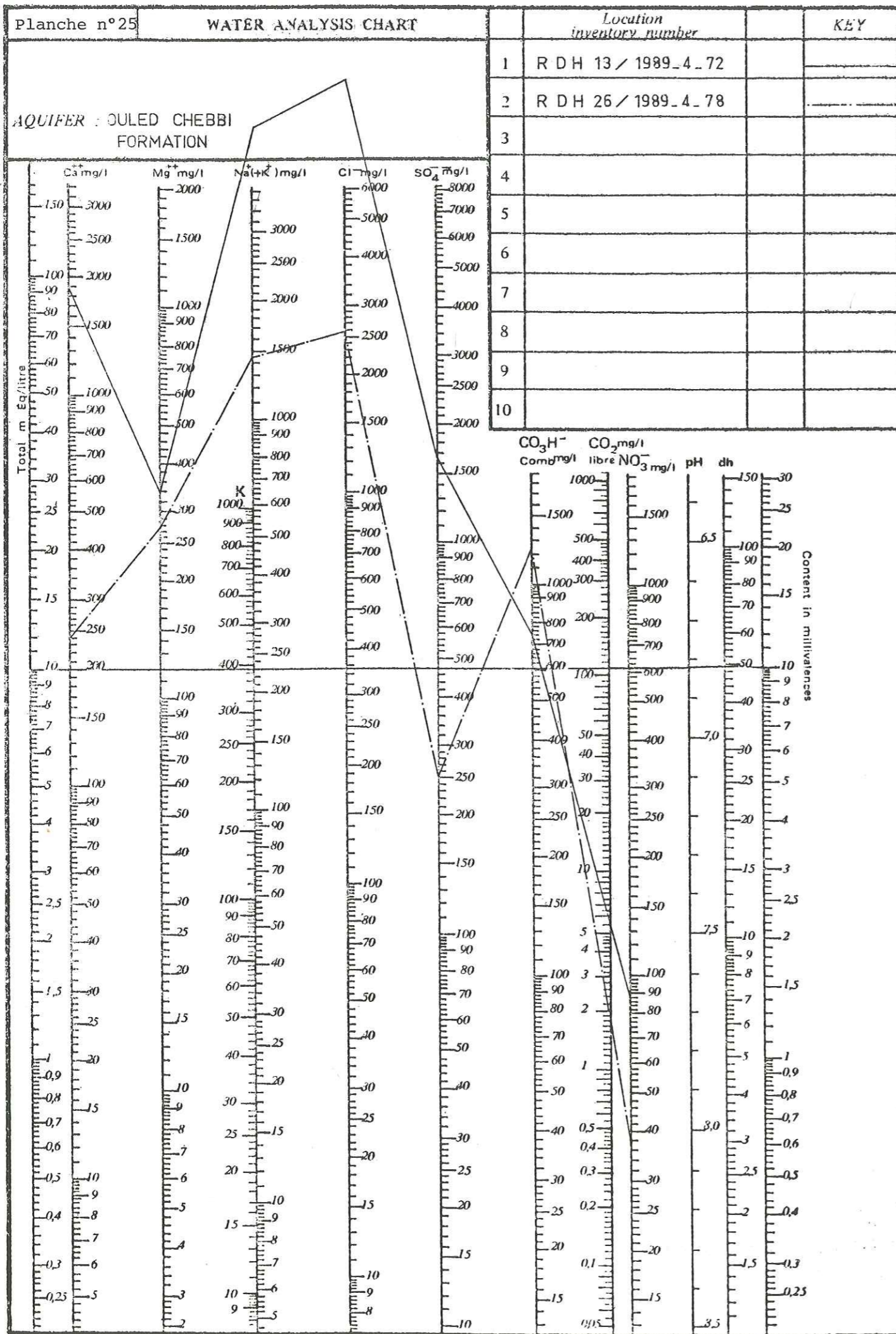
Les valeurs de la conductivité sont comprises entre 10 mmhos/cm (RDH 26) et 36,2 mmhos/cm (RDH 13).

IV-II- 1.2. - Principales caractéristiques

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques des eaux de la formation OULED CHEBBI en vue d'une éventuelle utilisation soit pour la consommation familiale, soit pour l'irrigation.

Conductivité (mmhos/cm)	10 à 36,2
T.D.S. réel (g/l)	6,25 à 20,17
dH degré français (mg/l de CaCO ₃)	175 à 602
S.A.R.	13,8 à 30,9
Classification pour l'irrigation	5 et hors diagramme
Concentration en bore (mg/l)	2,40 à 3,14

Dans la région étudiée, les eaux de cette formation sont impropres à l'irrigation et à fortiori à la consommation humaine.



IV-II- 2. CHIMIE DES EAUX DE LA FORMATION RAS HAMIA

La chimie des eaux de la formation RAS HAMIA n'est connue, dans la région étudiée, que sur 8 points d'eau répartis dans la région du Wadi ABU SHAYBAH (T3 - RDH 4 - RDH 24), la région du Wadi AL HIRA (RDH 13 - RDH 26) et la région de AL AZIZIYAH (AZDW 2 - RDH 3 - RDH 7)

IV-II- 2.1. - Faciès chimique et conductivité

Le faciès chimique de ces eaux chlorurées sodiques est celui de la planche n°26 page 182 et est identique à celui des eaux de la formation OULED CHEBBI.

La conductivité de ces eaux est comprise entre les valeurs extrêmes 4,2 mmhos/cm (RDH 14) et 34 mmhos/cm (RDH 13) mais la majorité des valeurs est comprise entre 4,2 et 12 mmhos/cm. Sur un même point d'eau la conductivité augmente généralement avec la profondeur du captage.

IV-II- 2.2. - Principales caractéristiques

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques des eaux de la formation RAS HAMIA en vue d'une éventuelle utilisation soit pour la consommation humaine, soit pour l'irrigation.

Conductivité (mmhos/cm)	4,2 à 12
T.D.S. réel (g/l)	2,74 à 8,12
dH degré français (mg/l de CaCO3)	36,9 à 310,7
S.A.R.	10,7 à 19,3
Classification pour l'irrigation	3d - 4d - 5
Concentration en bore (mg/l)	1,80 à 3,56

Les valeurs figurant sur ce tableau représentent des plages de valeurs dans lesquelles se situent la majorité des eaux.

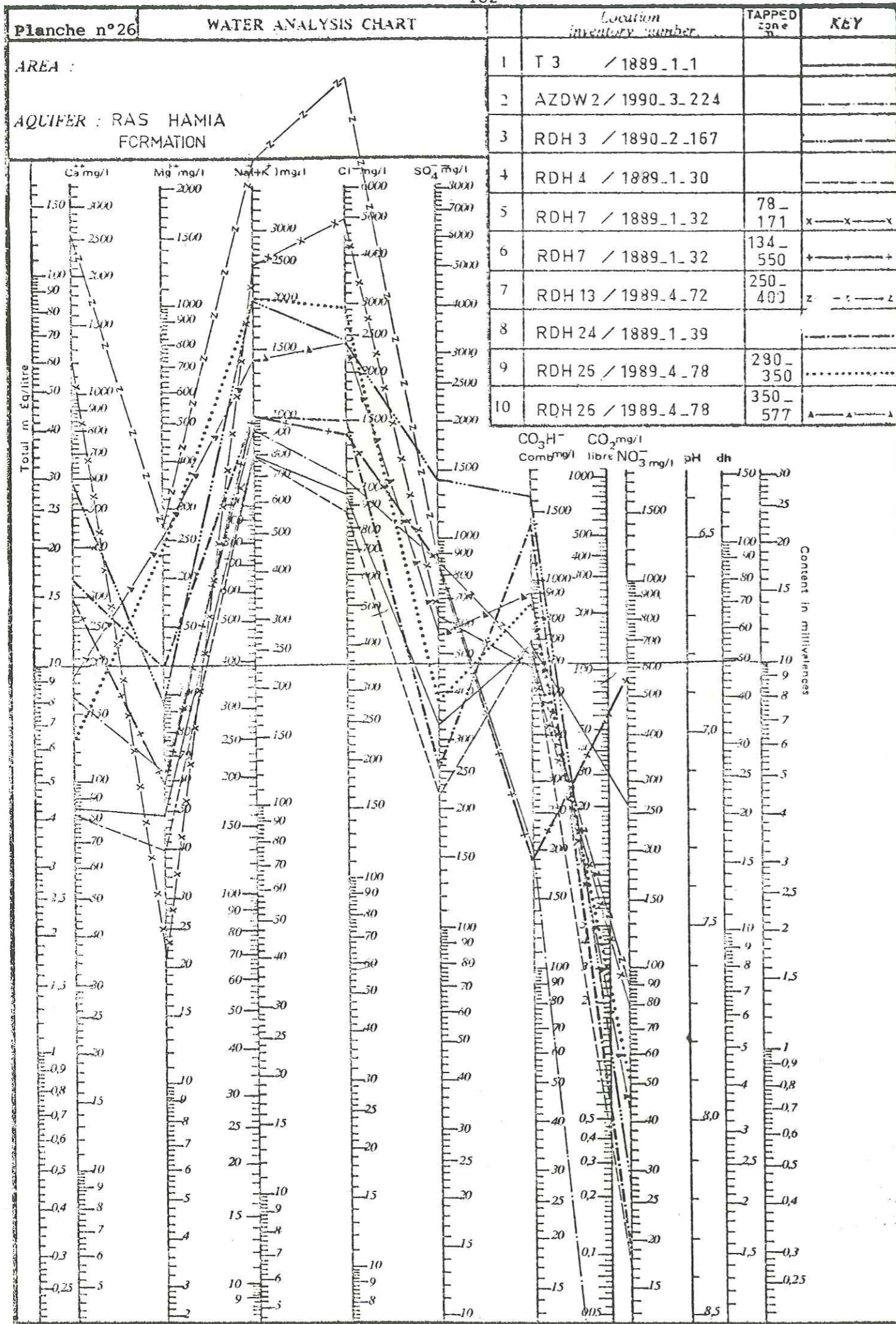
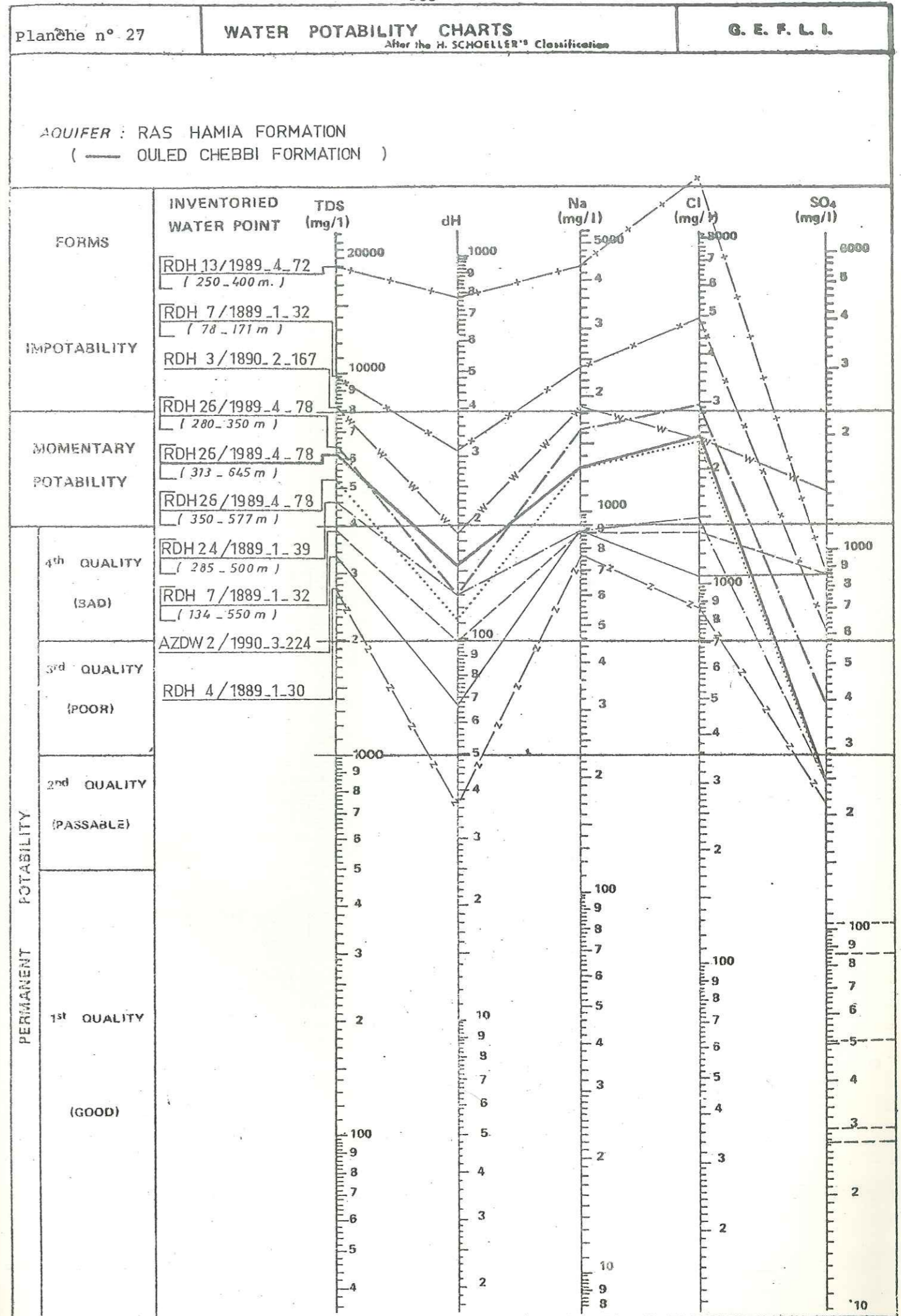


DIAGRAM AFTER SCHOELLER-BERKALOFF

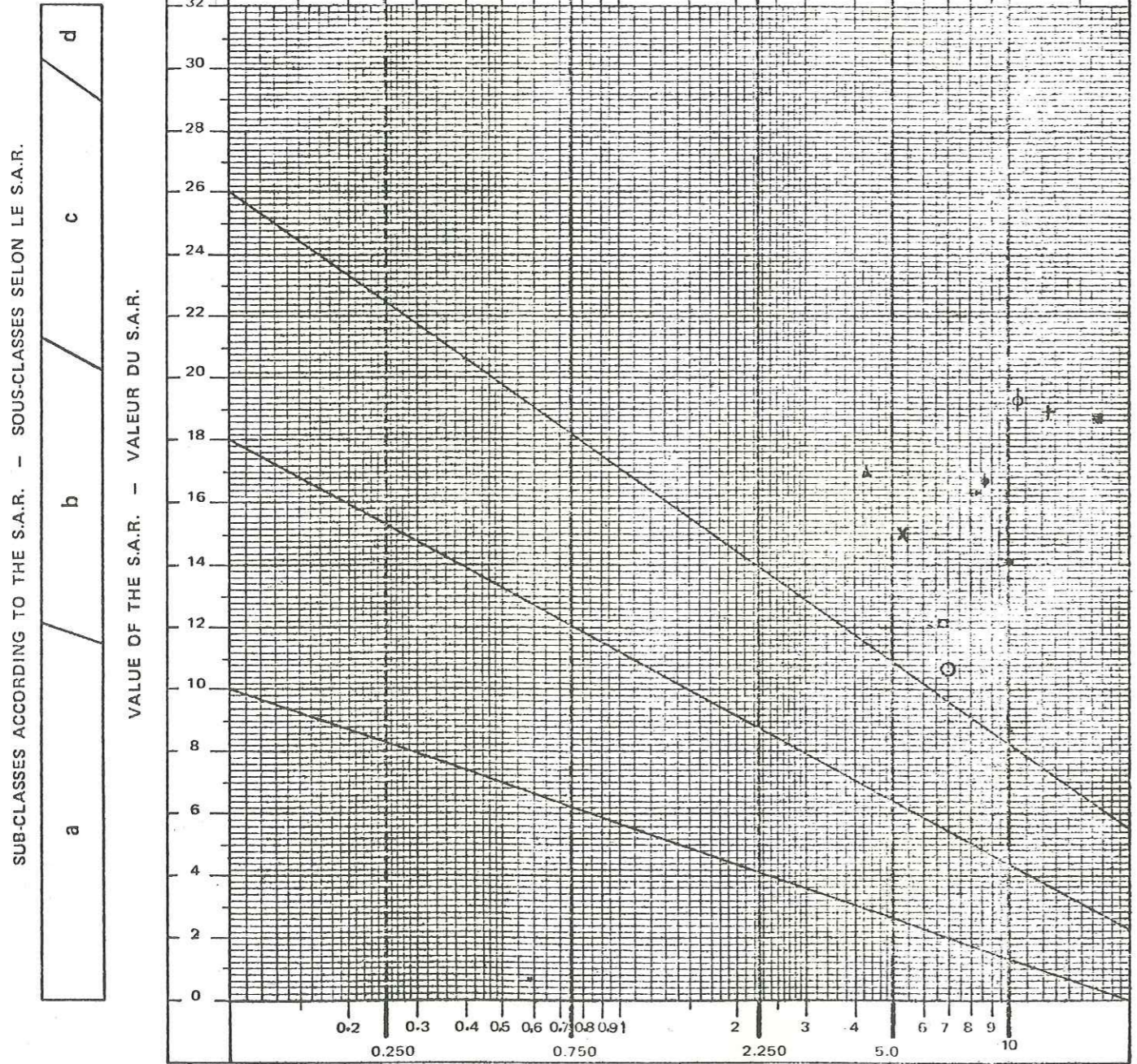


RAS HAMIA FORMATION

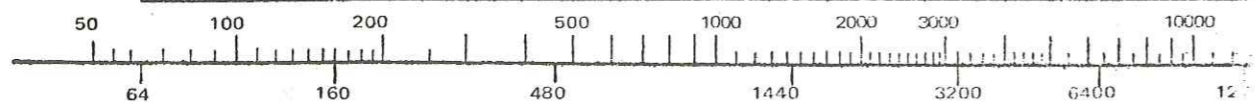
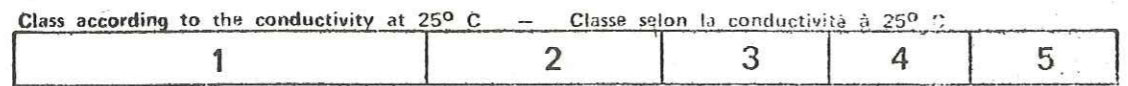
- RDH 26/1989.4.78 - 184 -
- ◆ RDH 3/1890.2.167
- ▲ RDH 4/1889.1.30
- RDH 7/1889.1.32 78-132m
- RDH 7/1889.1.32 134-550m
- RDH 24/1889.1.39 285-500m
- ⊕ RDH 26/1989.4.78 280-350m
- ⊖ RDH 26/1989.4.78 350-577m
- ⊗ RDH 26A/1989.4.95 90-120m
- x AZDW2/1990.3.224

CLASSIFICATION OF THE IRRIGATION WATERS
CLASSIFICATION DES EAUX D'IRRIGATION

TOTAL CONCENTRATION OF ANIONS OR CATIONS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITRE
CONCENTRATION TOTALE EN ANIONS OU CATIONS EN MILLIEQUIVALENTS PAR LITRE



Electrical conductivity in millimhos per cm at 25° C — Conductivité électrique en millimhos par cm à 25°C



APPROXIMATE CORRESPONDENCE WITH THE TOTAL DISSOLVED SALT CONTENT EXPRESSED IN ppm.
CORRESPONDANCE APPROXIMATIVE AVEC LA TENEUR EN SELS DISSOUS TOTAUX EXPRIMÉE EN ppm.

IV-II- 3. CHIMIE DES EAUX DE LA FORMATION AL AZIZIYAH

Les observations concernant la chimie des eaux de la formation AL AZIZIYAH sont inégalement réparties sur toute la région étudiée.

- 39 % des analyses proviennent du projet du Wadi AL HAY, projet dans lequel la plupart des points d'eau captent simultanément la formation AL AZIZIYAH et les formations sus-jacentes ABU SHAYBAH et recouvrement.

- 15 % des analyses proviennent de la région du Wadi AL HIRA.

- le reste est dispersé dans toute la région étudiée.

IV-II- 3.1. - Faciès chimiques

Les eaux de la formation AL AZIZIYAH sont des eaux sulfatées sodiques, sulfatées calciques et chlorurées sodiques.

On peut distinguer 7 faciès chimiques représentés sur les planches 29 à 35 pages 186 à 192 qui ont une répartition géographique variée.

Les faciès des planches n° 29-30-31-32 (eaux sulfatées calciques) sont localisés dans la zone ouest et principalement dans le projet du Wadi AL HAY et correspondent à des eaux dont la conductivité est supérieure à 4 mmhos/cm.

Le faciès de la planche n° 33 (eaux sulfatées calciques également) a une répartition géographique dispersée : on le rencontre dans les plaines du Wadi ABU SHAYBAH et du Wadi AL HIRA ainsi que dans la région de AL AZIZIYAH et correspond à des eaux dont la conductivité est comprise entre 2,5 et 4 mmhos/cm.

Le faciès de la planche n° 34 (eaux chlorurées sodiques) qui a une tendance au faciès des eaux de la formation RAS HAMIA et qui regroupe des eaux relativement douces comme celles du forage RDH 5 (faciès voisin de celui des eaux de la formation ABU SHAYBAH et du Wadi GHAN) et des eaux de conductivité supérieure à 5 mmhos/cm, n'a pas de localisation définie. Dans la majorité des cas, les eaux de ce faciès proviennent des horizons profonds de la formation AL AZIZIYAH ou de régions proches de failles d'effondrement.

Certaines eaux (eaux chlorurées sodiques) dont le faciès, comme celui de la planche n° 35, est identique au faciès des eaux de la formation RAS HAMIA, proviennent soit de la partie inférieure de la formation AL AZIZIYAH (RDH 12 par exemple), soit de régions situées au Sud et au Sud-Ouest de AL AZIZIYAH (RDH 14 par exemple) et correspondent à des eaux de conductivité très forte.

Planche n°29 WATER ANALYSIS CHART

AQUIFER : AL AZIZIYAH FORMATION

	Location inventory number	TAPPED zone	KEY
1	RDH 16 / 1889_4_71	35 - 109	B.S Form
2	B 14 / 1889_4_103		
3	B 18 / 1889_4_117		
4	B 20 / 1889_4_118		
5	B 26 / 1889_4_104		
6	B 31 / 1889_1_57		
7			
8			
9			
10			

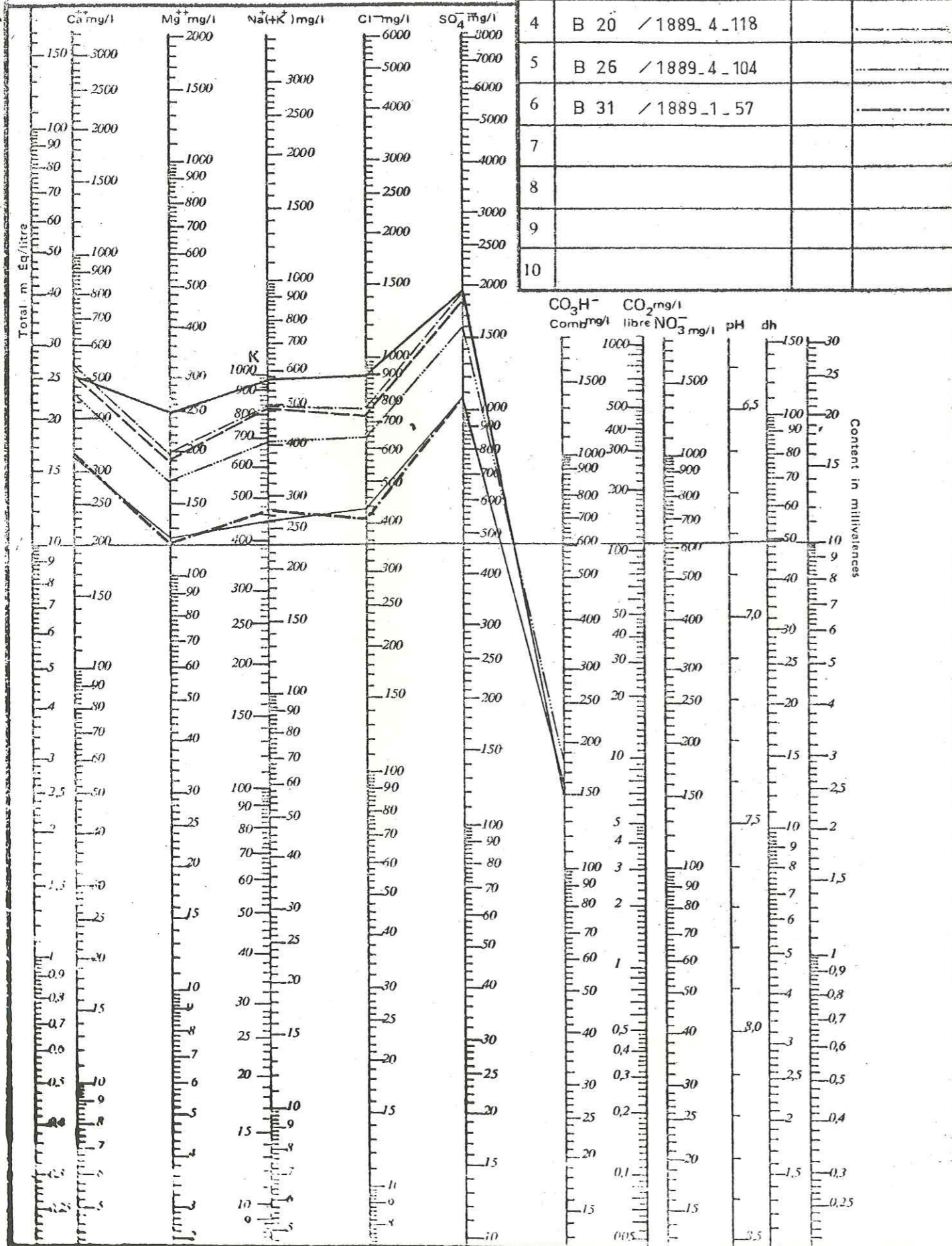


DIAGRAM AFTER SCHOELLER-BERKALOFF

Planche n°30 WATER ANALYSIS CHART

AQUIFER : AL AZIZIYAH FORMATION

	Location inventory number	KEY
1	PWH 6 / 1889_1_31	
2	T 3 / 1889_1_1	91_175
3	B 21 / 1889_4_35	
4	B 23 / 1889_4_86	
5	B 33 / 1889_4_88	x - x - x
6	B 41 / 1889_1_47	
7		
8		
9		
10		

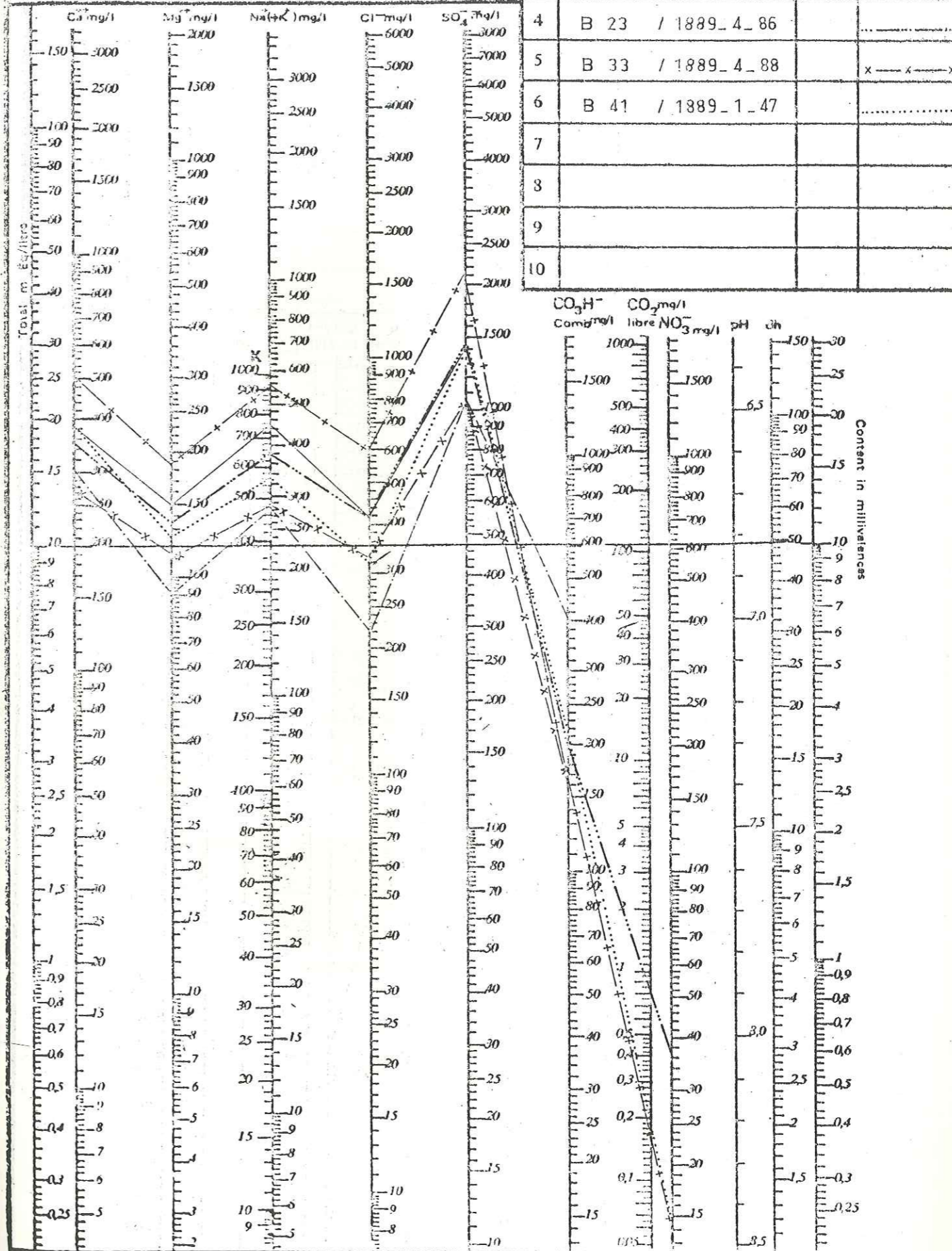
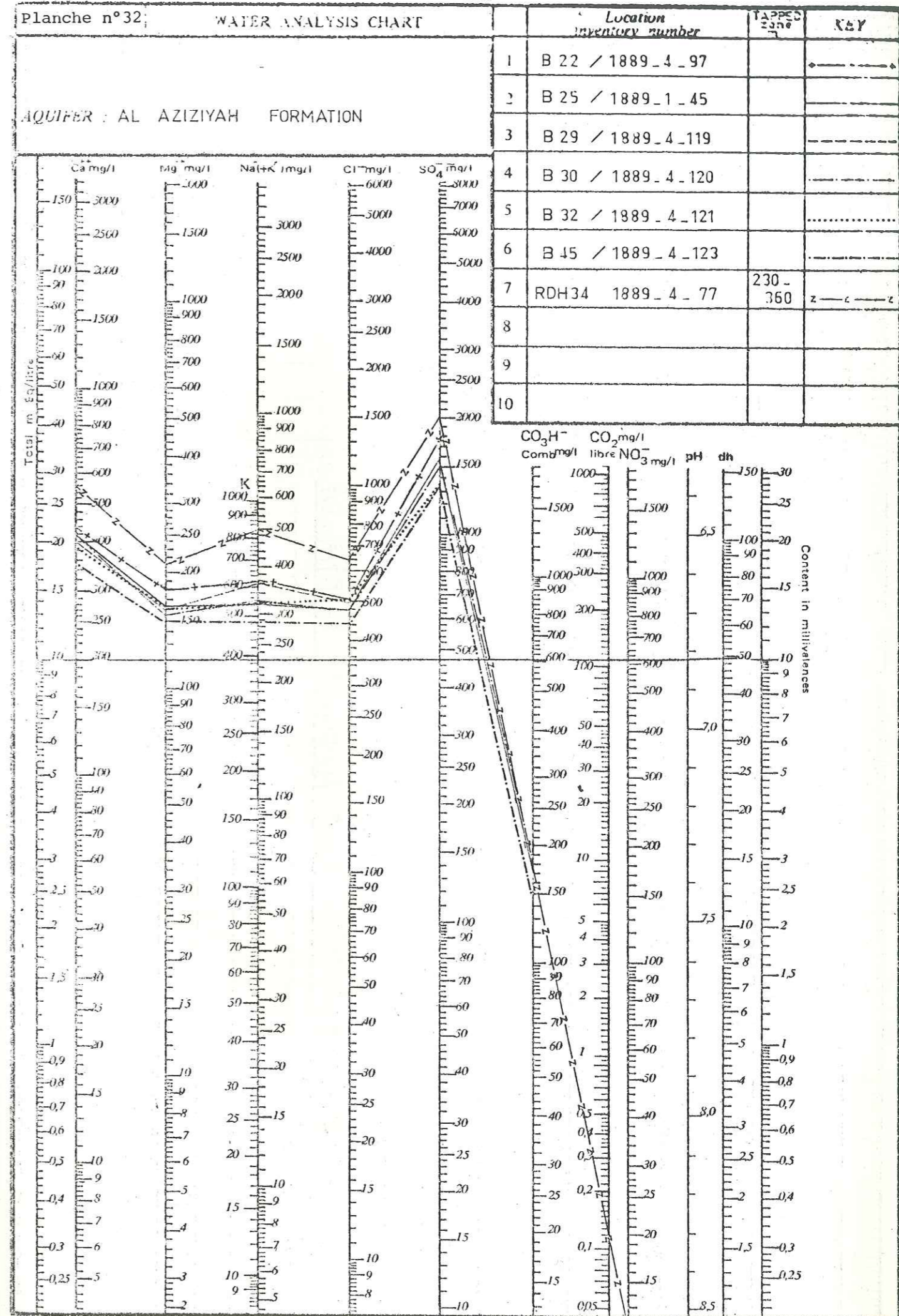
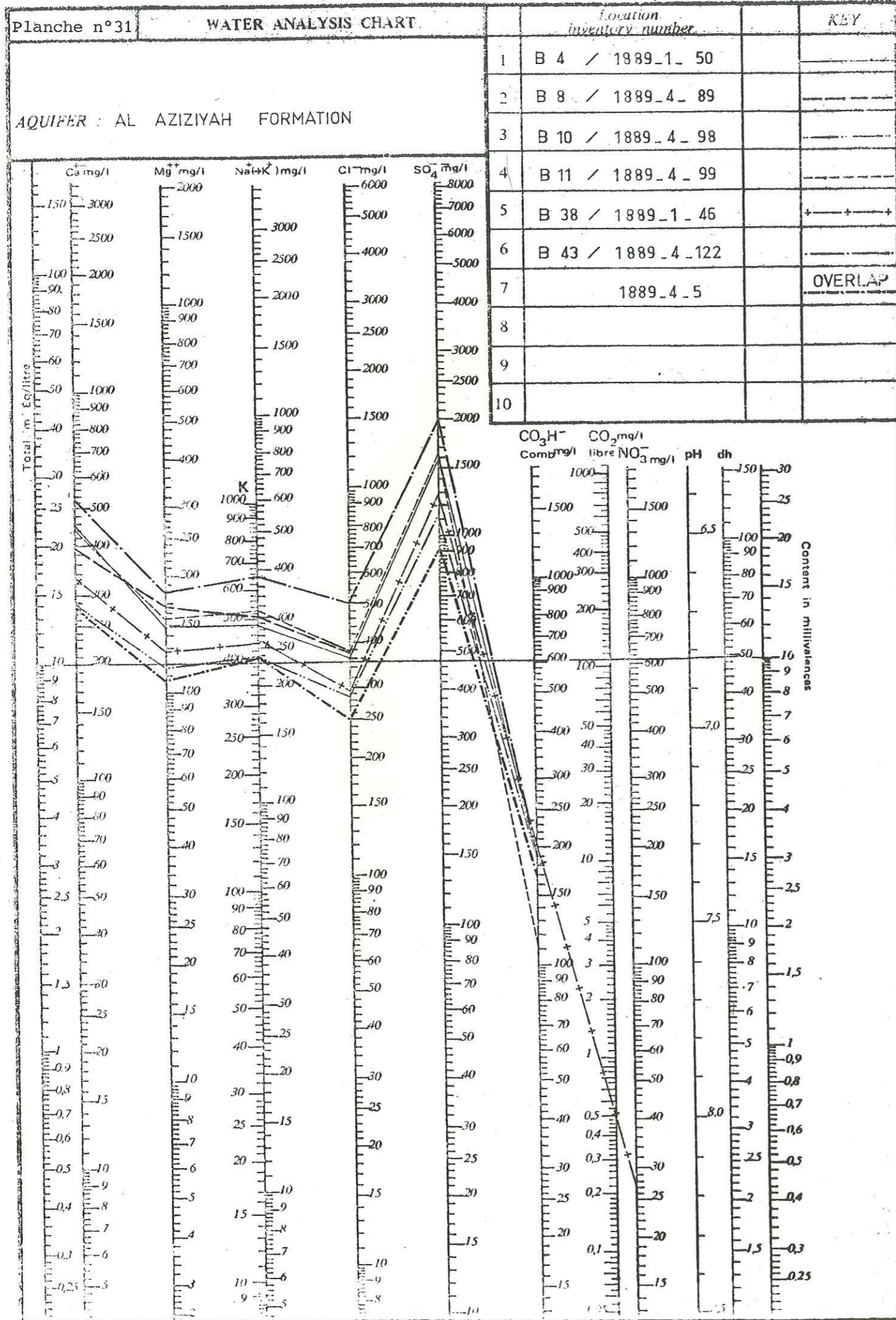


DIAGRAM AFTER SCHOELLER-BERKALOFF



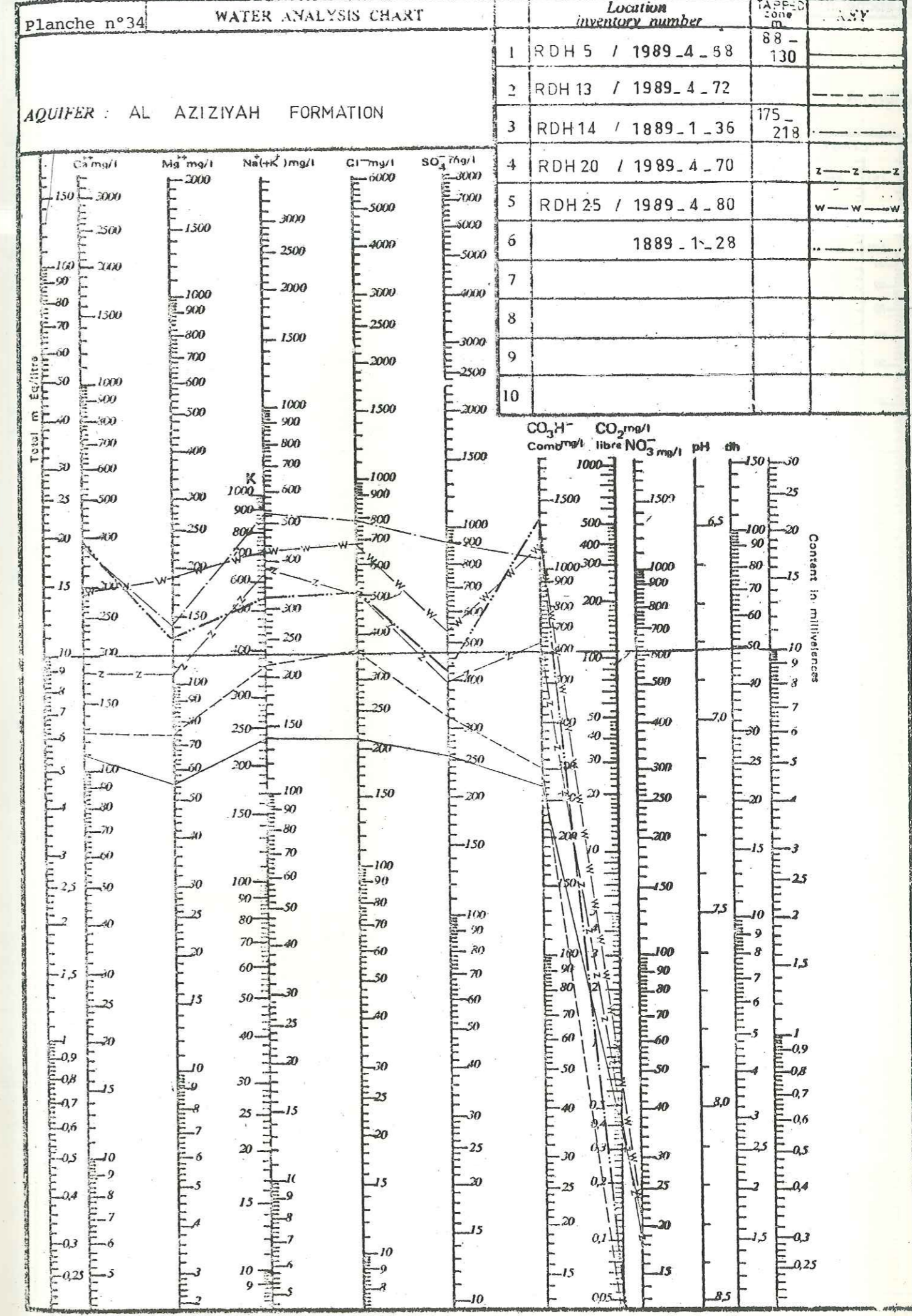
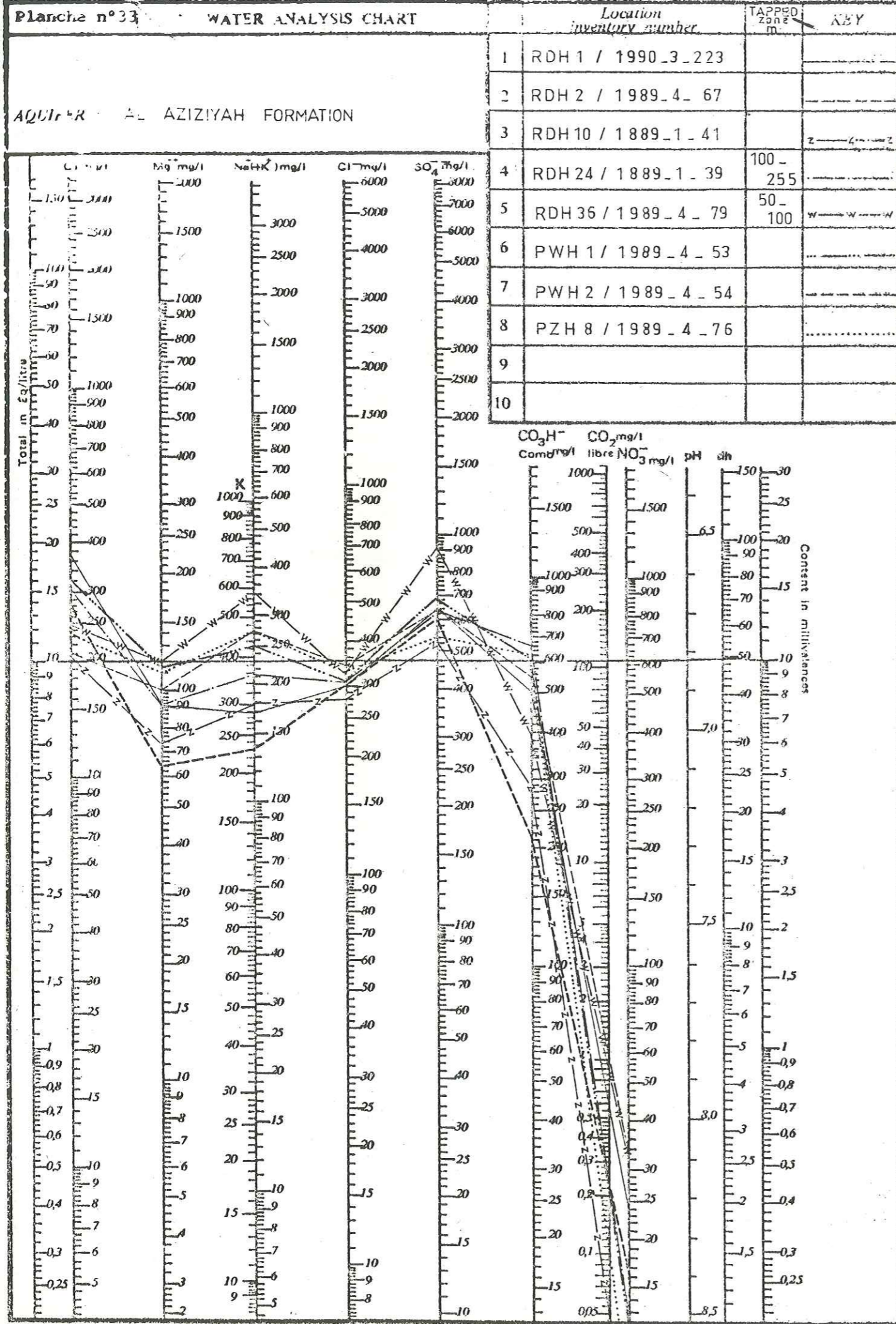


Planche n°35

WATER ANALYSIS CHART

Location
Inventory number

TAPPED
zone
m

DATE

AQUIFER : AL AZIZIYAH FORMATION

1	RDH 12 / 1989 - 4 - 66	133 - 200	
2	RDH 14 / 1889 - 1 - 36	3 - 139	
3	RDH 14 / 1889 - 1 - 36	75 - 152	
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

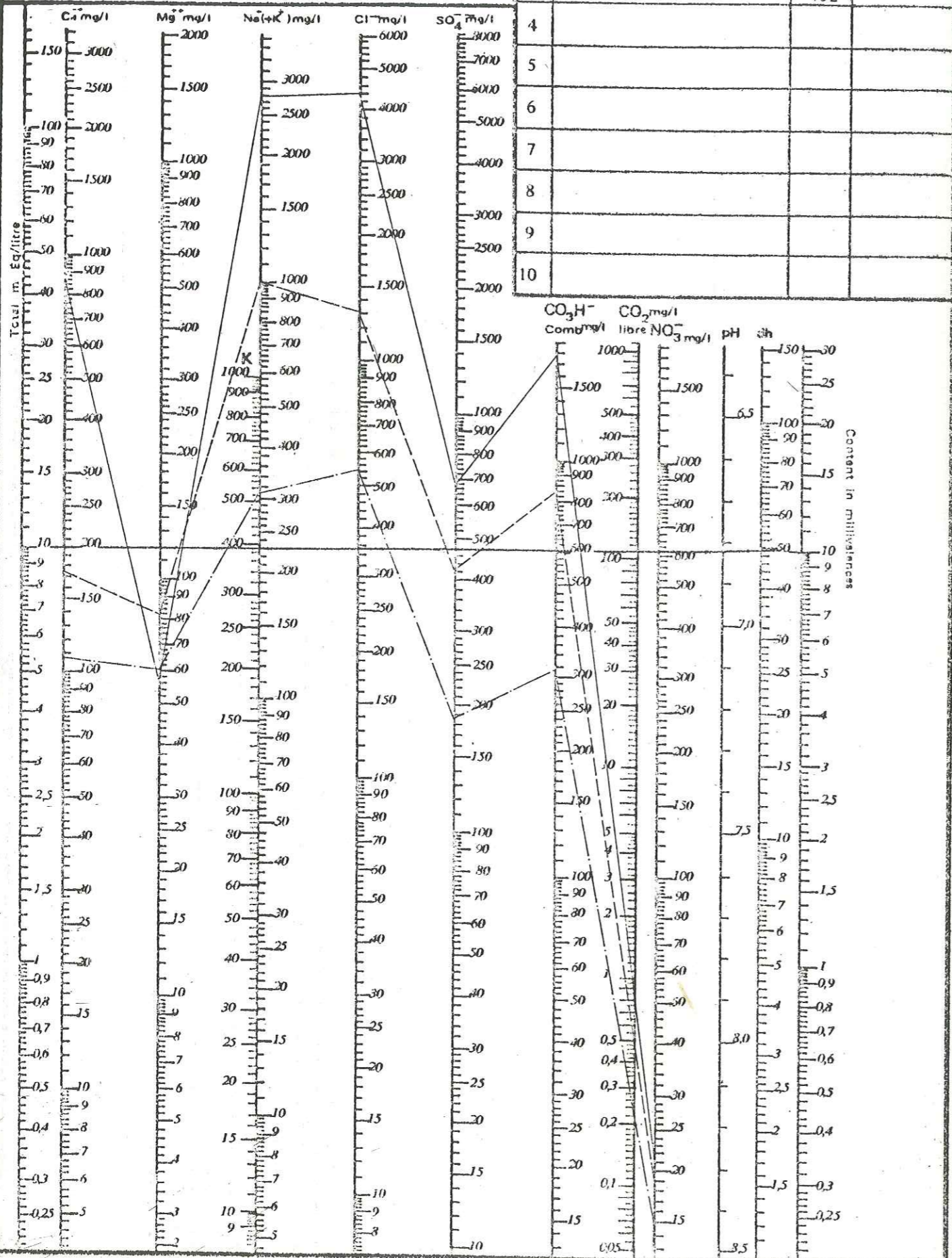


DIAGRAM AFTER SCHOELLER-BERKALOFF

IV-II- 3.2. - Conductivité

La conductivité des eaux de la formation AL AZIZIYAH est très variable et est comprise entre les valeurs extrêmes 1,5 mmhos/cm (horizon 5 de la formation AL AZIZIYAH sur RDH 5) et 16,9 mmhos/cm (RDH 12), mais la majorité de ces eaux ont une conductivité comprise entre 2,1 et 8 mmhos/cm comme on peut le voir sur la planche n° 36 page 193.

Si, sur certains points, la conductivité augmente lorsque la profondeur du captage augmente, cette constatation ne peut être étendue à toute la région étudiée car nombreux sont les points qui présentent des variations irrégulières en fonction de la profondeur.

Une carte des conductivités a été établie (planche n° 36 page 193). Cette dernière fait apparaître :

- trois zones de conductivités relativement faibles (valeurs comprises entre 2 et 3 mmhos/cm) situées, l'une dans les plaines du Wadi ABU SHAYBAH et du Wadi AL HIRA, les deux autres au Nord-Est et au Sud-Est de AL AZIZIYAH, (pour le forage RDH 5 la conductivité prise en compte est celles des eaux de l'horizon 3 de la formation AL AZIZIYAH) ;

- des zones de conductivité très forte (valeurs supérieures à 5 mmhos/cm) :

- . l'une de ces zones couvre toute la partie ouest de la région étudiée (régions du Wadi AL HAY et du Nord-Est de BIR AL GHANAM),
- . une autre est située dans la région des collines du Sud-Ouest de AL AZIZIYAH région dans laquelle la formation RAS HAMIA est soit sub-affleurante, soit peu profonde,
- . une autre zone est sensiblement centrée sur le forage RDH 13 (13 km au Sud de AL AZIZIYAH),
- . une dernière zone est centrée sur le KAF BATES au pied duquel affleure la formation RAS HAMIA.

IV-II- 3.3. - Potabilité

La potabilité des eaux de la formation AL AZIZIYAH est visualisée sur le diagramme de potabilité de la planche n° 37 page 196 sur lequel sont portées les valeurs minimale et maximale et les fréquences 0,1 et 0,9. Toutefois, l'interprétation de ce diagramme doit s'effectuer avec circonspection car 39 % des analyses proviennent de la même région (projet Wadi AR HAY).

AQUIFER : AL AZIZIYAH FORMATION

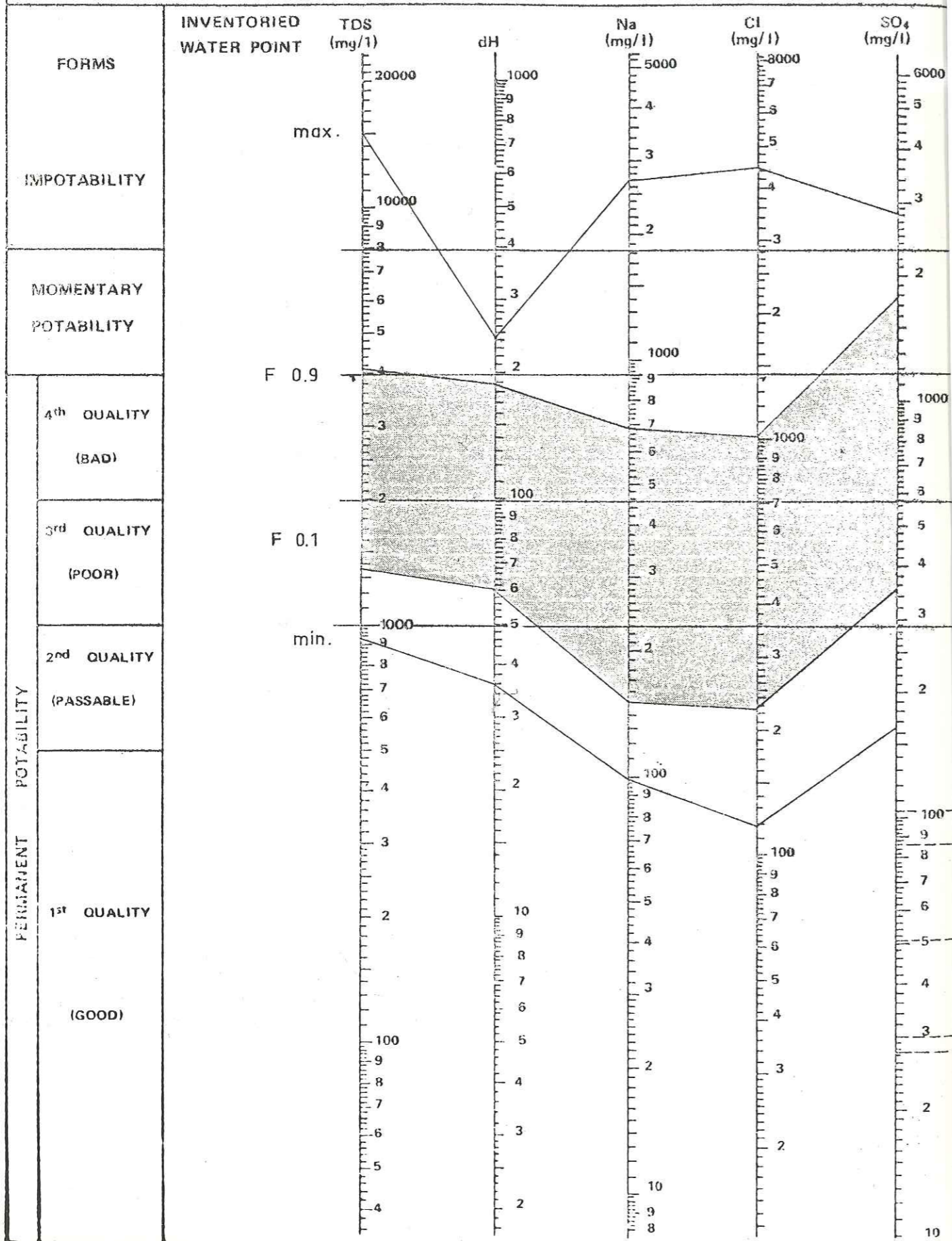


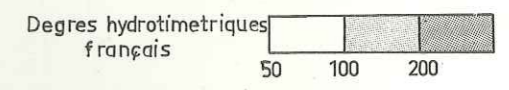
Planche n° 38

CARTE DES DEGRES HYDROMETRIQUES FRANÇAIS DES EAUX DE LA FORMATION ALAZIZIYAH

- LEGENDE -

- Puits
- ⊕ Forage non artésien
- ⊕ Forage artésien
- Source
- ⊕ Nom du puits
- Nombre de puits dans le système WPI (Water Resources Inventory)

Le point d'eau 32 appartient à la carte au 1:50 000 1889 I, son numéro dans le système WPI zone 109 1722



100 Courbe d'égal degré hydrométrique

RDH2 92

Valeur du degré hydrométrique et point d'eau correspondant

Limite sud d'extension des argiles ve

Pointements de la formation RAS HA l'intérieur du réservoir

Faille



Assemblage des cartes au 1:50 000

1870 III	1870 II	1870 I	1870 II	1870 III
1889 IV	1889 I	1889 II	1889 III	1889 IV
1899 III	1899 I	1899 II	1899 III	1899 IV

Équidistance des courbes 100 mètres sur une plaine 50 mètres

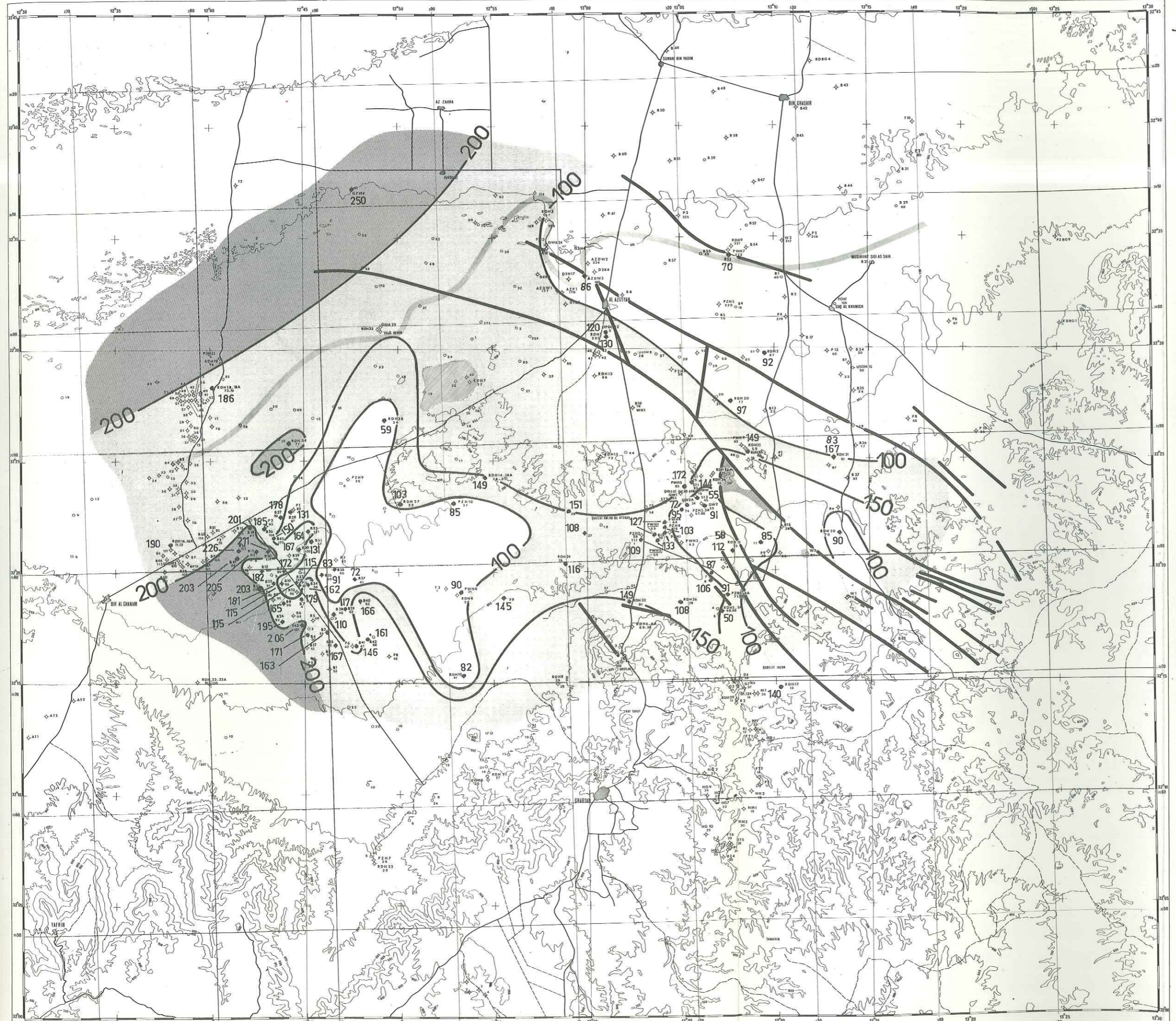


Planche n° 39

CARTE DES CONCENTRATIONS EN ION Cl⁻ DES EAUX DE LA FORMATION AL AZIZIYAH

- LEGENDE -

- Puits
 - ◇ Forage non artésien
 - ⊕ Forage artésien
 - ⊙ Source
 - RDH2 Nom du puits
 - 22 Numéro de puits dans le système WRI (Water Resources Inventory)
- Le point d'eau 30 appartenant à la carte au 1:500 000 1889 I, son numéro dans le système WRI sera 1029 1122



- 700- Courbe d'égale concentration (mg/L)
- RDH2 33 Dixième de la concentration (mg/L) en ion Cl⁻ et point d'eau correspondant
- ~ Limite sud d'extension des "argiles vertes"
- ▨ Pointements de la formation RAS HAMIA à l'intérieur du réservoir
- Faille



Assemblage des cartes au 1:50 000

32°45'	12°35'	12°45'	12°55'	13°05'	13°15'	13°25'	13°35'
1870 III	1870 II	1870 III	1870 II	1870 III	1870 II	1870 III	1870 II
32°30'	12°35'	12°45'	12°55'	13°05'	13°15'	13°25'	13°35'
1870 IV	1870 I	1870 IV	1870 I	1870 IV	1870 I	1870 IV	1870 I
32°15'	12°35'	12°45'	12°55'	13°05'	13°15'	13°25'	13°35'
1870 III	1870 II	1870 III	1870 II	1870 III	1870 II	1870 III	1870 II
32°00'	12°35'	12°45'	12°55'	13°05'	13°15'	13°25'	13°35'

Équidistance des courbes : 100 mètres sauf en plaine 50 mètres

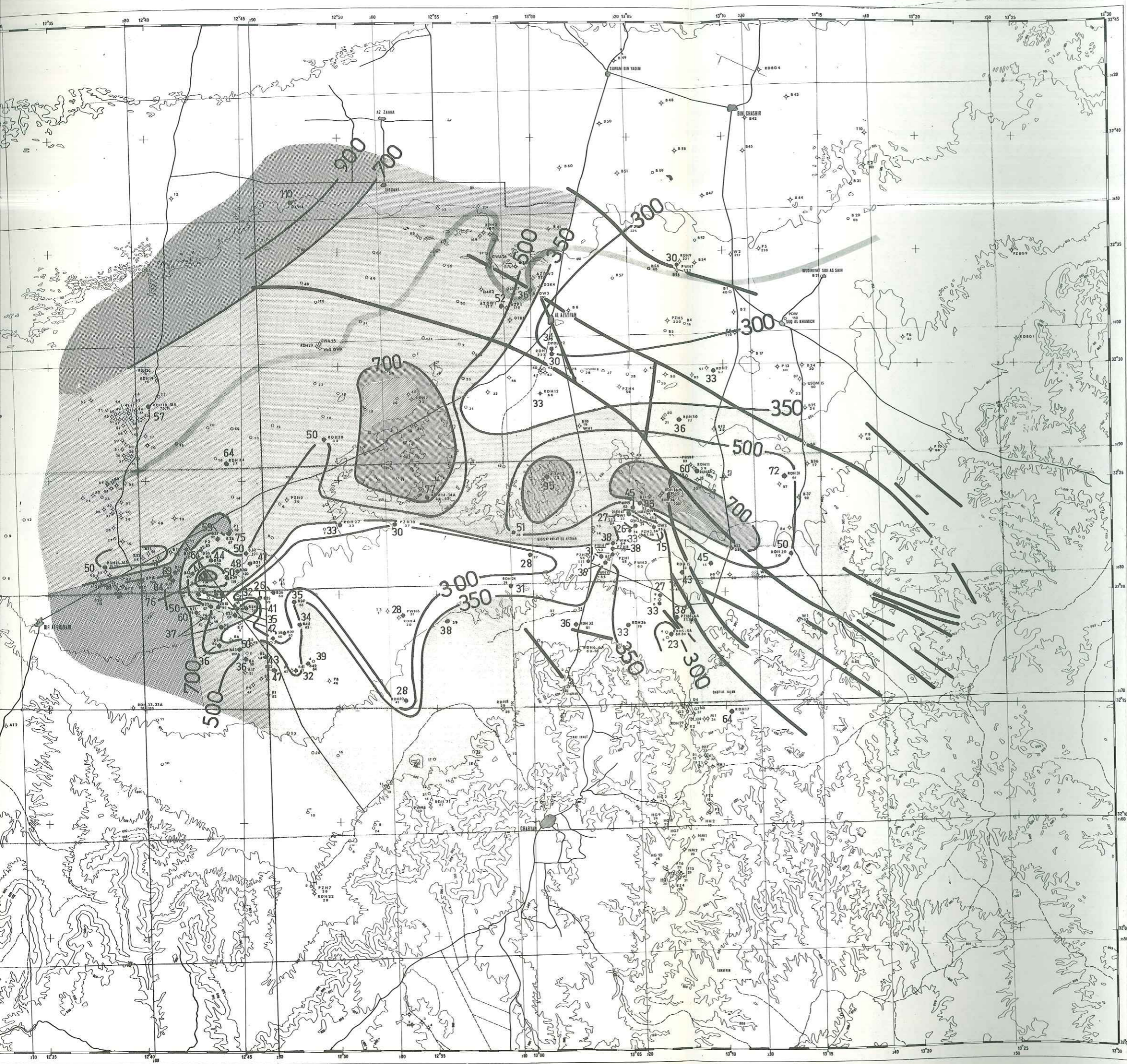
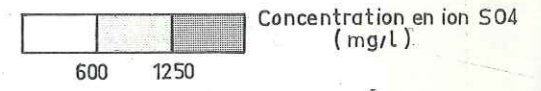


Planche n° 40

CARTE DES CONCENTRATIONS EN ION SO_4^{2-} DES EAUX DE LA FORMATION AL AZIZIYAH

- LEGENDE -

- Puits
- Forage non artésien
- Forage artésien
- Source
- Nom du puits
- Nombre du puits dans le système WRI (Water Resources Inventory)
- Le point d'eau 30 appartenant à la carte au 1:50 000 1989 I, son numéro dans le système WRI sera 009 1/32



600

RDH 2 58

Courbe d'égale concentration (mg/L)

Dixième de la concentration (mg/L) en ion SO_4 et point d'eau correspondant

Limite sud d'extension des "argiles vertes"

Pointements de la formation RAS HAMIA à l'intérieur du réservoir

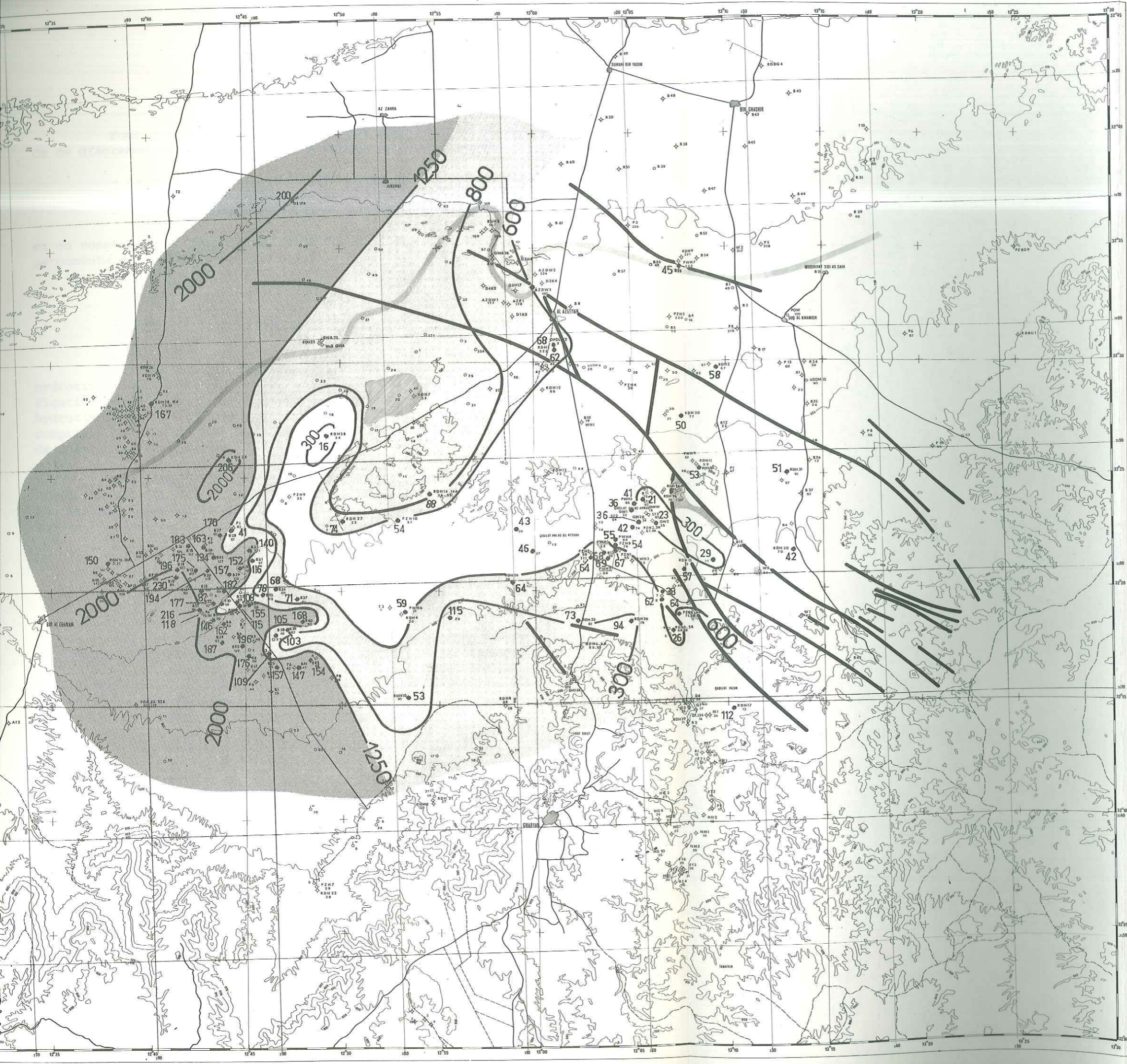
Faille



Assemblage des cartes au 1/50 000

1989 I	1989 II	1989 III	1989 IV
1989 V	1989 VI	1989 VII	1989 VIII
1989 IX	1989 X	1989 XI	1989 XII

Équidistance des courbes : 100 mètres sur un plan à 50 mètres



Pour une meilleure interprétation quantitative et géographique de ce diagramme de potabilité, trois cartes ont été dressées :

- carte des degrés hydrotimétriques en degré français,
- carte des concentrations en ion Cl^- ,
- carte des concentrations en ion SO_4^{--} ,

et on constate que, dans la majorité des cas, les eaux sont de potabilité permanente de 3ème et 4ème qualités.

IV-II- 3.3.1. - Carte des degrés hydrotimétrique (planche n°38 page 197)

Sur cette carte sont tracées certaines courbes d'égal degré hydrotimétrique. Les courbes 100 et 200, choisies en fonction de la classification de la potabilité des eaux, déterminent des plages dont les degrés hydrotimétrique sont inférieurs à 100 (eaux de 2ème et 3ème qualités), compris entre 100 et 200 (eaux de 4ème qualité) et supérieure à 200 (eaux de potabilité momentanée).

Les plus forts degrés hydrotimétriques sont observés dans la région du Wadi AL HAY et les plus faibles degrés dans la plaine du Wadi ABU SHAYBAH, dans celle du Wadi AL HIRA et au Nord d'une ligne Nord-Ouest Sud-Est passant par AL AZIZIYAH.

IV-II- 3.3.2. - Carte de concentration en ion Cl^- (planche n°39 page 199)

Sur cette carte sont tracées certaines courbes isochlorures. Les courbes 350 et 700, choisies en fonction de la classification de la potabilité des eaux, déterminent des plages dont les concentrations en ion Cl^- sont inférieures à 350 mg/l (eaux de 2ème qualité), comprises entre 350 et 700 mg/l (eaux de 3ème qualité) et supérieure à 700 mg/l (eaux de 4ème qualité et de potabilité momentanée). On trouve :

- trois régions dans lesquelles les concentrations en ion Cl^- sont supérieures à 700 mg/l. Ces régions correspondent sensiblement à celles dont les conductivités des eaux sont supérieures à 5 mmhos/cm. L'une est située à l'Ouest dans la région du Wadi AL HAY, l'autre au Nord-Ouest de la région étudiée, la dernière s'étend sous forme de plages d'Est en Ouest du Wadi MEJENIN aux collines du Sud-Ouest de AL AZIZIYAH.

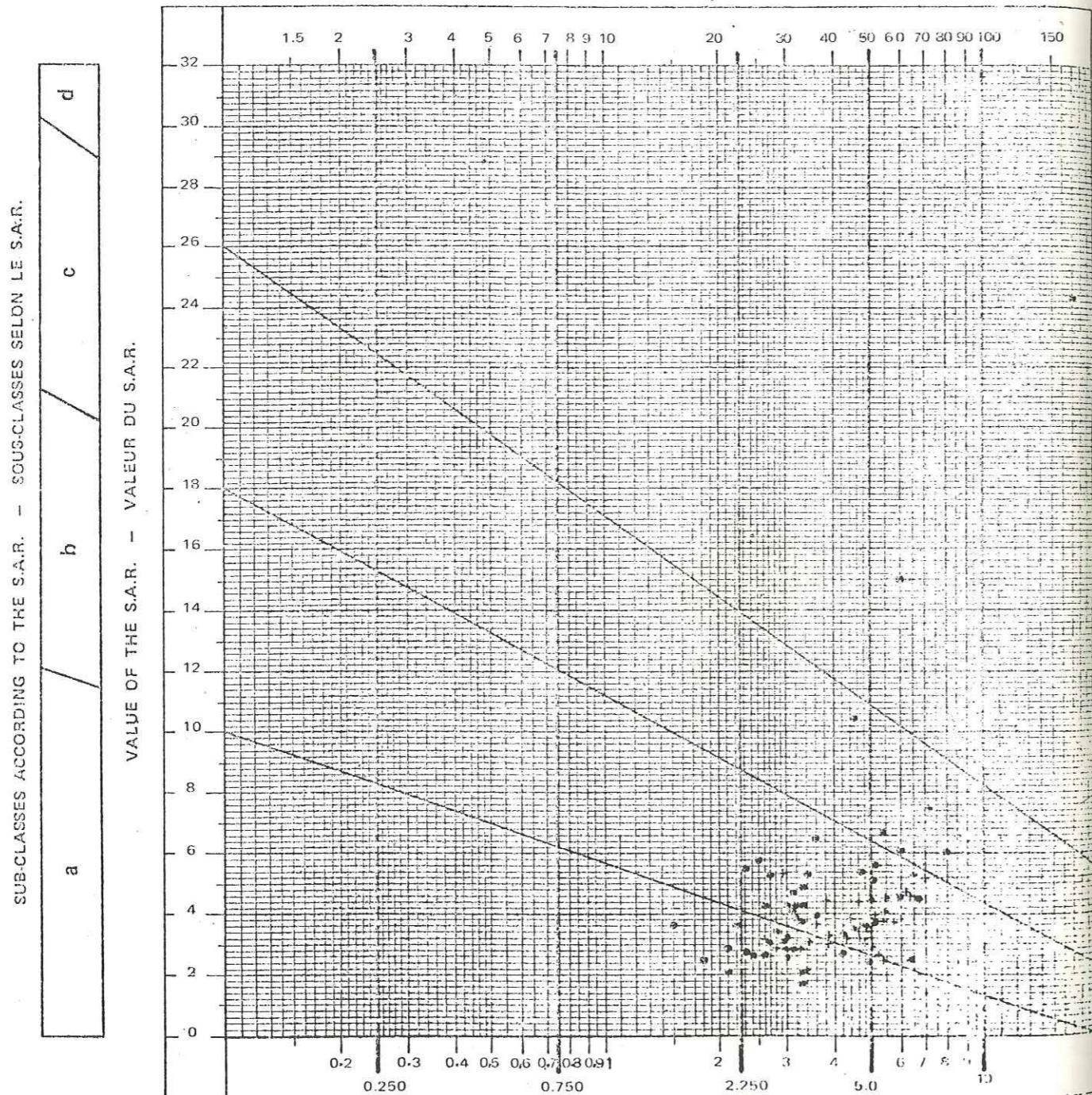
- les plus faibles concentrations en ion Cl^- , dans la plaine du Wadi ABU SHAYBAH, dans celle du Wadi AL HIRA (ferme d'Etat et amont du wadi en particulier), à l'Est et au Sud-Est de AL AZIZIYAH.

- + WADI AL HAY project
- OTHER REGIONS

AL AZIZIYAH FORMATION -

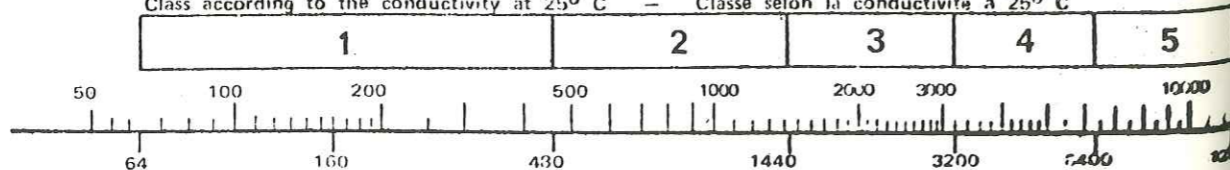
CLASSIFICATION OF THE IRRIGATION WATERS
CLASSIFICATION DES EAUX D'IRRIGATION

TOTAL CONCENTRATION OF ANIONS OR CATIONS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITRE
CONCENTRATION TOTALE EN ANIONS OU CATIONS EN MILLIEQUIVALENTS PAR LITRE



Electrical conductivity in millimhos per cm at 25° C - Conductivité électrique en millimhos par cm à 25° C

Class according to the conductivity at 25° C - Classe selon la conductivité à 25° C



APPROXIMATE CORRESPONDENCE WITH THE TOTAL DISSOLVED SALT CONTENT EXPRESSED IN ppm.
CORRESPONDANCE APPROXIMATIVE AVEC LA TENEUR EN SELS DISSOUS TOTAUX EXPRIMÉE EN ppm.

IV-II- 3.3.3. - Carte de concentration en ion SO_4^{--} (planche n°40 page 201)

Sur cette carte sont tracées certaines courbes d'égale concentration en ion SO_4^{--} . Les courbes 600 et 1250, choisies en fonction de la classification de la potabilité des eaux, déterminent des plages dont les concentrations en ion SO_4^{--} sont inférieures à 600 mg/l (eaux de 2ème et 3ème qualités), comprises entre 600 et 1250 mg/l (eaux de 4ème qualité) et supérieures à 1250 mg/l (eaux de potabilité momentanée).

Les plus fortes concentrations en ion SO_4^{--} sont observées dans la région du Wadi AL HAY, ceci étant dû à la présence toute proche des gypses de BIR AL GHANAM ainsi qu'à la présence de gypse au sein de la formation AL AZIZIYAH.

Les concentrations décroissent vers l'Est pour atteindre les valeurs minimales dans la plaine du Wadi AL HIRA (ferme d'Etat particulièrement).

IV-II- 3.4. - Principales caractéristiques

Le tableau ci-après résume les principales caractéristiques des eaux de la formation AL AZIZIYAH en vue d'une éventuelle utilisation, soit pour la consommation familiale, soit pour l'irrigation.

Conductivité (mmhos/cm)	2,1 à 8
T.D.S. réel (g/l)	1,34 à 5,13
dH degré français (mg/l de CaCO3)	80 à 190
S.A.R.	1,7 à 7,0
Classification pour l'irrigation	2a-3a-3b-4b-4c
Concentration en bore (mg/l)	0,20 à 1,33

Les valeurs figurant sur ce tableau ne sont pas des valeurs extrêmes mais représentent des plages de valeurs dans lesquelles se situent la majorité des eaux.

IV-II- 4. - CHIMIE DES EAUX DE LA FORMATION ABU SHAYBAH

La chimie des eaux de la formation ABU SHAYBAH n'est connue, dans la région étudiée, que sur une douzaine de points d'eau dont la plupart sont situés à l'Ouest et au Nord-Ouest de la plaine du Wadi ABU SHAYBAH et en pied de Jebel.

IV-II- 4.1. - Faciès chimiques

Les eaux, sulfatées calciques, et chlorurées sodiques ont des faciès dont la répartition géographique est la suivante :

- le faciès sulfaté calcique de la planche n° 42 page 207 est localisé à l'Ouest et au Nord-Ouest de la plaine du Wadi ABU SHAYBAH et en pied de Jebel dans le domaine à l'Ouest de GHARYAN ;

- l'autre faciès (planche n° 43 page 208) est localisé en plaine (compartiment effondré et Est de AL AZIZIYAH) et en pied de Jebel dans le domaine à l'Est de GHARYAN.

IV-II- 4.2. - Conductivité

La conductivité de ces eaux est comprise entre les valeurs extrêmes 1,4 mmhos/cm (RDH 29) et 6,5 mmhos/cm (RDH 6), mais la majorité des valeurs est comprise entre 1,4 mmhos/cm et 4,5 mmhos/cm (planche n°45 page 210). Les conductivités les plus faibles sont observées, dans la plupart des cas, dans les niveaux supérieurs de l'aquifère en pied de Jebel et principalement le long de la vallée du Wadi GHAN.

IV-II- 4.3. - Principales caractéristiques

Le tableau page 211 résume les principales caractéristiques des eaux de la formation ABU SHAYBAH en vue d'une éventuelle utilisation soit pour la consommation familiale, soit pour l'irrigation.

Planche n°42

WATER ANALYSIS CHART

AREA : JEBEL FOOT IN THE SECTOR WEST OF GHARYAN AND WEST OF THE WADI ABU SHAYBAH PLAIN
AQUIFER : ABU SHAYBAH FORMATION

Location Inventory Number	Zone	ESV
1 PWH 3 / 1889_2_30		
2 RDH 15 / 1889_4_71	35-109	
3 RDH 21 / 1889_2_27	11-51	
4 RDH 22 / 1889_2_28		
5 RDH 34 / 1889_4_77	124-185	
6 1889_4_7		
7		
8		
9		
10		

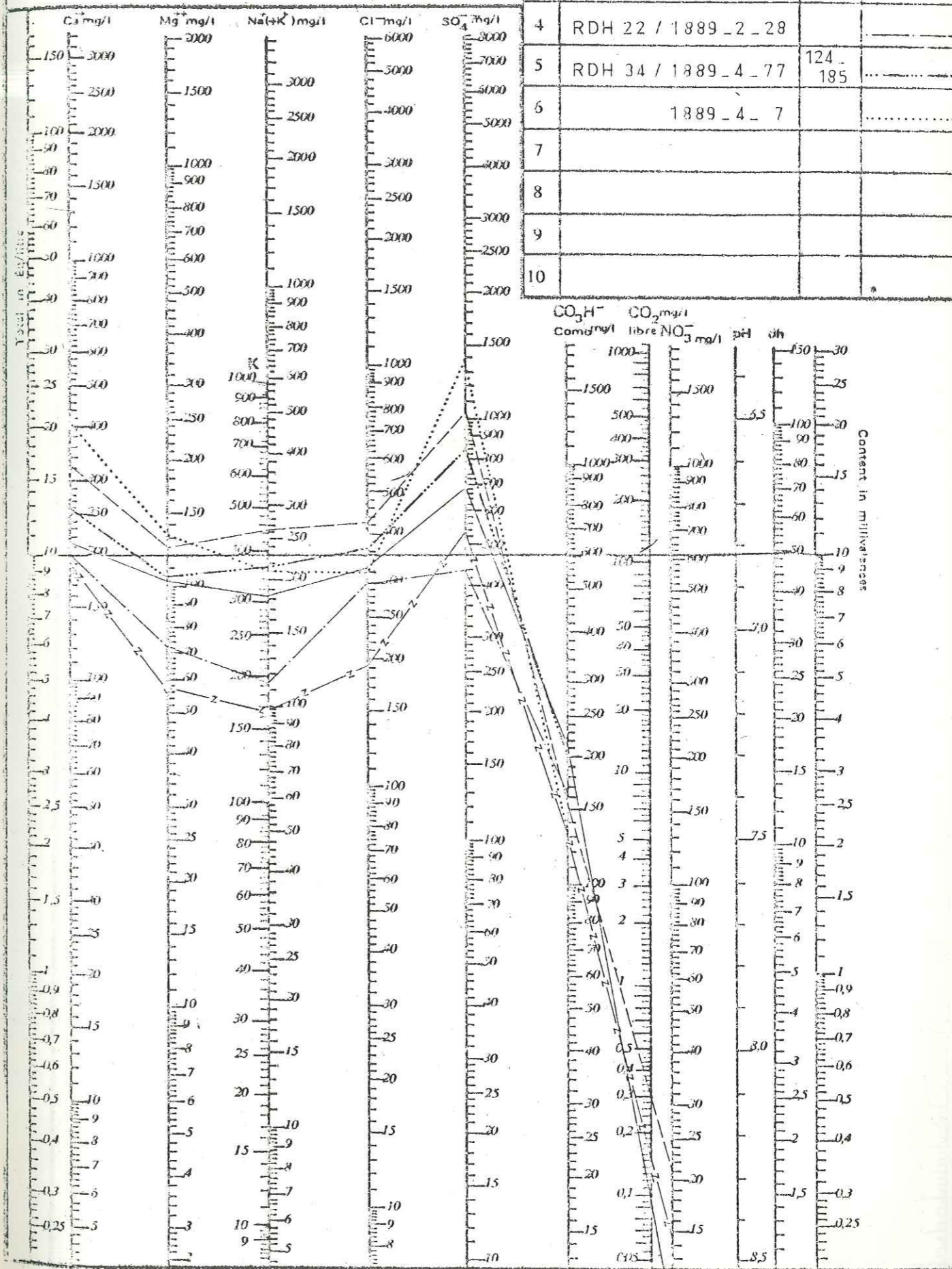


DIAGRAM AFTER SCHOELLER-BERKALOFF

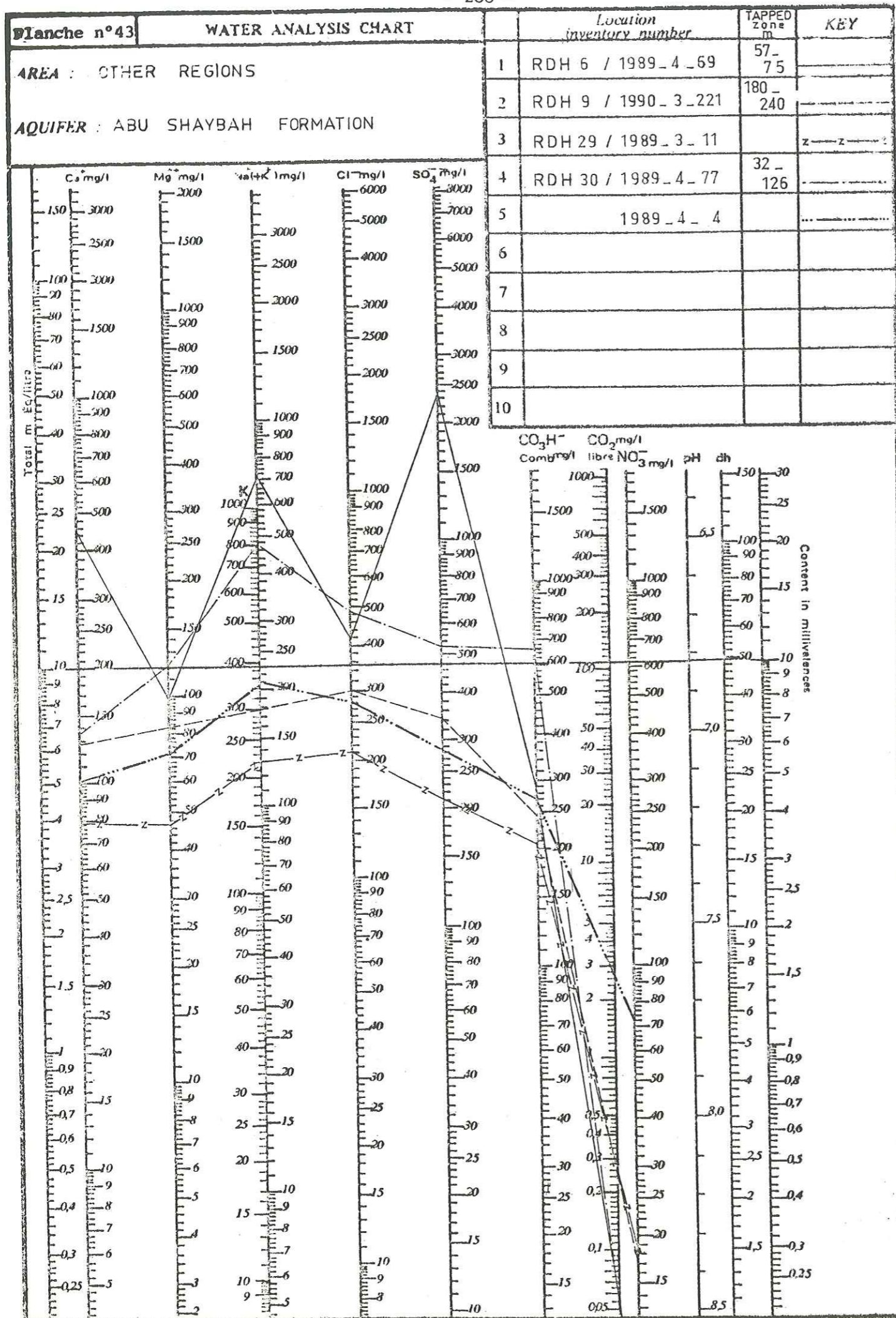
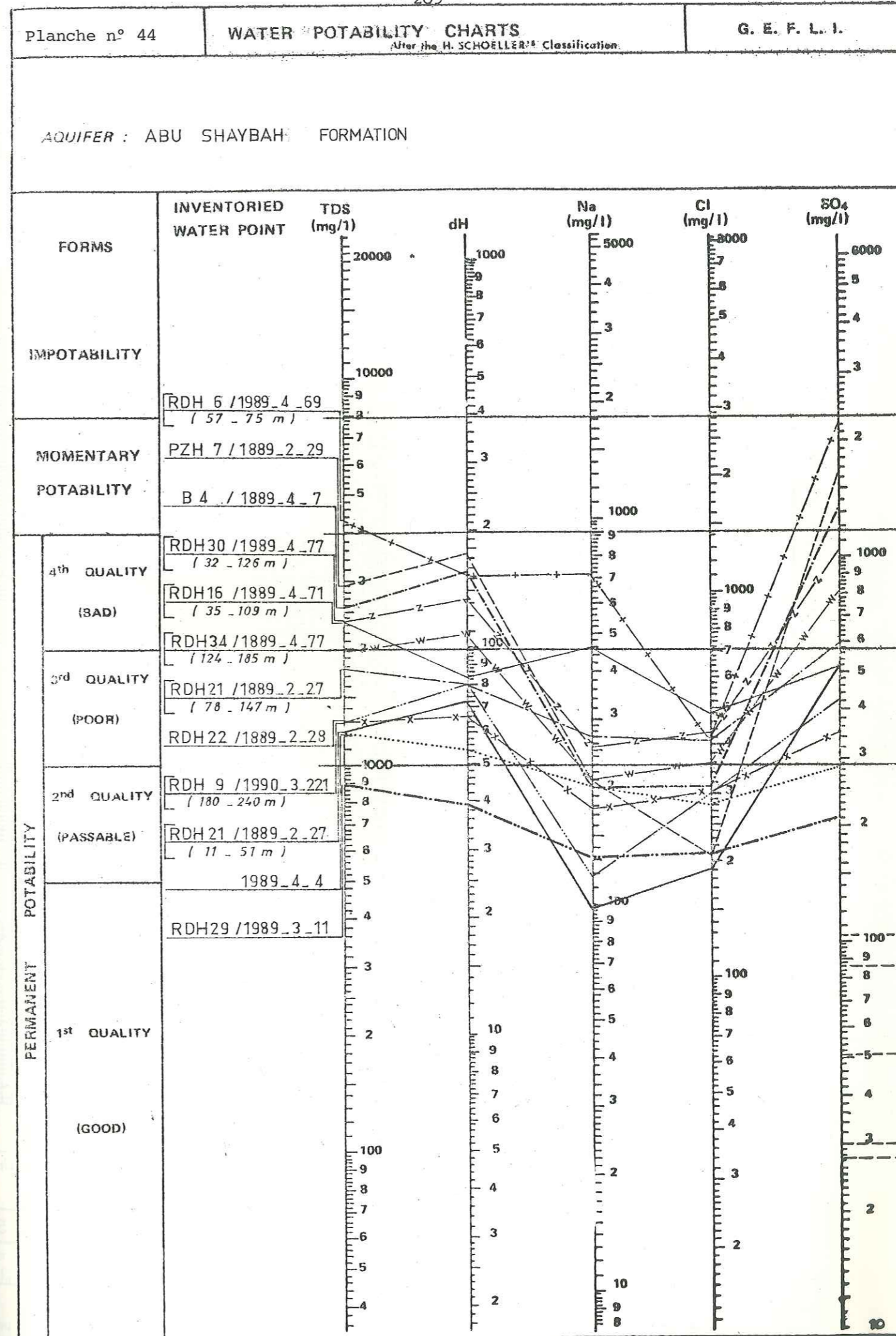


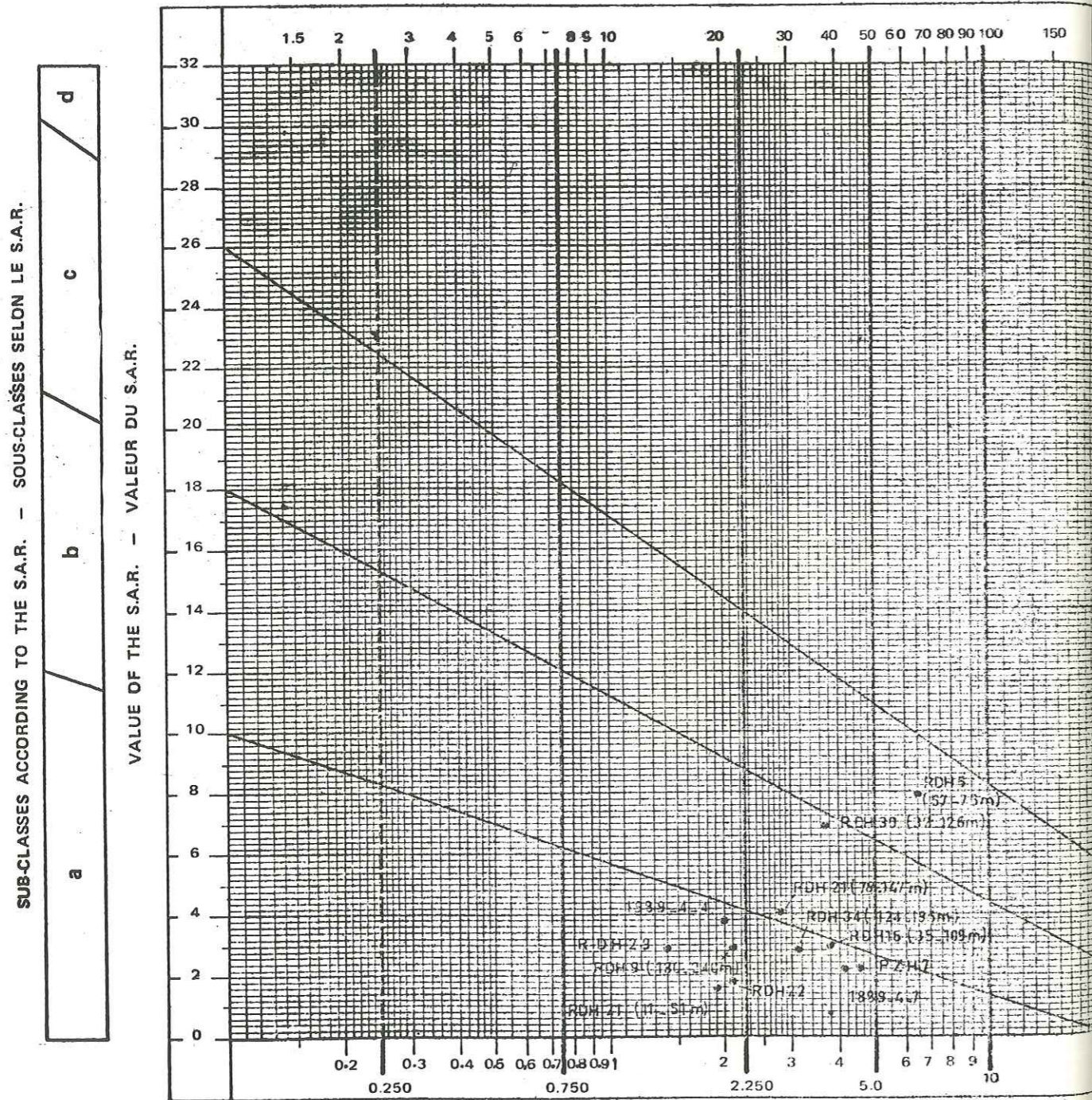
DIAGRAM AFTER SCHOELLER-BERKALOFF



ABU SHAYBAH FORMATION

CLASSIFICATION OF THE IRRIGATION WATERS
CLASSIFICATION DES EAUX D'IRRIGATION

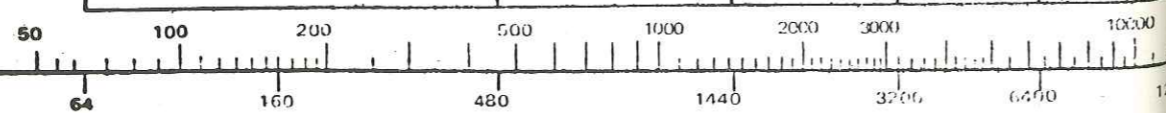
TOTAL CONCENTRATION OF ANIONS OR CATIONS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITRE
CONCENTRATION TOTALE EN ANIONS OU CATIONS EN MILLIEQUIVALENTS PAR LITRE



Electrical conductivity in millimhos per cm at 25° C — Conductivité électrique en millimhos par cm à 25° C

Class according to the conductivity at 25° C — Classe selon la conductivité à 25° C

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---



APPROXIMATE CORRESPONDENCE WITH THE TOTAL DISSOLVED SALT CONTENT EXPRESSED IN ppm.

CORRESPONDANCE APPROXIMATIVE AVEC LA TENEUR EN SELS DISSOUS TOTAUX EXPRIMÉE EN ppm.

Conductivité (mmhos/cm)	1,4 à 4,5
T.D.S. réel (g/l)	0,89 à 2,91
dH degré français (mg/l de CaCO ₃)	38,8 à 176,2
S.A.R.	1,6 à 4,1
Classification pour l'irrigation	2a - 3a - 3b
Concentration en bore (mg/l)	0,16 à 1,30

Les valeurs figurant sur ce tableau représentent des plages de valeurs dans lesquelles se situent la majorité des eaux.

IV-II- 5. CHIMIE DES EAUX DE LA FORMATION KIKLAH

La chimie des eaux de la formation KIKLAH n'est connue, dans la région étudiée, que sur un seul point d'eau (RDH 11).

Ce sont des eaux chlorurées sodiques présentant le même faciès chimique que les eaux de la formation AL AZIZIYAH (RDH 25) et celles de la formation ABU SHAYBAH (RDH 30) de la même région, ceci étant dû à la présence de failles d'effondrement mettant en contact horizontal les différentes formations. Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques de ces eaux en vue d'une éventuelle utilisation, soit pour la consommation familiale, soit pour l'irrigation.

Concentration (mmhos/cm)	4,6
T.D.S. réel (g/l)	3,2
dH degré français (mg/l de CaCO ₃)	104
S.A.R.	6
Classification pour l'irrigation	3b
Concentration en bore (mg/l)	0,60

IV-II- 6. - CHIMIE DES EAUX DU RECOUVREMENT

Les eaux du recouvrement sont étudiées en pied de Jebel, au Nord de la route AL AZIZIYAH - BIR AL GHANAM et au Nord de la piste de BIR AD DARDUR.

IV-II- 6.1. - Faciès chimiques

Ces eaux présentent des faciès variés dans leur aspect et dans leur répartition géographique.

La carte de la planche n° 50 page 217 donne approximativement la localisation des 3 faciès d'eau.

- Les eaux sulfatées calciques (planche n° 46 page 213) s'étendent de l'Ouest de la vallée du Wadi ZAQUT au Nord de BIR AL GHANAM (Zone Ouest). Ce faciès est dû à la présence au Sud de cette zone de la formation des gypses de BIR AL GHANAM.

- Les eaux chlorurées sodiques (planche n° 47 page 214) sont localisées en pied de Jebel à l'Est de la vallée du Wadi ZAQUT (Zone Sud). Ce faciès semble être déterminé par la formation BU GHEILAN.

- Les eaux chlorurées calciques (planche n° 48 page 215) sont principalement localisées dans les affleurements du Sud-Ouest de AL AZIZIYAH et au Nord de la route AL AZIZIYAH - BIR AL GHANAM (Zone Nord) où l'on rencontre aussi des eaux chlorurées sodiques et des eaux dont le faciès est identique à celui des eaux de la formation RAS HAMIA.

Les eaux de la région centrale de l'étude (zone centrale), lorsque le recouvrement est aquifère, n'ont pas de faciès propre. Ces eaux ont un faciès sensiblement identique aux faciès des eaux des formations sous-jacentes.

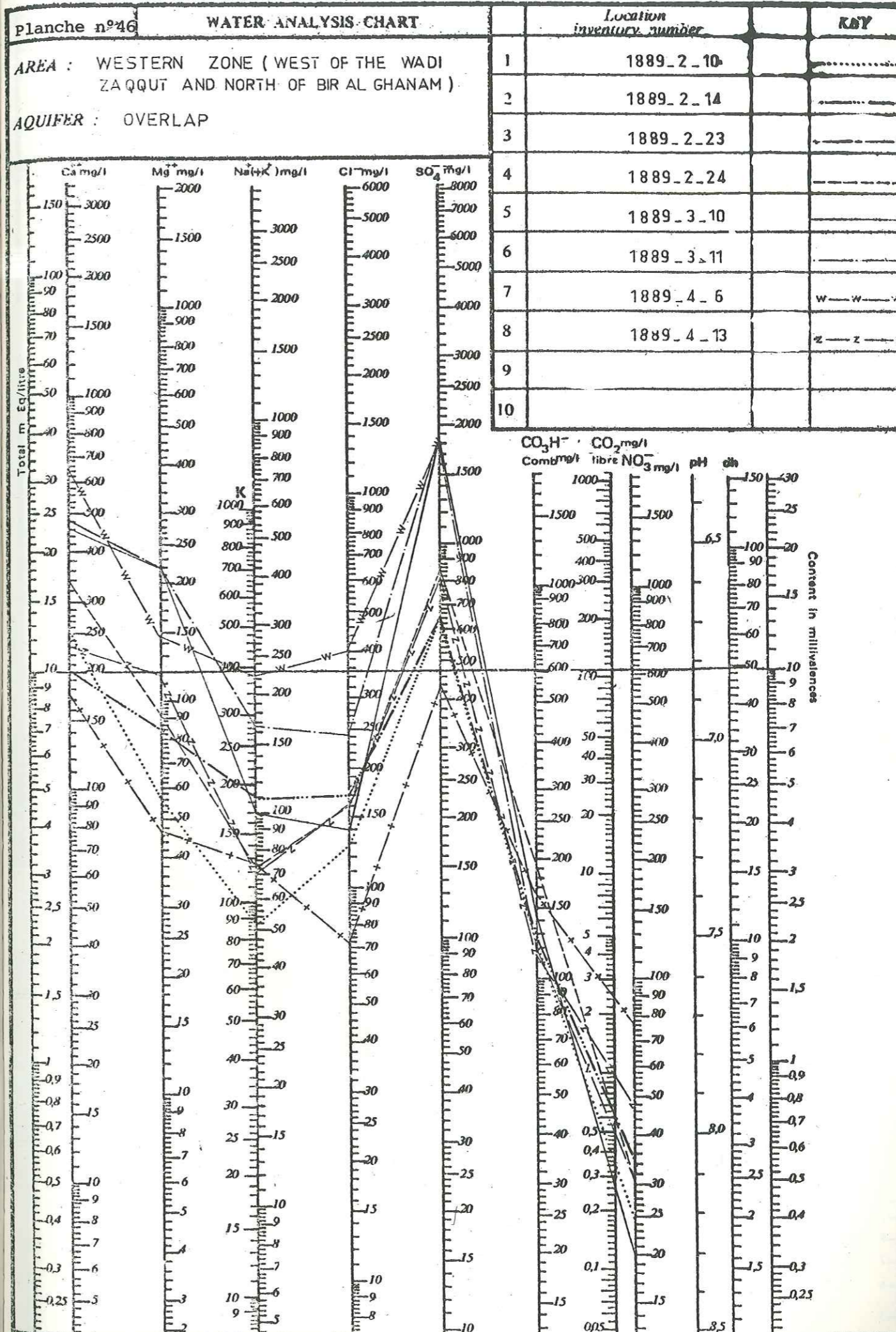


Planche n°47 WATER ANALYSIS CHART

AREA : JEBEL FOOT (EAST WADI ZAQQUT)

AQUIFER : OVERLAP

	Location inventory number	KEY
1	1889_2_15	---
2	1889_2_17	---
3	1889_2_18	---
4	1989_4_2	---
5		
6		
7		
8		
9		
10		

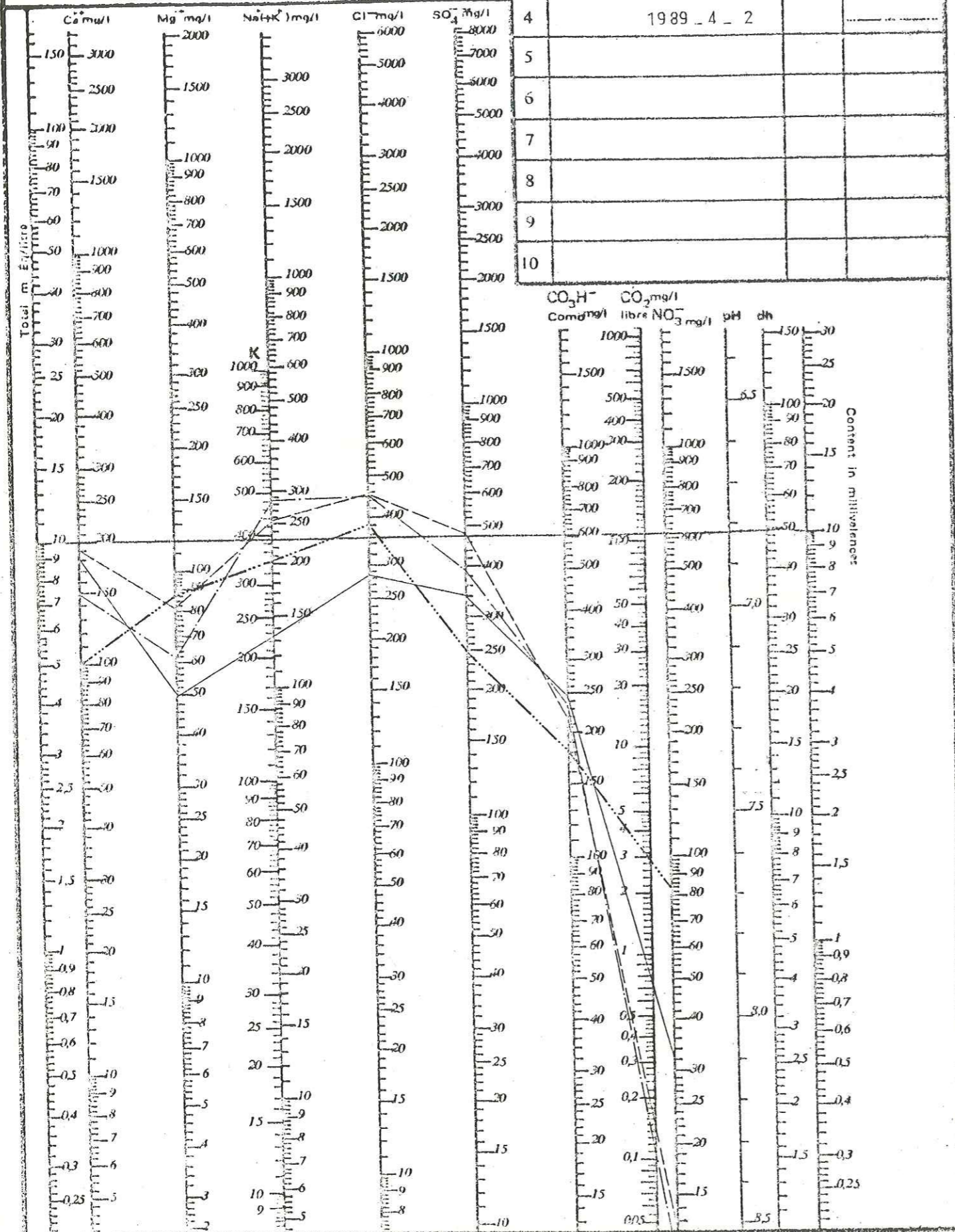


DIAGRAM AFTER SCHOELLER-BERKALOFF

Planche n°48 WATER ANALYSIS CHART

AREA : NORTHERN ZONE (NORTH OF THE AL AZIZIYAH - BIR AL GHANAM ROAD)

AQUIFER : OVERLAP

	Location inventory number	KEY
1	1889_1_6	z---z---z
2	1889_1_8	---
3	1889_1_10	---
4	1889_1_11	---
5	1889_1_14	---
6	1889_1_20	x---x---x
7	1889_1_25	---
8	1889_1_40	---
9		
10		

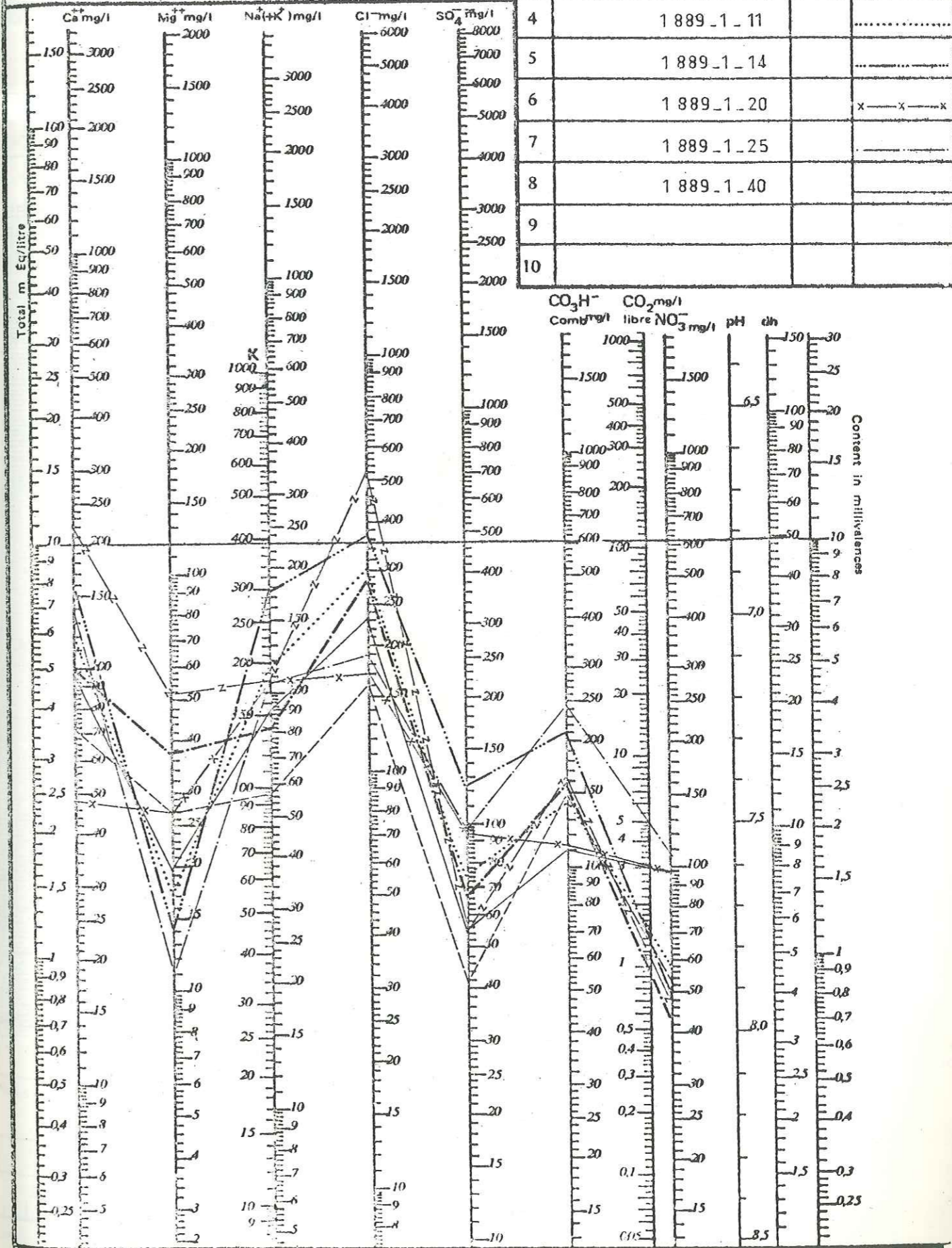
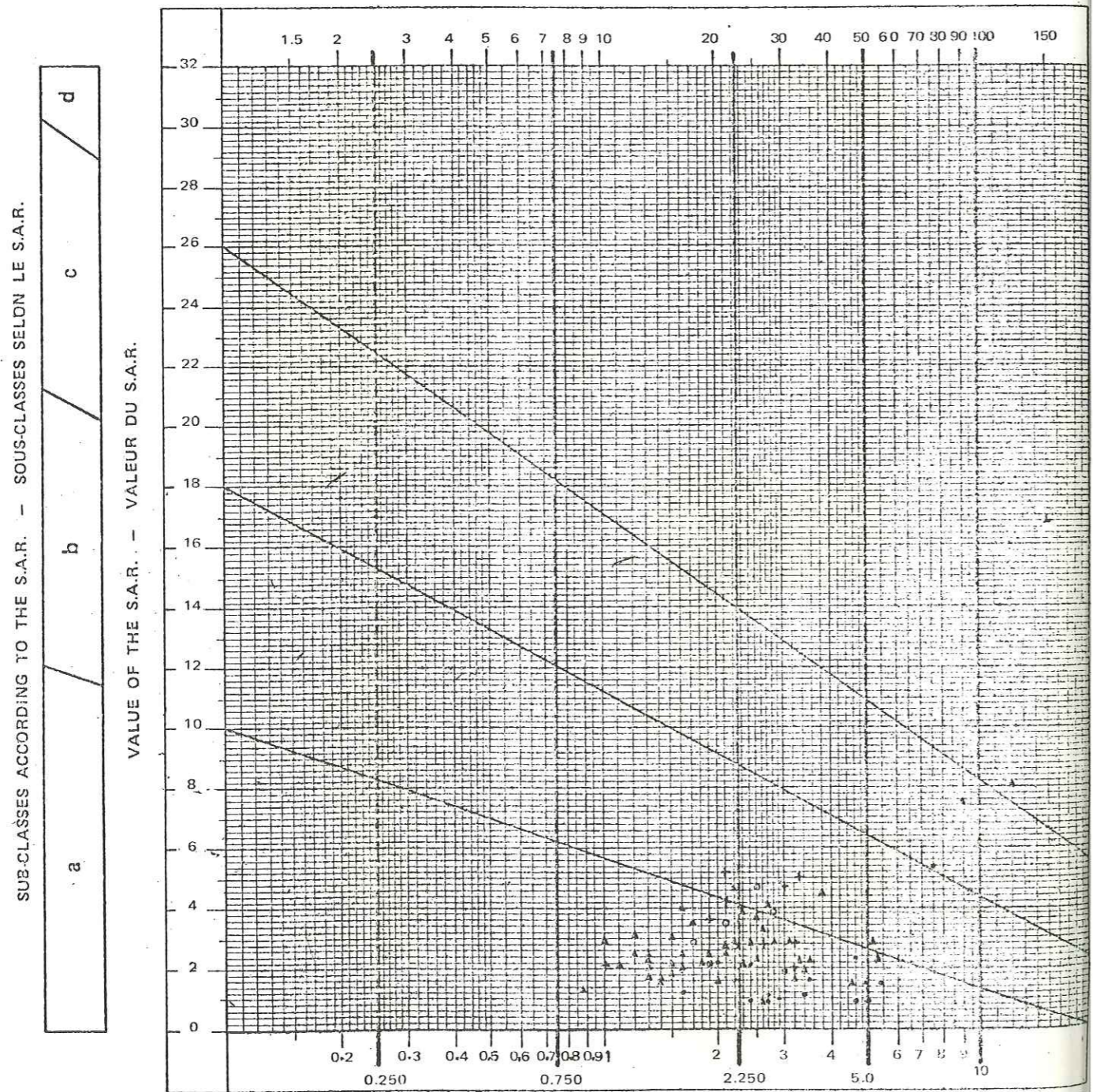


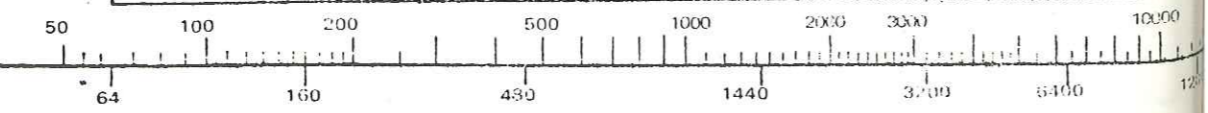
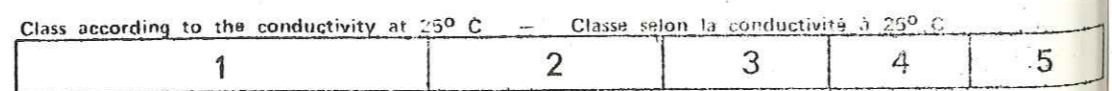
DIAGRAM AFTER SCHOELLER-BERKALOFF

- + CENTRAL ZONE
- WESTERN ZONE (West of the WADI ZAQQUT and North of BIR AL GHANAM)
- o JEBEL FOOT (East WADI ZAQQUT)
- ▲ NORTHERN ZONE OVERLAP — CLASSIFICATION OF THE IRRIGATION WATERS
(North of the AL AZIZIYAH - BIR AL GHANAM road) CLASSIFICATION DES EAUX D'IRRIGATION

TOTAL CONCENTRATION OF ANIONS OR CATIONS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITRE
CONCENTRATION TOTALE EN ANIONS OU CATIONS EN MILLIEQUIVALENTS PAR LITRE



Electrical conductivity in millimhos per cm at 25° C — Conductivité électrique en millimhos par cm à 25° C



APPROXIMATE CORRESPONDENCE WITH THE TOTAL DISSOLVED SALT CONTENT EXPRESSED IN ppm.
CORRESPONDANCE APPROXIMATIVE AVEC LA TENEUR EN SELS DISSOUS TOTAUX EXPRIMÉE EN ppm.








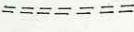
Planche n° 50

REPARTITION GEOGRAPHIQUE
DES DIFFÉRENTS FACIES
CHIMIQUES DU RECOUVREMENT
CONDUCTIVITES

- LEGENDE -

- Puits
- ✦ Forage non artésien
- ✧ Forage artésien
- ⊙ Source
- ⊙ Nom du puits
- ⊙ Nombre de puits dans le système WPI (Water Resources Inventory)

Le point d'eau 22 appartenant à la carte au 1/200 000 10591, son numéro dans le système WPI sera 009 1/32

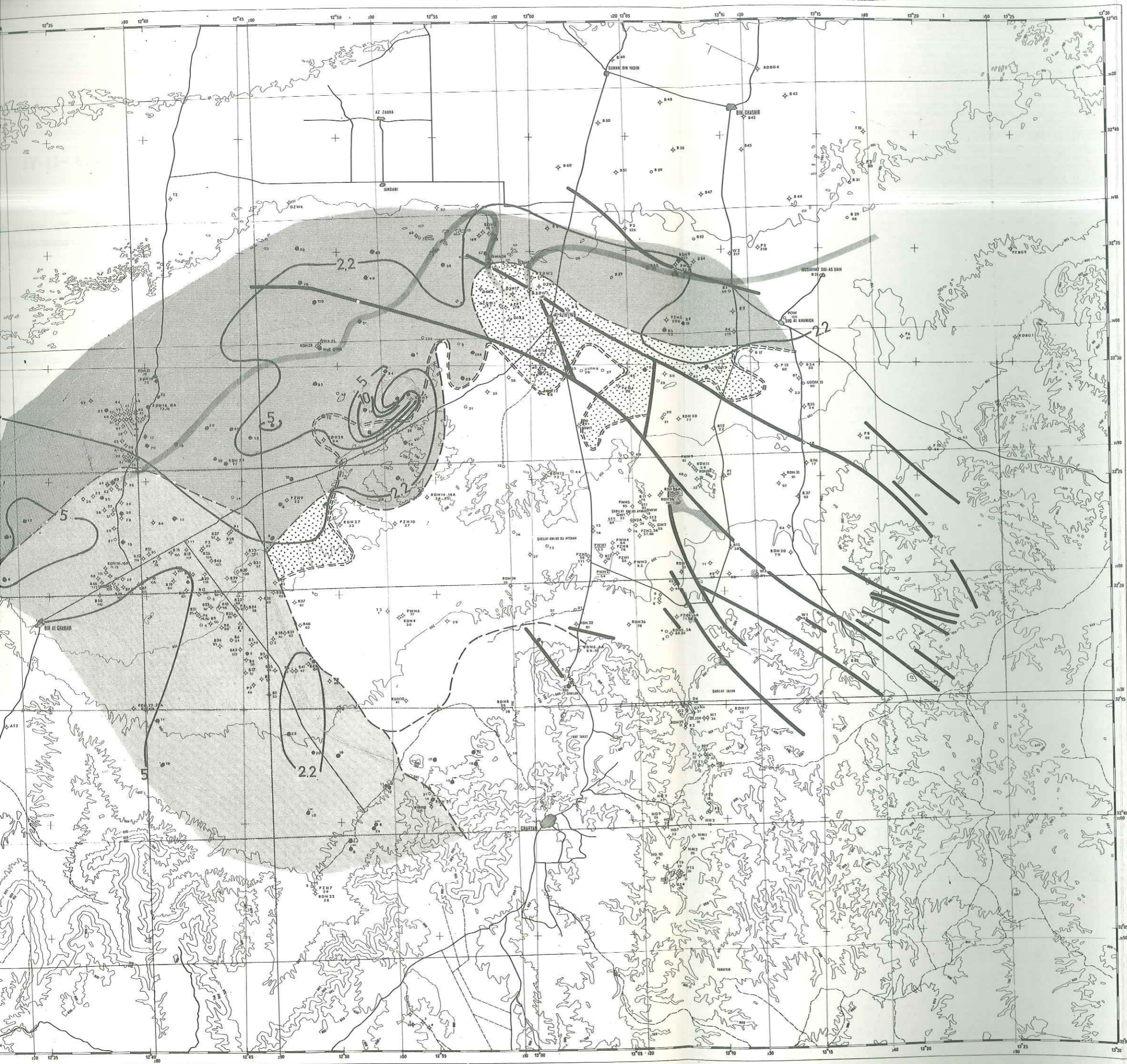
-  Eaux sulfatées calciques
-  Eaux chlorurées calciques prédominantes
-  Eaux chlorurées sodiques
-  Faciès sensiblement identiques à ceux des eaux des formations sous-jacentes
- 62 Eaux du recouvrement analysées et point d'eau correspondant
- 2.2- Courbe d'égale conductivité en mmhos/cm
-  Limite sud d'extension des argiles vertes
-  Pointements de la formation RAS HAMIA à l'intérieur du réservoir
-  Faille
-  Limite sud du recouvrement saturé dans le réservoir AL AZIZIYAH



Assemblage des cartes au 1/50 000

1870 III	1870 II	1870 I	1870 II	1870 III
1870 IV	1870 I	1870 IV	1870 I	1870 IV
1870 III	1870 II	1870 III	1870 II	1870 III

Equidistance des courbes : 100 mètres sur en plaine 50 mètres



IV-II- 6.2. - Principales caractéristiques

Le tableau ci-après résume les principales caractéristiques des eaux du recouvrement en vue d'une éventuelle utilisation soit pour la consommation familiale, soit pour l'irrigation.

	Zone Ouest	Zone Sud	Zone Nord	Zone centrale
Conductivité (mmhos/cm)	1,9 à 5,4	1,7 à 2,7	0,9 à 4,5	1 à 3,3
T.D.S. (g/l)	1,27 à 3,4	1,08 à 1,67	0,51 à 2,90	0,60 à 2,45
dH degré français (mg/l de CaCO ₃)	63 à 228	51 à 81,2	23,1 à 125	30,3 à 121
S.A.R.	0,9 à 2,3	2,2 à 4,7	1,3 à 5	2,1 à 5
Classification pour l'irrigation	2a-3a-4a	2a-3b	2a-2b-3a-3b	2a-2b-3a-3b
Concentration en bore (mg/l)	0,21 à 1,00	0,54 à 0,8	0,11 à 0,61	0,40 à 0,68

IV-III - RELATIONS ENTRE FORMATIONS

La chimie nous permet de vérifier si des relations existent entre les diverses formations. Nous essayerons de confirmer grâce à elle les relations décrites dans les chapitres hydrogéologiques. Nous pourrions également vérifier notre étude structurale par la répartition des faciès chimiques précédemment définis.

IV-III- 1. RELATIONS VERTICALES

Nous avons vu qu'il existait des différences de charge entre les différentes nappes ; les plus en charge étant les plus profondes. S'il existe des échanges entre elles, les eaux des nappes supérieures doivent être contaminées par les eaux des nappes inférieures.

IV-III- 1.1. - Le réservoir OULED CHEBBI - RAS HAMIA

On a réuni les formations OULED CHEBBI et RAS HAMIA en un seul réservoir. Cela se confirme du point de vue chimique. En effet les faciès chimiques sont semblables (voir planches 25 et 26 pages 180 et 182). Il faut cependant noter que la salinité augmente avec la profondeur.

IV-III- 1.2. - Rôle du niveau supérieur de la formation RAS HAMIA

Le niveau supérieur argileux de la formation RAS HAMIA a été défini comme étant une limite de réservoir. Cette limite n'est pas strictement imperméable. En effet les eaux de la base du réservoir AL AZIZIYAH (planche n° 35 page 192) ont un faciès identique à celles du réservoir OULED CHEBBI - RAS HAMIA (planches n° 25, 26 pages 180, 182).

IV-III- 1.3. - Rôle du niveau inférieur de la formation ABU SHAYBAH

On a défini le niveau inférieur argileux de la formation ABU SHAYBAH comme étant semi-perméable et laissant filtrer un certain débit. Si l'on observe le faciès des eaux ABU SHAYBAH (planche n° 43 page 208) au puits 1989/4/4 et celui du forage RDH 5 (planche n° 34 page 191) sommet de la formation AL AZIZIYAH, on voit le passage des eaux de la première formation dans l'autre. Si l'on suit cette évolution à l'aval, où dans le compartiment effondré le forage RDH 30 montre des eaux situées dans la formation ABU SHAYBAH mais ayant circulé dans la formation AL AZIZIYAH, on note la continuation du mélange avec enrichissement en sodium qui est une tendance des faciès des eaux AL AZIZIYAH.

IV-III- 2. RELATIONS HORIZONTALES

En mettant en relation les diverses cartes chimiques et la carte piézométrique, on peut voir que les différentes hypothèses hydrogéologiques qui ont servi à l'élaboration de celle-ci sont confirmées.

La carte des concentrations en ion SO_4^{--} de la formation AL AZIZIYAH montre une zone à forte concentration qui correspond à la limite du faciès marneux et gypseux et la présence des gypses de la formation BIR AL GHANAM à l'amont.

La carte des concentrations en ions Cl^- montre les zones où la formation RAS HAMIA remonte et contamine légèrement les eaux de la formation AL AZIZIYAH.

L'écoulement se faisant vers le Nord-Est, on note généralement une dilution de ces deux éléments dans cette direction. Cela est dû pour une part à l'apport des eaux du réservoir ABU SHAYBAH venant du Sud et suivant la ligne d'érosion totale de cette formation.

Le passage des eaux des différents réservoirs dans les réservoirs du recouvrement se voit également très bien. En effet les eaux du recouvrement présente 3 faciès : le 1er sulfaté calcique (planche n° 46 page 213) et le second chloruré sodique (planche n° 47 page 214) correspondent aux eaux de la formation ABU SHAYBAH qui forme avec le recouvrement le réservoir ABU SHAYBAH. Le troisième au Sud montre dans la partie Ouest la continuité du 1er faciès et dans la partie Est le mélange d'un faciès AL AZIZIYAH et d'eau du recouvrement sensus stricto. Ceci correspond au schéma de circulation des eaux choisi pour modèle.

Le seul problème que l'on peut se poser est le suivant. Il semble qu'il y ait une zone de dilution des ions Cl^- et SO_4^{--} dans l'axe des écoulements des Wadis et dans les zones d'épandage. Il pourrait donc y avoir une alimentation par ces zones, fait que M. ALLEMMOZ démontre par l'étude des variations de la teneur en eau dans le sol. Cette infiltration se chiffrerait à 80 - 90 % des apports.

IV-IV - ANALYSES ISOTOPIQUES DES EAUX

Monsieur ALLEMMOZ étudie dans son mémoire (Etude de nappe en pays semi-aride - Infiltration et évapotranspiration en Tripolitaine) les résultats d'analyses isotopiques effectuées dans le cadre de la même étude. Nous ne citerons ici que ses conclusions.

Les analyses du Carbone-14 donnent les résultats suivants :

- les eaux des formations AL AZIZIYAH et RAS HAMIA ont un âge variant de 13 000 à 29 000 ans ; les plus anciennes étant celles de la formation RAS HAMIA. La non-différenciation en deux faciès peut s'expliquer par le fait que les eaux de la formation RAS HAMIA contaminent celles de la formation AL AZIZIYAH ;

- les eaux du Quaternaire sont celles d'un aquifère subactuel ;

- les eaux du Tertiaire sont comprises entre les deux. Cela confirme le passage des eaux du réservoir AL AZIZIYAH à surface libre dans le réservoir inférieur du recouvrement.

Les analyses de Tritium donnent des âges compris entre 15 et 50 ans (pour le réservoir AL AZIZIYAH à surface libre). Ceci prouve l'existence d'une recharge de la nappe par les précipitations ; mais cette recharge doit être très lente.

Les analyses d'Oxygène-18 et de Deutérium permettent de classer les eaux en deux groupes :

- le premier comprend les eaux issues du Quaternaire, du Tertiaire et de la formation AL AZIZIYAH. Ces eaux n'ont pas été soumises à l'évaporation avant infiltration. Ceci implique qu'elles se sont infiltrées soit sur place, soit en un lieu proche de la région étudiée.

- le deuxième comprend les eaux des aquifères profonds (formations RAS HAMIA et OULED CHEBBI). Ces eaux ont été évaporées avant leur infiltration. Ceci veut dire, soit qu'elles sont très anciennes et proviennent de pluies tombées sur place sous des conditions climatiques très différentes de celles actuelles, soit qu'elles viennent du Sud.

IV-V - CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons étudié les eaux des différentes formations pour les classer suivant des faciès chimiques, afin de les comparer. Nous avons également classé ces eaux en fonction de leur qualité pour l'utilisation agricole (irrigation) et pour la potabilité.

L'étude de toutes ces classifications nous a permis de confirmer le bien fondé des différentes hypothèses émises pour démontrer la circulation de l'eau dans les réservoirs définis dans le chapitre précédent : passage des eaux du réservoir ABU SHAYBAH dans le réservoir AL AZIZIYAH et passage des eaux du réservoir AL AZIZIYAH dans les réservoirs supérieur et inférieur du recouvrement.

Nous avons également mis en évidence l'unicité du réservoir OULED CHEBBI - RAS HAMIA ainsi que la semi perméabilité du niveau supérieur de la formation RAS HAMIA et du niveau inférieur de la formation AL AZIZIYAH.

L'étude des cartes d'isoconcentration en chlorures et sulfures et de la carte des degrés hydrotimétriques français de la formation AL AZIZIYAH montre une diminution des teneurs en ions Cl^- et SO_4^{--} dans certaines zones. Ces zones sont situées soit dans les vallées des Wadis soit dans leurs zones d'épandage. Ceci amène à conclure que les eaux superficielles rechargent la nappe dans ces zones. Ce fait rejoint les conclusions de M. ALLEMMOZ sur les fortes valeurs d'infiltration (80 à 90 % des apports) situées aux mêmes endroits.

Enfin l'étude des isotopes du Carbone 14, du Tritium, de l'oxygène 18 et du Deutérium montre la présence de deux nappes ou système de nappe : une nappe inférieure (réservoir OULED CHEBBI - RAS HAMIA) ayant des eaux anciennes provenant du Sud et une nappe supérieure (réservoirs ABU SHAYBAH - AL AZIZIYAH - RECOUVREMENT) ayant des eaux récentes avec une légère recharge et une origine locale ou sub-locale.

CHAPITRE V

CONCLUSIONS GENERALES

V-I - RESULTATS PROPRES A CETTE ETUDE

Par cette étude nous n'apporterons pas de nouvelles découvertes à la géologie et à l'hydrogéologie de la région. Par contre, nous avons pu préciser beaucoup de points et lever des indéterminations.

V-I- 1. - STRATIGRAPHIE

En effectuant une étude bibliographique de la région on s'aperçoit que de nombreux auteurs ont étudié la géologie de la Tripolitaine. Tous ont publié des nomenclatures et dressé des échelles stratigraphiques. Or ces nomenclatures et échelles ne coïncident pas toutes entre elles. Notre premier travail a été de corrélérer ces divers éléments.

Dans un second temps, nous avons précisé la stratigraphie des formations rencontrées au cours de l'étude. Ceci a été surtout possible pour les formations triasiques qui constituent l'essentiel des terrains rencontrés. Nous avons caractérisé chaque formation au point de vue lithologique, géophysique et paléontologique. L'accent a été mis sur le côté géophysique car ces formations sont surtout rencontrées en forage et souvent l'examen des cuttings est décevant pour une étude précise. Nous avons donc découpé chaque formation en horizons et établi des logs types basés sur les sondages géophysiques. Ce log type de chaque formation peut constituer un outil précieux pour le géologue.

V-I- 2. - STRUCTURES ET LIMITES

Grâce à l'examen des forages et à une campagne de géophysique électrique et de sismique réfraction la structure de la région a été précisée. Celle-ci est la terminaison périclinale d'un anticlinal qui plonge vers le Nord-Ouest. Cette structure est fracturée sur la bordure Est par des failles d'orientation Sud Est - Nord Ouest qui enfonce cette structure vers le Nord. Au centre de la zone étudiée, nous avons découvert une zone effondrée mettant en contact des terrains d'âge crétacé avec des formations triasiques.

On a pu mettre également en évidence un certain nombre de limites :

- une limite d'érosion : la limite d'érosion totale de la formation ABU SHAYBAH ;
- une limite de faciès : la limite Sud d'extension des faciès calcaréo-dolomitiques de la formation AL AZIZIYAH ;
- une limite d'extension : la limite Sud d'extension des "argiles vertes" du Miocène moyen ;
- une limite hydrogéologique: la limite Sud du recouvrement saturé.

V-I- 3. - CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

Dans un second chapitre nous avons, formation par formation, calculé les caractéristiques hydrodynamiques de ces formations. Chaque formation se trouve ainsi caractérisée de ce point de vue.

Grâce à cette étude nous avons montré le rôle hydrogéologique que jouent certains niveaux semi-perméables :

- le niveau sommital argileux de la formation OULED CHEBBI ;
- le niveau basal argileux de la formation RAS HAMIA ;
- le niveau sommital argileux de la formation ABU SHAYBAH ;
- les calcaires de la formation AIN TOBI.

V-I- 4. - LES ECOULEMENTS

En reliant géologie, caractéristiques hydrodynamiques et étude de la piézométrie nous avons démontré l'existence de deux aquifères :

- un aquifère inférieur situé dans les formations OULED CHEBBI et RAS HAMIA ;
- un aquifère supérieur hétérogène.

L'hétérogénéité de cet aquifère est due à ses conditions d'écoulement. Pour expliquer cet écoulement nous avons défini des réservoirs. Les écoulements dans cet aquifère peuvent s'expliquer comme suit :

Un premier écoulement s'effectue dans le réservoir ABU SHAYBAH du Sud vers le Nord. Ces eaux soit s'infiltrent soit se déversent le long de la limite d'érosion de la formation ABU SHAYBAH dans le réservoir AL AZIZIYAH (ce dernier n'existe pas sous la formation ABU SHAYBAH : conditions hydrodynamiques trop mauvaises).

Les eaux passent ensuite de ce dernier réservoir dans 3 autres au Nord. Une première partie continue dans le réservoir AL AZIZIYAH et se met en charge ; une seconde partie passe dans le réservoir inférieur du recouvrement et la troisième partie passe dans le réservoir supérieur du recouvrement (cette distribution se faisant grâce à des niveaux argileux).

C'est le réservoir AL AZIZIYAH qui couvre la plus grande surface de la zone étudiée. Dans cette région, aux bonnes caractéristiques hydrodynamiques, il constitue un ensemble très intéressant pour l'exploitation. Ce fait constitue une nouveauté car la formation AL AZIZIYAH était considérée, jusqu'à présent, comme un très mauvais aquifère. Ceci s'explique par le fait que les forages ayant touché cette formation avaient été effectués soit au Sud de la limite d'extension du faciès calcaréo-dolomitique soit au Nord de la limite d'extension des "argiles vertes" du Miocène moyen. Dans le premier cas, la formation ne contient pas d'eau et dans le second cas les forages n'atteignent pas la formation qui est profonde et surmontée par d'autres formations aquifères (les deux réservoirs du recouvrement).

V-I- 5. - CHIMIE DES EAUX

Dans ce chapitre nous avons classé les eaux issues des différentes formations en différents faciès. En comparant ces faciès entre eux on a pu vérifier le système d'écoulement de l'aquifère supérieur et montrer sa contamination par l'aquifère inférieur. L'existence d'une recharge dans les vallées et zones d'épendage des Wadis a été également prouvée.

V-I- 6. - CALCUL DU DEBIT DE FUITE ET DES DEBITS D'ENTREE POUR L'AQUIFERE SUPERIEUR

V-I- 6.1. - Débit de fuite vers l'aval

Si on limite la nappe au Nord de l'étude on peut calculer le volume d'eau qui transite par cette limite. Ce volume sera appelé le débit de fuite vers l'aval. Il est fonction du gradient hydraulique ($Q = T \times L \times i$; T = transmissivité ; L = longueur du front ; i = gradient). En 1975, le débit de fuite vers l'aval est d'environ $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$ qui se répartit de la façon suivante :

- débit de sortie par la limite nord :
 $1,038 \text{ m}^3/\text{s}$ arrondi à : $1,030 \text{ m}^3/\text{s}$
- . du méridien 282 (limite ouest)
 au méridien 307 : $0,027 \text{ m}^3/\text{s}$
- . du méridien 307
 au méridien 339 (limite est) : $1,011 \text{ m}^3/\text{s}$
- débit de sortie par la limite est : $0,670 \text{ m}^3/\text{s}$

V-I- 6.2. - Débits d'entrée

Les débits d'entrée peuvent se classer en 4 catégories :

- débits d'alimentation par déversement du réservoir ABU SHAYBAH ;
- débits de percolation directe à partir des infiltrations des Wadis ;
- débits de drainance descendante à partir du réservoir ABY SHAYBAH et des nappes perchées ;
- débits de drainance ascendante à partir du réservoir OULED CHEBBI - RAS HAMIA.

Compte-tenu des résultats de M. ALLEMMOZ sur l'étude des recharges aucune alimentation à partir des précipitations ne peut être retenue.

V-I - 6.2.1. - Débit d'alimentation par déversement du réservoir ABU SHAYBAH

On peut distinguer trois zones (§ III-IV- 2.1.)

Localisation	Débit unitaire (l/s/km)	Longueur de front (km)	Débit total l/s
Axe du Wadi GHAN	40	3	120
Limite Est de l'étude au Wadi ZAQT	0,8	51	41
Wadi ZAQT au Wadi ZARAT	1	7	7
TOTAL			168 l/s

V-I - 6.2.2. - Débit de percolation directe à partir des Wadis

Ces débits sont localisés aux parcours et épendages des principaux Wadis. Leur répartition est la suivante :

- WADI AL HIRA : 115 l/s (tous les wadis de la zone étudiée sont inclus dans ce chiffre)
- WADI MEJENIN : 85 l/s
- TOTAL : 200 l/s

V-I - 6.2.3. - Débits de drainance descendante à partir de la formation ABU SHAYBAH et des nappes perchées

- Drainance à partir de la formation ABU SHAYBAH

On peut calculer les débits suivants (§ III-IV- 2.1.)

Localisation	Débit unitaire $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$	Superficie km^2	Débit total l/s $\text{m}^3/\text{s} \times 10^{-3}$
WADI ABU SHAYBAH	$2,5 \times 10^{-4}$	66	16
Secteur amont WADI AL HAY	$2,5 \times 10^{-4}$	44	11
Secteur aval WADI AL HAY	5×10^{-5}	265	7
TOTAL			34 l/s

- Drainance à partir des nappes perchées :

Le débit total en provenance des nappes perchées (région des collines de AL AZIZIYAH et amont du Wadi MEJENIN) est faible. On peut l'estimer à 6 l/s. Ce débit correspond à une drainance au travers de niveaux argileux de quelques dizaines de mètres d'épaisseur au maximum sous une charge de quelques mètres.

V-I - 6.2.4. - Débits de drainance ascendante à partir de la formation RAS HAMIA

On peut distinguer 3 secteurs (§ III-II- 5.)

Secteur	Débit unitaire m ³ /s/km ²	Superficie km ²	Débit total m ³ /s x 10 ⁻³
SUD	5 x 10 ⁻⁵	600	30
CENTRE	3 x 10 ⁻⁵	300	9
NORD	10 ⁻⁵	200	2
TOTAL			41 l/s

V-I- 6.3. - Comparaison entre les débits d'entrée et le débit de fuite

On s'aperçoit en comparant les débits d'entrée et le débit de fuite à l'aval qu'il existe une différence entre ces deux débits. Il sort plus d'eau qu'il n'en rentre (on trouve un déficit de 1 700 - 450 = 1 250 l/s). Ce déficit est dû à l'exploitation intensive des eaux de la nappe. Aucun inventaire exhaustif des exploitations n'a été réalisé dans le cadre de l'étude. Néanmoins, des inventaires semi-exhaustifs ont été réalisés en 1974 par le GEFLI dans certains secteurs limités. Ces inventaires montrent deux zones :

- la région Nord de la zone qui est restée peu exploitée jusqu'en 1967 (7,5 Mm³/an) mais où la consommation a subi une très forte augmentation ces dernières années (de 20 Mm³ en 1972 à 38 Mm³ en 1975) ;

- la région Sud de la zone (piedmont) qui est restée jusqu'ici très peu exploitée (exploitation négligeable en 1972, voisine de 4 Mm³ en 1975).

Ces débits extraits constituent (38 Mm³ + 3 Mm³/an = 1 300 l/s) à peu près le déficit d'écoulement calculé précédemment.

Il faut ajouter à ces débits extraits sur place un autre phénomène. On a pu constater que le niveau piezométrique est en baisse constante (le point maximum étant situé à BIN GHASHIR où la baisse a atteint 36 m entre 1956 et 1974 et dépassé 4 m dans la seule année 1975). Cette augmentation progressive de la baisse dans la région considérée se traduit par une augmentation du gradient hydraulique, donc du débit de fuite vers l'aval. Ce débit de fuite est à comparer au débit d'entrée, qui reste constant, car totalement indépendant des conditions de l'aval.

En 1957, par exemple, date à laquelle l'influence des pompes de la GEFARA (sens strict) ne s'était pas encore fait sentir dans la région de AL AZIZIYAH - SUQ AL KHAMICH, et alors que l'exploitation dans ce secteur était encore marginale, le débit de fuite (à la limite aval) était égal au débit d'entrée (0,500 m³/s environ).

Par contre en 1975, si le débit d'entrée est toujours le même, l'augmentation du gradient dans la zone étudiée et à sa limite aval a fait passer le débit du secteur de piedmont vers le secteur nord du modèle à 0,900 m³/s, le débit de fuite à la limite aval vers la GEFARA à 1,7 m³/s.

La surexploitation de la GEFARA (au sens large, incluant la région de AL AZIZIYAH - SUQ AL KHAMICH) entraîne donc l'épuisement progressif des réserves non renouvelables, non seulement dans les zones exploitées, mais aussi dans la région de piedmont qui les alimente.

V-II - ORIGINE DE L'EAU

Nous avons vu dans le § "analyses isotopiques des eaux" que celles-ci se divisaient en deux catégories.

Les eaux de l'aquifère inférieur sont âgées (13 000 à 29 000 ans) et évaporées avant infiltration. Cela implique qu'il faut rechercher leur origine dans une région très lointaine de la région étudiée. La structure géologique ne permet d'ailleurs pas une infiltration sur place, les formations OULED CHEBBI et RAS HAMIA n'affleurant pas. Le sens d'écoulement étant Sud Nord on doit rechercher leur origine au Sud. Cette hypothèse semble confirmée par l'étude de la carte structurale de la Libye (UNESCO : tectonique de l'Afrique) qui montre que les terrains primaires sub-affleurants dans le Sud Libyen (Bassin de Murzuk et Jebel Ben Ghnema) plongent vers le Nord. Cette carte isohypse donne des cotes correspondant à celles rencontrées en forage par les formations OULED CHEBBI et RAS HAMIA dans la zone d'étude.

Les eaux de l'aquifère supérieur sont plus récentes, non évaporées avant infiltration et soumises à une recharge. Ce fait implique que ces eaux se sont infiltrées sur place. La géologie permet cette hypothèse. En effet, dans le Jebel Nefusa affleurent la formation ABU SHAYBAH et des formations Jurassiques et Crétacées qui sont aquifères. Ces aquifères superposés communiquent les uns avec les autres comme les formations ABU SHAYBAH - AL AZIZIAH dans la plaine. On peut donc conclure que les zones d'infiltration des eaux de l'aquifère supérieur se trouvent dans le Jebel Nefusa.

V-III - COMPLEMENTS POSSIBLES

L'objectif de ce mémoire est surtout qualitatif. Nous avons précisé la géologie de la région, défini les possibilités hydrogéologiques et hydrauliques des ensembles décrits, donné la qualité des eaux découvertes et expliqué les systèmes d'écoulement.

Dans une seconde phase, il faudrait passer au stade quantitatif, c'est-à-dire chiffrer et prévoir l'utilisation et la gestion des réserves découvertes. Ce travail est possible grâce aux données que nous avons obtenues et a été effectué par le GEFLI.

Une simulation mathématique des différents écoulements a été effectuée. Cette simulation permet de préciser les débits d'entrée car les résultats issus du calage d'un modèle intègrent l'ensemble des paramètres liés aux écoulements alors que les estimations hydrogéologiques sont liées à des observations ponctuelles qui sont généralement plus pessimistes.

La simulation permet en outre de prévoir l'évolution de la nappe.

Comme nous venons de le voir, l'exploitation actuelle dans la zone de l'étude est loin d'être négligeable (41 Mm³ au total). La ressource exploitable peut alors se définir ainsi : volume correspondant à l'exploitation actuelle et volume supplémentaire pouvant être extrait du réservoir, l'exploitation conjuguée de ces deux volumes devant respecter un certain nombre de contraintes préalablement fixées, à échéance de 10 et 20 ans.

La prolongation de l'exploitation actuelle sur vingt années montre que l'épuisement partiel des réserves non renouvelables de la zone du WADI AL HIRA s'effectue automatiquement par suite de la surexploitation de la GEFARA.

A l'extrême, la totalité de la ressource existant dans le secteur de piedmont (c'est-à-dire la ressource renouvelable ou recharge plus la réserve non renouvelable) pourrait être réservée à l'alimentation de la région de AL AZIZIYAH - SUQ AL KHAMICH et de la GEFARA qui lui succède au Nord.

L'exploitation contrôlée du compartiment de piedmont ne peut se justifier qu'aux deux conditions suivantes :

- ne pas engendrer de rabattements significatifs supplémentaires après 20 ans au droit des limites nord et est du modèle,

- engendrer en piedmont des rabattements supplémentaires en 10 et 20 ans qui ne pourraient être atteints spontanément sans des rabattements catastrophiques en GEFARA Nord que l'on se propose justement d'éviter.

Cette étude montre le caractère catastrophique, sinon dangereux, de l'exploitation anarchique et intensive d'une nappe dont la recharge est très faible. Un contrôle systématique de la nappe doit être entrepris :

- meilleure utilisation de l'eau extraite ;
- limitation du nombre des forages ;
- contrôle du niveau piezométrique pour suivre les conditions prévues pour l'exploitation future.

D'autres moyens pour remédier à cet état de fait peuvent être envisagés :

- création de barrage (Barrage du Wadi GHAN) ;
- réinjection des eaux de pluie qui sont jusqu'à présent perdues.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEMOZ M. (1976) - Etude de l'alimentation des nappes en pays aride. Etude de l'infiltration et de l'évapotranspiration en TRIPOLITAINE (LIBYE). Thèse de Docteur de spécialité présentée à l'Université Scientifique et Médicale de GRENOBLE.
- ASSERETO A. et BENELLI F. (1969) - Sedimentology of the Pre-Cenomanian formations of the Jebel GHARIAN (LIBYA) University of MILAN
- ASTIER J.L. (1971) - Géophysique appliquée à l'hydrogéologie. Edition MASSON et Cie - PARIS
- BOGOMOLOV G. (1962) - Hydrogeologie et notions de géologie d'ingénieur Edition PAIX - MOSCOU
- BRICHANT A.L. (1952) - Sur la découverte du Trias au pied du Djebel GARIAN TRIPOLITAINE (LIBYE) C.R. SAS Vol. 234 pp 1456-1458 - PARIS
- BUROLLET P.F. (1961) - Remarques sur le Néogène de TUNISIE et ses relations avec les bassins voisins. Colloque du Néogène Méditerranéen - SABADELL MADRID, Instituto "Lucas MALLEDA" SSIC.
- (1963) - Colloque de MONTPELLIER "Colloque sur le Trias de la FRANCE et des régions limitrophes" Mémoire BRGM, n° 15 - Edition TECHNIP - PARIS
- (1963) - Remarques sur la stratigraphie du Jebel NEFOUSA (TRIPOLITAINE - LIBYE) Riv. Ital. Paleont. Strat. Vol. 72, N° 4 pp 1313-1317
- BUSSON G. (1967) - Le Mésozoïque saharien 1ère partie : extrême sud tunisien C.N.R.S. PARIS

CASTANY G. (1954) - Discordances et phases de plissement dans l'extrême Sud Tunisien et en TRIPOLITAINE. Bull. Soc. Géol. France, série 6, tIII, pp 253-259, 3 fig. PARIS

DE LAPPARENT A.F.

CASTANY G (1954) - Paléographie et orogénèse du Jurassique en Tunisie. Rend. XIX Congr. Geol. Intern. ALGER Fasc. XXI, pp 231-241, tav. I-III, ALGER

(1962) - Méthode d'étude et de recherche des nappes aquifères. BRGM - ORLEANS

(1967) - Traité pratique des eaux souterraines. Edition DUNOD - PARIS

(1968) - Prospection et exploitation des eaux souterraines Edition DUNOD - PARIS

C.E.R.N.I. (1973) - Wadi AL MEJENIN Project (Inédit)

C.G.G. (1976) - Wadi AL HIRA, Wadi ABU SHAYBAH and GHARYAN Project. Geophysical survey (Inédit).

CHRISTIE A.M. (1954) - Géologie of the GHARYAN map area, TRIPOLITANIA and logs of the wells drilled by latas in TRIPOLITANIA between March 1953 and March 1954 United Nations Mission in LIBYA

(1955) - Geology of the GARIAN area NEW YORK, United Nations (Technical Assistance, Programme report TAA/LIB 2)

COGGI L. (1940) - Fossili triassici della Gefara Tripolina. Ann Museo Lib. St. Nat. Vol II pp 139-195 tav. XVIII, TRIPOLI.

C.P.T.L. (1962) - Synthèse de subsurface de la TRIPOLITAINE Centrale et Orientale Etude de 1959 à 1961 (Inédit).

CREMA C. (1913) - descrizione fisica e geologica della regione dans la TRIPOLITANIA Settentrionale - ROME

PARONA F. FRANCHI S.

DERRUAU (1962) - Précis de géomorphologie Edition MASSON et Cie - PARIS

DESIO et al. (1960) - Sulla stratigrafia del Trias in TRIPOLITANIA e nel Sud-Tunisie. Riv. Ital. Paleont. Strat. Vol LXVI, n° 3, pp 273-322, Tav. XXX - XXXI, 4 fig. MILANO.

(1963) - Stratigraphic studies in the TRIPOLITANIAN Jebel (LIBYA) MILAN.

FOURMARIER P. (1958) - Hydrogéologie (2ème édition) Edition MASSON et Cie - PARIS

FURON R. (1960) - Géologie de l'AFRIQUE Edition PAYOT - PARIS

GEFLI (1972) - Soil and Water resources survey for hydro-agricultural Development

Rapports inédits (1973) - Wadi AR RAMIL Project

(1973) - AL AZIZIYAH Project - Extension

(1974) - BIR AT TARFASS Project - Southern AZ ZAWIYAH

(1976) - Wadi HIRA, Wadi ABU SHAYBAH and GHARYAN Project.

GOGUEL J. (1959) - Application de la géologie aux travaux de l'ingénieur Edition MASSON et Cie - PARIS

GRAY C. (1959) - Structure and origin of the GHARIAN domes Faculty of Sciences - University of Libya - TRIPOLI

HAMMUDA Omar S (1967) - Jurassic and Lower Cretaceous Geology of Central Jebel NEFUSA, Northwestern LIBYA. M. Sc. THESIS, University of Colorado, Boulder, Colorado (under publication by the Petroleum Exploration Society of LIBYA).

HIDROPROJEKAT (1973) - Wadi AL HAY Project (inédit)

M. EL HINNAWY (1975) - Notice explicative de la carte géologique de la LIBYE au 1/250 000 - Feuille TARABULUS et al.

I.F.P. (1963) - Etude sédimentologique et pétrographique de la formation RAS HAMIA (Trias Moyen) du Nord Ouest de la LIBYE. Premier symposium saharien - TRIPOLI - Avri/ 1963

I.F.P. (1966) - Formulaire du foreur

JONES J.R. (1969) - Groundwater in LIBYA - A summary of hydrogeology of the Southern Mediterranean Littoral and the North Central Sahara. Part 1 et 2 - U.S.A.I.D.

KLITZSCH E. (1963) - Geology of the North-East flank of the Murzuk Basin (Jebel BEN GHNEMA) - DAR EL GUSSA Area) 1st Saharan symposium TRIPOLI Rev. Inst. Franc. Petr. PARIS XVIII, 10, pp 1411-1427

KRUSEMAN G.P. (1973) - Interpretation et discussion des pompages d'essai (2ème édition) International institute for land reclamation and improvement/ILRI - NEDERLAND

DE LAPPARENT A.F. (1954) - Stratigraphie du Trias de la JEFFARA (Extrême Sud Tunisien et Tripolitaine).
C.R. XIX Sess. Congr. Geol. Intern. ALGER
Fasc XXI, pp 129-134, ALGER

LIPPARINI T. (1940) - Tettonica e geomorfologia della TRIPOLITANIA
Bull. Soc. Geol. Ital. LIX - ROMA

MAGNIER P. (1963) - Etude stratigraphique dans le Jebel NEFOUSA et le Jebel GARIAN (TRIPOLITAINE - LIBYE)
Bull. Soc. Geol. Fr., 57, Vol 1, pp 89-94.

MARGAT J (1963) - Notice explicative du diagramme d'analyse d'eau
BRGM D5.63.A.31 - ORLEANS

MATHIEZ J.P. et HUOT G. (1966) - Prospection géophysique et recherches d'eaux souterraines
Comité Inter-Africain d'études hydrauliques

MENNING J.J. et al (1963) - Sedimentological and petrographic study of the RAS HAMIA formation (Middle Trias) of N.W. LIBYA
Saharan Symposium TRIPOLI - 1963

MICHEL R. et LETOURNEUR J. (1971) - Géologie du Génie Civil
Edition Armand COLIN - PARIS

MILLER V.C. (1969) - A preliminary investigation of the geomorphology of the Jebel NEFUSA
Department of geography and geology - Indiana State University, Terre Haute, Indiana.

MORET L. (1962) - Précis de géologie
Edition MASSON et Cie - PARIS

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE (USA) (1974) - More water for arid lands - Promising technologies and reseach opportunities

PARONA C.F. (1914). - Per la geologia della Tripolitania
Riv. Acad. Sci. Vol L - TURIN

PETROLEUM EXPLORATION SOCIETY OF LIBYA (1960) - Names and Nomenclature comitee (P.F. BUROLLET, Chairman)
Lexique stratigraphique international - IV a LIBYE
CNRS - PARIS

PICCOLI G. (1960) - Osservazioni geologiche sui fenomini eruttivi della TRIPOLITANIA Settentrionale.
Bull. Soc. Geol. Ital., 79, 165-195, 877, ROMA

Rapport E.R.E.S. (1972) - Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional
U.N.E.S.C.O. - PARIS

RODIER J. (1966) - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau
Edition DUNOD - PARIS

SARROT REYNAULD J. (1963) - Trias des zones externes des Alpes Françaises
Colloque sur le Trias de la France et des régions limitrophes - MONTPELLIER (1961)
Mémoire BRGM n° 15 pp 205 - 213

SCHLUMBERGER (1973) - Interprétation des diagraphies - Principes

SCHOELLER H. (1956) - Géochimie des eaux souterraines
Edition MASSON et Cie - PARIS

(1962) - Les eaux souterraines
Edition MASSON et Cie - PARIS

SYMPOSIUM ON THE GEOLOGY OF LIBYA - Papers presented at the symposium held at TRIPOLI April 14-18 1969
Carlyle GRAY Editor. Faculty of Sciences
University of LIBYA - 1971

TRUPIN G. (1969) - Manuel pratique des pompages d'essai
BRGM - ORLEANS

U.N.E.S.C.O. - Sciences de la Terre - Tectonique de l'Afrique
La LIBYE : P.F. BUROLLET, Ph. MAGNIER, G. MANDERSCHIED

U.S.G.S. (1962) - AL MAYAH, SURMAN, AZ ZAWIYAH Project (Inédit)

ZACCAGNA D. (1919) - Minerari geologici nella TRIPOLITANIA Occidentale
Mem. Desc. Carta Ital. XVIII - ROMA

VU

Grenoble, le

Le Président de la thèse
R. BARBIER

Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale
G. CAU