



**HAL**  
open science

## Hydrogéologie de la plaine d'Enfidaville - Tunisie

Djemili El Batti

► **To cite this version:**

Djemili El Batti. Hydrogéologie de la plaine d'Enfidaville - Tunisie. Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1974. Français. NNT: . tel-00756623

**HAL Id: tel-00756623**

**<https://theses.hal.science/tel-00756623>**

Submitted on 23 Nov 2012

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

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

Doctorat de 3<sup>ème</sup> Cycle

N d'ordre

DOUBLE  
205142  
1974  
30



SE

205142  
1974  
30

Présentée à l'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE  
DE GRENOBLE

Pour obtenir le grade de DOCTEUR DE 3<sup>ème</sup> CYCLE

Spécialité : Géologie Appliquée

Mention : Hydrogéologie

par Djemili EL BATTI

## HYDROGEOLOGIE DE LA PLAINE D'ENFIDAVILLE

Soutenue le 6 Mars 1974 devant la commission d'examen

Président : R. BARBIER Professeur

: G. CASTANY

Examineurs Directeur Scientifique au B.R.G.M

: J. SARROT-REYNAULD

Professeur, Directeur de thèse

Invité : A. KHOUADJA

Directeur des Ressources en Eau et en Sol

double

Doctorat de 3<sup>ème</sup> Cycle

N d'ordre

205142  
1974  
30

# THESE

Présentée à l'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE  
DE GRENOBLE

Pour obtenir le grade de DOCTEUR DE 3<sup>ème</sup> CYCLE

Spécialité : Géologie Appliquée

Mention : Hydrogéologie

par Djemili EL BATTI

## HYDROGEOLOGIE DE LA PLAINE D'ENFIDAVILLE

T.74 / 463

Soutenue le 6 Mars 1974 devant la commission d'examen

Président : R. BARBIER Professeur

Examineurs : G. CASTANY  
Directeur Scientifique au B.R.G.M

: J. SARROT-REYNAULD  
Professeur, Directeur de thèse

Invité : A. KHOUADJA  
Directeur des Ressources en Eau et en Sol

1914  
100  
100  
100

LECTURE DE M. CYCLE

Geologie Appliquée

Hydrologie

par M. L. BATTI

LECTURE DE M. BATTI

Geologie

T.H. / H.T.

À la mémoire de ma mère.

Geologie  
Hydrologie

LECTURE DE M. BATTI

Geologie Appliquée  
Hydrologie

par M. L. BATTI

A V A N T P R O P O S .

Avant de présenter les résultats de mon étude sur la plaine d'Enfidaville que j'ai menée durant deux années, je veux remercier tous ceux qui m'ont initié à la Géologie et ceux qui m'ont aidé à réaliser cette étude.

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

Je remercie Monsieur le Professeur G. CASTANY qui a bien voulu participer au jury.

J'exprime ma profonde reconnaissance pour Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD qui malgré ses nombreuses occupations n'a ménagé ni son temps, ni ses conseils pour que ce travail puisse voir le jour.

Je remercie également tout le corps enseignant de l'Institut Dolomieu qui m'a fait aimer la Géologie MM. les Professeurs : R. MICHEL, P. GIRAUD, J. PERRIAUX, P. VIALON,...

Je remercie Monsieur le Directeur des Ressources en eau et en sol, A. KHOUADJA qui a bien voulu m'accueillir dans sa direction et me confier l'Etude Hydrogéologique de la plaine d'Enfidaville.

Je remercie Monsieur H. ZEBIDI, Chef de la Division des Ressources en Eau qui m'a toujours prodigué ses conseils et son aide pendant toute la durée de cette étude.

Je remercie Monsieur M. ENNABLI, Chef du Service Hydrogéologique pour nos nombreuses discussions fructueuses pour l'avancement de cette étude.

Je remercie Monsieur M. ANDRIEU, Ingénieur C.G.G détaché à la DRES, pour le dévouement qu'il a porté pour le dépouillement des sondages électriques et la synthèse des résultats de la prospection électrique au prix de nombreuses sorties sur le terrain par tous les temps.

Je remercie Monsieur A. AZZOUZ, Chef de la Division de la Géologie qui a mis à ma disposition le levé inédit de la Carte Géologique (Feuille d'Enfidaville).

Je remercie le Personnel du Laboratoire d'Analyses Chimiques de la Division des Sols à l'Ariana.

Je remercie Monsieur P. OLIVE, du Centre des Recherches Géodynamiques de Thonon-Les Bains et Monsieur A. MARCE du Service des Laboratoires du BRGM qui ont bien voulu faire effectuer des mesures de teneur en tritium.

Je remercie également Monsieur H. Mansour, Adjoint Technique ainsi que MM. S. Ben Khélifa et A. Boumafza pour la part importante qu'ils ont pris pour la réalisation de cette étude.

Je remercie tout le Personnel de la Division des Ressources en Eau qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail :

Monsieur R. Kallel, Chef du Service Hydrologique.

Monsieur S. Bouzaïne, Hydrologue pour le dévouement qu'il a montré lors de la construction de la Station Hydrométrique sur l'Oued el Khaïrat.

MM. M. Trabelsi, Bibliothécaire; A. Mansour, Chef du Bureau d'Edition M. Gtari, Dessinateur; A. Khémiri et S. Smida responsables de la Section du Matériel.

Je remercie Mademoiselle C. Louvat et M. Chabert pour la part qu'ils ont pris pour la frappe et l'impression de ce mémoire.

Je veux enfin exprimer ma gratitude et ma profonde reconnaissance pour ma mère, mes frères et ma femme qui m'ont toujours encouragé tout au long de mes études scolaires et universitaires.

## S O M M A I R E

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

1 - CADRE GEOGRAPHIQUE.....	2
2 - GEOMORPHOLOGIE.....	2
1 - <u>CLIMATOLOGIE ET HYDROLOGIE DE SURFACE.</u>	
1 - 1 CLIMATOLOGIE.....	5
1.1.1 Température.....	5
1.1.2 Les gelées.....	6
1.1.3 Les vents.....	6
1.1.4 Pluviométrie.....	6
1.1.5 Evaporation et Evapotranspiration.....	8
a) Méthode de l'évaporomètre Piche.....	9
b) Méthode de L. Turc.....	9
c) Méthode de Coutagne.....	9
d) Méthode de Thornthwaite.....	10
1 - 2 HYDROLOGIE DE SURFACE.....	18
2 - <u>CADRE GEOLOGIQUE.</u>	
2 - 1 STRATIGRAPHIE.....	23
2.1.1 Crétacé inférieur.....	23
2.1.2 Crétacé supérieur.....	23
2.1.3 Marnes de passage Crétacé-Eocène.....	24
2.1.4 Eocène moyen.....	24
2.1.5 Eocène supérieur.....	26
2.1.6 Oligocène.....	26
2.1.7 Miocène.....	28
2.1.7.1 Burdigalien.....	28
2.1.7.2 Vindobonien.....	28
2.1.8 Mio-pliocène Continental.....	29
2.1.9 Pliocène Continental.....	29
2.1.10 Quaternaire marin.....	29
2.1.11 Quaternaire ancien.....	29
2.1.12 Croûte calcaire.....	30
2.1.13 Alluvions anciennes des oueds.....	30
2.1.14 Halipèdes, Sol de sebkha.....	30
2.1.15 Alluvions récentes des oueds.....	30
2.1.16 Dunes et plages actuelles.....	30
2 - 2 STRUCTURE.....	30
3 - <u>ETUDE DETAILLEE DU REMPLISSAGE DE LA PLAINE D'ENFIDAVILLE.</u>	
3 - 1 METHODES D'ETUDE.....	35
3.1.1 Etude géologique de surface.....	35
3.1.2 Etude géomorphologique et étude des photos aériennes.....	35
3.1.3 Prospection géophysique.....	35
3.1.4 Sondages mécaniques.....	37
3.1.5 Etude pétrographique et granulométrique d'échantillons.....	37
3 - 2. NATURE DU REMPLISSAGE.....	37
3 - 3 STRUCTURE DU REMPLISSAGE.....	41
3.3.1 Fermeture N.E de la Cuvette synclinale de Sidi Abich.....	44
3.3.2 Fermeture S.O de la Cuvette de Sidi Abich.....	45
3.3.3 Bordure occidentale de la plaine d'Enfidaville.....	45
3.3.4 l'Ancien Golfe d'Enfidaville-Sebkha Kelbia.....	45

3.3.5 1'Anticlinal de Kalâa Kébira.....	46
3.3.6 Conclusion.....	46

4 - ETUDE DE LA NAPPE PHREATIQUE.

4 - 1 METHODE D'ETUDE.....	48
4.1.1 Inventaire systématique de tous les points d'eau.....	48
4.1.2 Prélèvements d'échantillons.....	50
4.1.3 Nivellement.....	50
4.1.4 Mesures périodiques du niveau piézométrique.....	50
4 - 2 ECOULEMENT DE LA NAPPE PHREATIQUE.....	50
4.2.1 Généralités.....	50
4.2.2 Cartes piézométriques.....	53
4.2.3 Forme générale de l'écoulement.....	54
4.2.4 Conclusion.....	54
4 - 3 ALIMENTATION DES NAPPES SUPERFICIELLE ET PROFONDE.....	55
4.3.1 Infiltration directe des eaux météoriques.....	55
4.3.2 Alimentation à partir des eaux de ruissellement des oueds.....	55
4.3.3 Déversement des nappes adjacentes.....	56
4.3.4 Conclusion.....	56

5 - CHIMIE DES EAUX.

5 - 1 NAPPE PHREATIQUE SUPERFICIELLE.....	58
5.1.1 Carte de Salinité.....	58
5.1.2 Cartes d'Isorésistivité.....	62
5.1.3 Carte d'équirapports r Mg/r Ca.....	62
5.1.4 Carte d'équirapports r SO <sub>4</sub> /r Cl.....	67
5.1.5 Représentation graphique des analyses.....	67
5.1.6 Conclusion.....	68
5 - 2 NAPPE PROFONDE.....	68
5 - 3 TENEUR EN TRITIUM DES EAUX.....	69
5.3.1 Généralités.....	69
5.3.2 Mesures.....	70
5.3.3 Conclusion.....	70

6 - EVALUATION DES RESSOURCES EXPLOITABLES.

6 - 1 EXPLOITATION ACTUELLE.....	71
6 - 2 RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES DE LA PLAINE D'ENFIDAVILLE.....	74
6.2.1 Etude granulométrique.....	74
6.2.2 Essais de pompage.....	76
6.2.3 Fluctuations de la nappe phréatique.....	77
6.2.4 Les ressources régulatrices.....	81
6.2.5 Les ressources permanentes.....	81
6.2.6 Les ressources dynamiques.....	83
6 - 3 CONCLUSION.....	84

7 - ESSAI DE BILAN HYDROLOGIQUE.

7 - 1 PLUVIOMETRIE.....	85
7 - 2 EVAPOTRANSPIRATION.....	85
7 - 3 RUISSELLEMENT.....	85
7 - 4 INFILTRATION.....	86
7 - 5 CONCLUSION.....	87

CONCLUSIONS GENERALES.

Bibliographie.....	90
Annexe.....	94

LISTE DES FIGURES ET DES PLANCHES.

Fig 1 : Zones Tectoniques de la Tunisie et Carte de Situation.....	1
Fig 2 : Schéma Orographique de l'Atlas Tunisien.....	3
Fig 3 : Variation de la Pluviométrie annuelle.....	5
Fig 4 : Variation des moyennes mensuelles de la Pluviométrie à Enfidaville de 1901 à 1972.....	7
Fig 5a : Hydrographie de la région du Lac Kelbia.....	11
Fig 5b : Carte pluviométrique de la région d'Enfida - Kairouan - Sousse.....	11
Fig 5bis : Abaque pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle par la méthode de Thornthwaite.....	12
Fig 6 : Carte des bassins versants.....	17
Fig 7 : Scéma Structural.....	31
Fig 8 : Exemples de Sondages Electriques.....	36
Fig 9 : Carte de situation des Sondages.....	40
Fig 10 : Carte des points de prélèvements d'échantillons.....	57
Fig 11 : Variation de la Conductivité en fonction de la Salinité.....	59
Fig 12 : Carte d'équirapports r Mg/r Ca.....	65
Fig 13 : Carte d'équirapports r SO <sub>4</sub> /r Cl.....	66
Fig 14 : Courbes Granulométriques.....	73
Fig 15 : Courbes Granulométriques.....	75
Fig 16 : Variation mensuelle du N.S de la nappe phréatique dans les puits (13,26 et 11).....	78
Fig 17 : Variation mensuelle du N.S de la nappe phréatique dans les puits (14,22 et 24).....	79
Fig 18 : Variation annuelle du N.S de la nappe phréatique dans le puits 13.....	80

P L A N C H E S

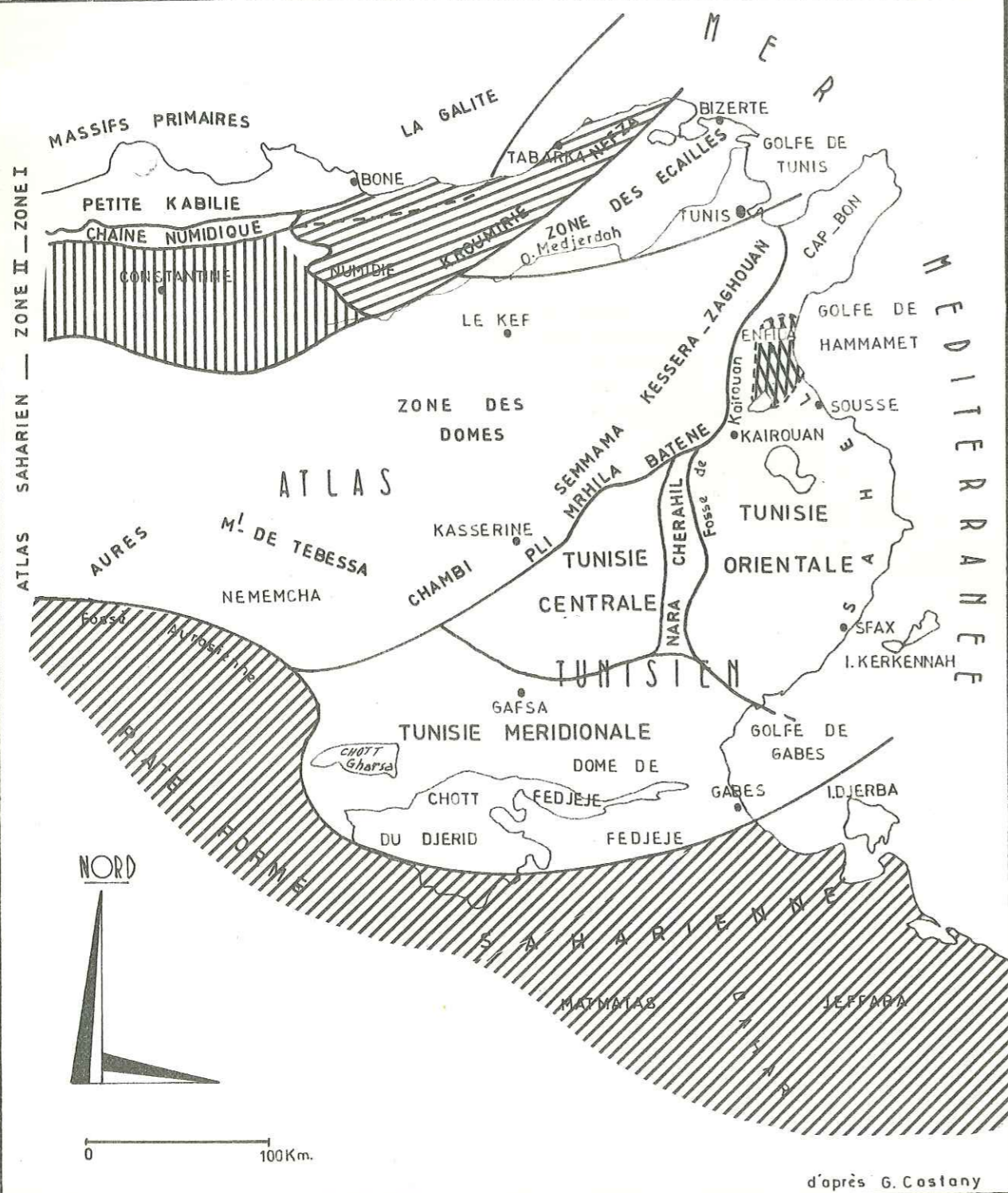
P1 1 : Carte Géologique.....	22
P1 1bis Légende de la carte Géologique.....	21
P1 2 : Coupes géologiques schématiques.....	25
P1 3 : Fermeture N,E de la Cuvette de Sidi Abich.....	42
P1 4 : Coupes électriques.....	43
P1 5 : Carte des points de mesure.....	49
P1 6 : Carte Piézométrique : Basses Eaux.....	51
P1 7 : Carte Piézométrique : Hautes Eaux.....	52
P1 8 : Carte de Salinité.....	61
P1 9 : Carte d'Isorésistivité : Hautes Eaux.....	63
P1 10 : Carte d'Isorésistivité : Basses Eaux.....	64
P1 11 : Carte d'Equibattement.....	82

DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES

1 - Zone d'Enfidaville 1.....	96
2 - Zone d'Enfidaville 2.....	97
3 - Zone d'Enfidaville 3.....	98
4 - Zone de Menzel Dar Bel Ouar.....	99
5 - Zone de Kondar (Sebkha Kelbia).....	100
6 - Zone de Sidi Bou Ali.....	101
7 - Zone de Sidi Bou Ali.....	102
8 - Zone de Chott Meriem.....	103
9 - Zone de Chott Meriem (Halk el Menzel).....	104
10- Forages du groupe de Sidi Abich.....	105
11- Forages du groupe d'Enfidaville.....	106
12- Forages du groupe de l'Oued el Khaïrat.....	107
13- Forages du groupe de Sidi Bou Ali.....	108

# ZONES TECTONICOES DE LA TUNISIE ET CARTE DE SITUATION

Fig. 1



d'après G. Costony

## LEGENDE

 Plaine d'Enfidaville.

- 2 -

## INTRODUCTION

### I - CADRE GEOGRAPHIQUE (Fig. 1)

La Tunisie Orientale est limitée à l'est dans sa partie nord par la zone des Dômes et dans sa partie sud par la chaîne Nara-Cherahil. Elle se prolonge vers le nord par le Cap Bon qui s'y rattache.

La zone côtière représente le Sahel de Sousse et de Sfax qui s'étend des plis de bordure de la Dorsale Tunisienne et de la Tunisie Centrale jusqu'à la mer.

C'est une vaste région de topographie monotone, accidentée de bombements peu accentués, dômes de Bou Thadi (249 mètres), El Djem (176 mètres); séparés par de vastes cuvettes, dont le fond est souvent occupé par des Sebkhas : Sebkhâ Kelbia au S.W. d'Enfidaville, Sebkhâ Sidi el Hani et Sebkhâ Chérîta au nord du dôme de Bou Thadi.

La plaine d'Enfidaville occupe l'emplacement d'un vaste synclinal d'orientation S.W.-N.E., limité :

- Au Nord et au Nord Ouest par les plis de bordure de la Dorsale tunisienne : Djebels Abid, Garsi et Fadheloum,
- Au Sud et au Sud Ouest par la Sebkhâ Kelbia,
- Au Sud Est par l'anticlinal de Kallâ Kébira,
- A l'Est par le Golfe d'Hammamet,
- A l'Ouest par le monoclinal de Draâ Es Souatir.

La plaine d'Enfidaville longe la côte orientale tunisienne sur plus de 50 km, avec une largeur moyenne de 20 km environ.

Sa superficie est de 1200 km<sup>2</sup> environ.

### 2 - GEOMORPHOLOGIE

La plaine d'Enfidaville est une région monotone à relief moins accentué que celui des plis de bordure de la Dorsale tunisienne. Elle est marquée par la présence d'une formation dure, grésocalcaire qui fait saillie au centre de la plaine à Takrouna (à l'Ouest d'Enfidaville). Cette butte témoin du Burdigalien grésocalcaire forme l'ossature de Draâ Es Souatir qui borde la plaine à l'Ouest. En outre, le Burdigalien constitue un bon repère géologique qui permet au Géologue d'identifier aisément les affleurements rencontrés sur le terrain.

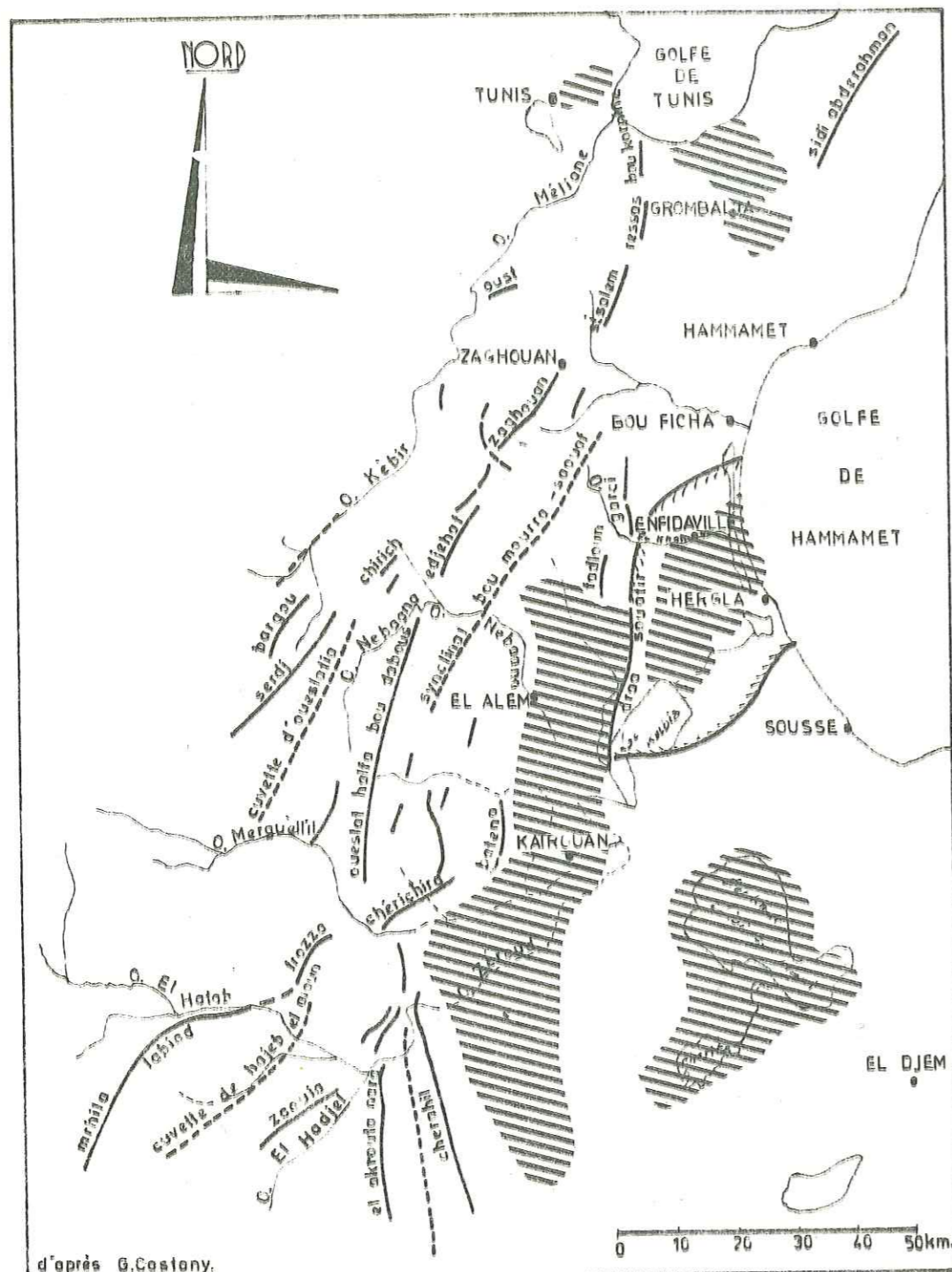
Une autre formation dure marque la morphologie de la plaine ; c'est la croûte calcaire qui se manifeste partout en Tunisie. Elle constitue un handicap sérieux pour l'agriculture. C'est une formation qui se trouve à une très faible profondeur, dans le cas où elle n'affleure pas. Elle prend parfois une grande importance, quand elle affleure sur de larges étendues formant ainsi des "Plateaux calcaires", qu'on appelle en Tunisie "Hamada" (exemple Hamadet Es Souda, au Nord-Est d'Enfidaville). Ces "Hamada" cachent souvent des affleurements intéressants : tel que le Burdigalien à peine visible à Hamadet Es Souda.

Cette croûte calcaire atteint parfois des épaisseurs importantes qui peuvent aller jusqu'à 4-5 mètres pouvant former ainsi des petites monticules dominant un peu partout les formations plus tendres du Quaternaire ancien et récent.



# SCHEMA OROGRAPHIQUE DE L'ATLAS TUNISIEN

- 4 -



## - LEGENDE -

- Axes anticlinaux.
- Axes synclinaux.
- Cuvettes et fossès - Quaternaires.
- Plaine d' Enfidaville.

Le sol de la plaine est composé essentiellement de formations sablo-argileuses du Mio-pliocène et d'alluvions d'oueds.

Les oueds importants sont bordés par des terrasses peu épaisses (2 à 3 m). L'une de ces terrasses est bien visible le long du cours de l'Oued Moussa, sur la route de Zaghouan à Enfidaville.

Le réseau hydrographique est bien développé au Nord et au Sud de la plaine. La zone centrale est dépourvue de cours d'eau du fait qu'elle est couverte en grande partie par de la croûte calcaire.

Les lits des oueds très encaissés dans leurs cours supérieurs, deviennent peu profonds en arrivant dans la plaine où pendant la saison pluvieuse les eaux de crue viennent s'étaler en provoquant un alluvionnement important (Oued el Khaïrat notamment).

Pour compléter le tableau morphologique de la plaine d'Enfidaville, nous parlerons des sebkhas qui jouent un grand rôle dans l'hydrogéologie de la région. Nous avons deux sortes de sebkhas :

- Les sebkhas de bordure, qui séparent la plaine de la mer ; ce sont du nord au sud :
  - Sebkha Sidi Khalifa ;
  - Sebkha Assa Djiriba ;
  - Sebkha Halk el Menzel.
- Les sebkhas de l'intérieur, qui occupent les dépressions et bas fonds de la plaine. Ce sont :
  - Sebkha Khedma el Kebira au centre de la plaine ;
  - Sebkha Kelbia : au Sud Ouest de la plaine d'Enfidaville.

Nous pouvons définir la Sebkha comme une lagune temporaire qui est réduite en saison sèche à une croûte de sel. Par contre, en saison pluvieuse la sebkha devient le lieu de réception des eaux de crue qui arrivent à l'atteindre. La sédimentation y est limoneuse.

I. CLIMATOLOGIE ET HYDROLOGIE DE SURFACE

I - 1 - CLIMATOLOGIE

Nous essayerons dans ce chapitre de dégager les traits caractéristiques du climat de la plaine d'Enfidaville.

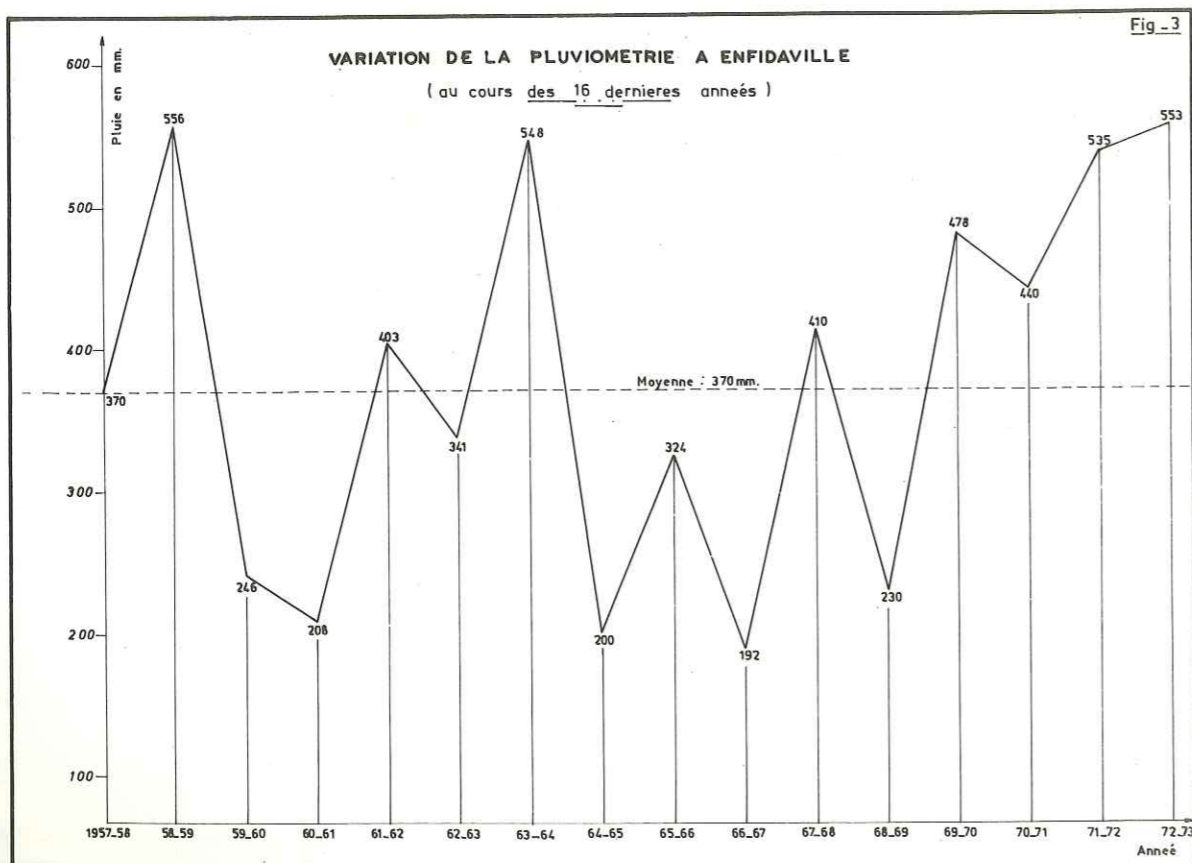
I.1.1. TEMPERATURE

La température moyenne annuelle est de 19,2 ° ± 1°C établie à partir de mesures effectuées par le Service Météorologique de Tunisie pendant 50 ans.

SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT
25,2	21,5	16,6	12,7	11,5	12,1	14,8	17,1	20,6	24,5	27,6	28,1

Le mois le plus chaud est le mois d'août avec 28 ° C et le mois le plus froid est le mois de janvier avec 11° C.

Les écarts entre les minima et les maxima absolus sont plus accusés en se rapprochant de Kairouan et en s'éloignant de la mer :  
de 3° à 50° C à Enfidaville  
de 4,5° à 49° C à Kairouan.



1.1.2. LES GELEES

Elles paraissent possibles du 1er décembre au 1er avril et même peut-être du 1er octobre au 1er avril, dans la partie sud de la plaine d'Enfidaville vers Kairouan.

1.1.3. LES VENTS

Les vents dominants sont ceux du Nord Ouest, souvent très violents et secs.

Les vents d'Est humides apportent les pluies les plus bénéfiques pour l'agriculture, car elles sont les moins violentes et les plus persistantes.

En été le Chehili (Sirocco) très desséchant et néfaste aux cultures, se manifeste souvent, surtout pendant les mois de juillet et d'août.

1.1.4. PLUVIOMETRIE

Nous disposons de relevés pluviométriques de plusieurs stations qui couvrent la totalité de la plaine d'Enfidaville. Nous avons même des stations limitrophes qui nous permettent de mieux préciser nos connaissances sur la pluviométrie de la région.

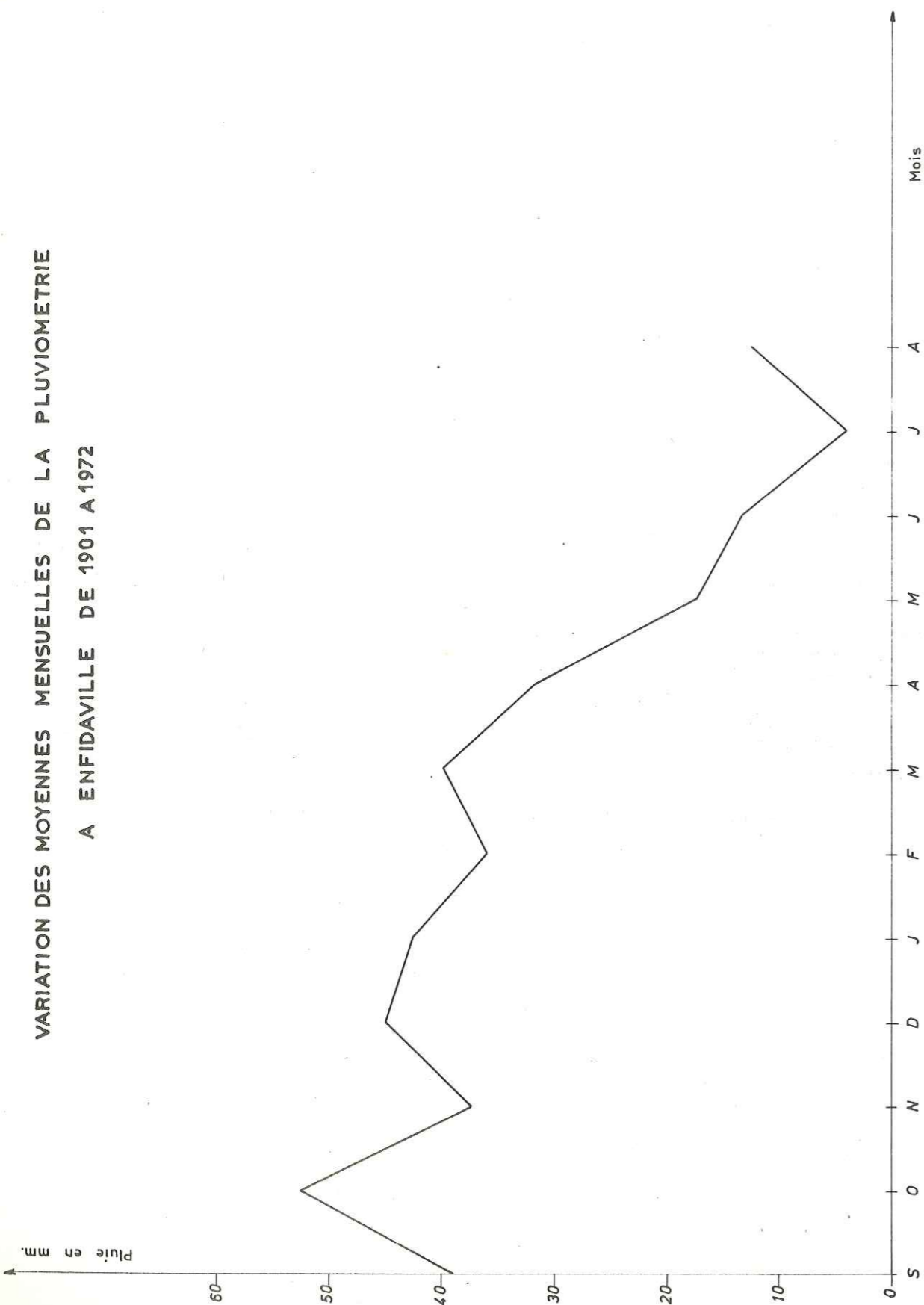
La pluviométrie est le facteur météorologique le mieux connu. En effet à Enfidaville nous avons pu consulter les relevés pluviométriques depuis 1900 jusqu'à nos jours, sans interruption. Quant aux autres stations (Menzel Dar Bel Ouar, Hergla, Kondar) elles ont fonctionné d'une façon discontinue pour des raisons diverses qui vont de la détérioration du pluviomètre jusqu'à l'impossibilité de prendre les mesures faute d'observateurs.

Actuellement, nous disposons d'un réseau pluviométrique bien entretenu par la section pluviométrique du Service Hydrologique de la Division des Ressources en Eau.

TABLEAU n° 1 - Moyennes mensuelles des précipitations de 1957-58 à 1971-72

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Gastlaïfa	20	42	40	16	18	35	22	15	22	13	2	7
Barrage	20	42	40	16	18	35	22	15	22	13	2	7
El KHLEY	37	58	31	26	62	18	32	29	16	15	7	11
AIN Garsi	26	27	35	18	30	29	27	23	18	15	4	5
ENFIDAVILLE	30	62	40	42	43	34	40	36	17	14	5	13
Menzel Dar Bel Ouar	23	35	28	36	59	29	37	18	18	18	17	15
HERGLA	51	19	32	128	49	29	44	39	59	4	5	1
KONDAR	25	65	48	33	33	29	34	23	19	13	9	8
Sebkhari Kelbia	46	115	26	17	30	33	17	22	21	8	1	9

VARIATION DES MOYENNES MENSUELLES DE LA PLUVIOMETRIE  
A ENFIDAVILLE DE 1901 A 1972



La hauteur moyenne des précipitations est de 370 mm, durant les seize dernières années (de 1957-58 à 1972-73). La fig. 3 nous montre la variation de la pluviométrie annuelle au cours de cette période.

Les pluviométries annuelles extrêmes présentent partout dans la région des écarts considérables.

Enfidaville 776 mm (1934) et 130 mm (1937)  
Kondar 702 mm (1934) et 88 mm (1937).

Les mois les plus pluvieux vont de septembre à avril. La saison pluvieuse commence en septembre par les pluies d'automne qui sont parfois catastrophiques, comme ce fut le cas en 1969 et en 1973 où on a enregistré une pluviométrie de 315 mm en quelques jours seulement au cours du mois d'octobre 1969. En général, les pluies d'automne sont violentes et rarement bénéfiques pour l'agriculture.

Quant aux pluies d'hiver, elles sont moins violentes et plus persistantes. Ce sont ces pluies qui contribueraient à la recharge des nappes ?

En général, les pluies arrivent sous forme d'averses qui peuvent atteindre des proportions considérables. Au mois d'octobre 1969, on a enregistré des averses de 150 mm pendant deux heures seulement. Dans ces conditions l'infiltration n'est pas favorisée ; par contre le ruissellement s'intensifie et donne naissance à des crues brusques qui dévastent tout sur leur passage (Inondations de l'automne 1969 et décembre 1973).

Les mois les plus secs sont les mois de juillet et d'août. Mais il arrive que les orages d'automne commencent dès la dernière décade du mois d'août.

La pluviométrie dans la plaine d'Enfidaville augmente régulièrement du Sud au Nord (fig. 5 b). Elle est plus forte sur la côte que dans l'intérieur et elle augmente vers l'altitude.

#### 1.1.5. EVAPORATION ET EVAPOTRANSPIRATION

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

- de la température,
- de la tension de la vapeur d'eau contenue dans la masse d'air en contact avec la surface considérée,
- de la turbulence dans cette masse d'air,
- du degré de salinité du sol,
- de la quantité d'eau contenue dans le sol.

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

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

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

Nous essayerons de déterminer l'Er par les différentes méthodes suivantes :

a) Méthode de l'évaporomètre Piche :

Les mesures sont effectuées par le Service Météorologique à la station d'Enfidaville.

L'évaporation mesurée par cette méthode donne un maximum de 257 mm au mois de juillet, avec un minimum de 77 mm au mois de janvier. L'évaporation annuelle est égale à 1700 mm environ.

Quant à la valeur de l'évaporation que l'on peut déduire du retrait des eaux de la Sebkhâ Kelbia, elle passe par un maximum en juillet (206 mm) et un minimum en février (45 mm). L'évaporation totale annuelle serait alors de 1400 mm environ.

b) Méthode de L. TURC :

En appliquant la formule préconisée par L. TURC, on devrait obtenir l'évapotranspiration réelle :

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

avec P : pluviométrie moyenne annuelle  
 L = 300 + 25 T + 0,05 T<sup>3</sup>  
 t = température moyenne annuelle

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

$$P = 370 \text{ mm} \quad \text{et} \quad Er = 370 \text{ mm}$$

$$T = 19,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

c) Méthode de COUTAGNE :

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

$$Er = P - \lambda P^2 \text{ où } P = \text{hauteur moyenne des précipitations exprimée en mètres}$$

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

T = température moyenne annuelle en ° C.

Cette formule n'est applicable que pour P comprise entre  $\frac{1}{8\lambda}$

et  $\frac{1}{2\lambda}$  c'est-à-dire entre 400 et 1700 mm, donc elle s'applique à Enfi-

fidaville où la pluviométrie annuelle dépasse souvent les 400 mm.

Application numérique :

$$P = 0,370 \text{ m}$$

$$T = 19,2 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{d'où } Er = 0,333 \text{ m ou } Er = 333 \text{ mm}$$

$$= 0,29$$

d) Méthode de Thornthwaite :

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

L'abaque est obtenu à partir de la formule

$$Ep = 1,6 \left( 10 \frac{t}{I} \right)^\alpha \text{ avec } I = \sum_{i=1}^{12} i, i = \left( \frac{t}{5} \right)^{0,514}$$

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

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

Ep : Evapotranspiration potentielle  
 I : indice thermique annuel, i : indice thermique mensuel  
 t : température moyenne annuelle.

Pour calculer l'évapotranspiration potentielle par la méthode de Thornthwaite, on calcule d'abord les indices thermiques mensuels. Le tableau 2 donne les valeurs mensuelles en supposant des mois de 30 jours à 12 heures de jour par jour.

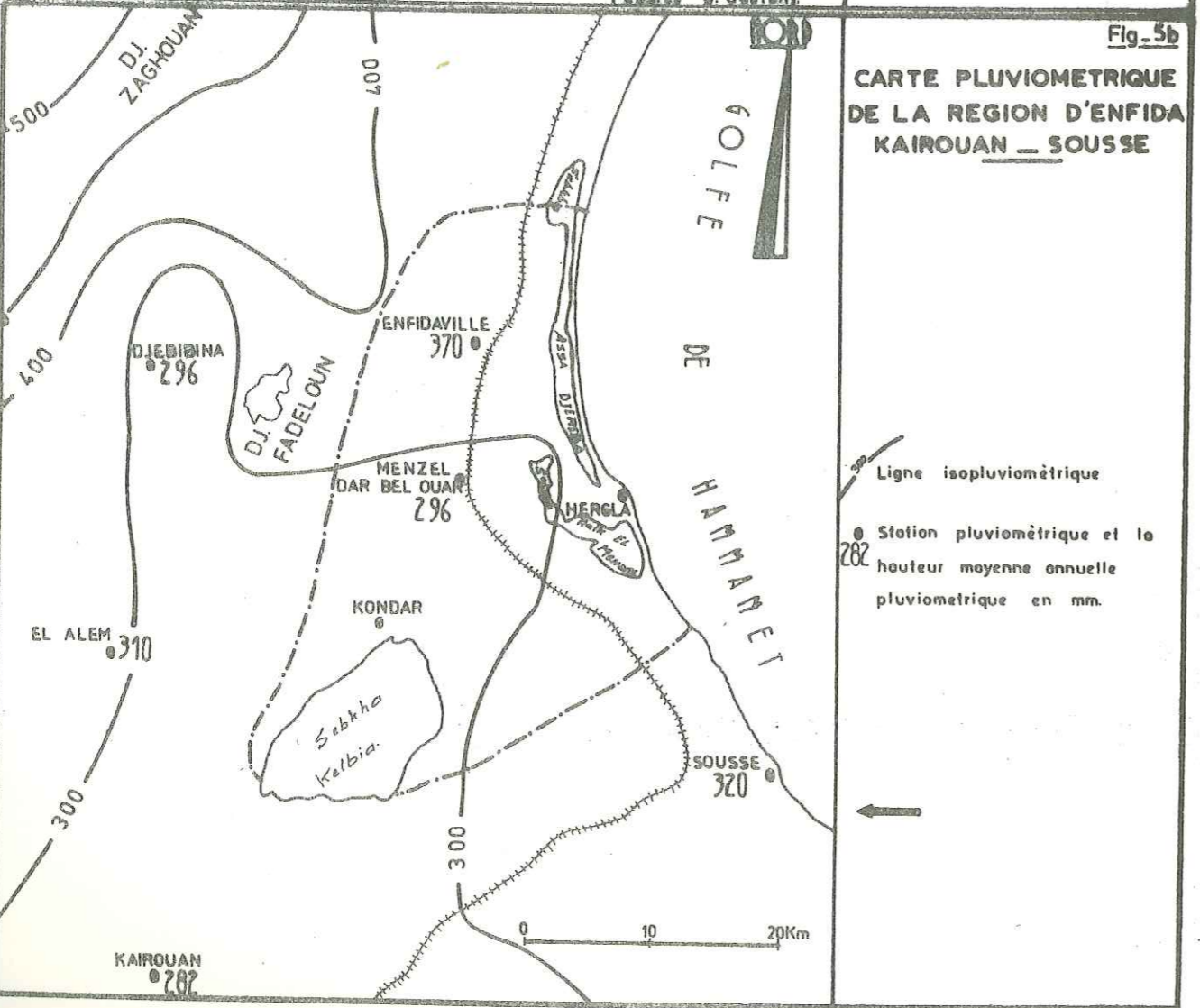
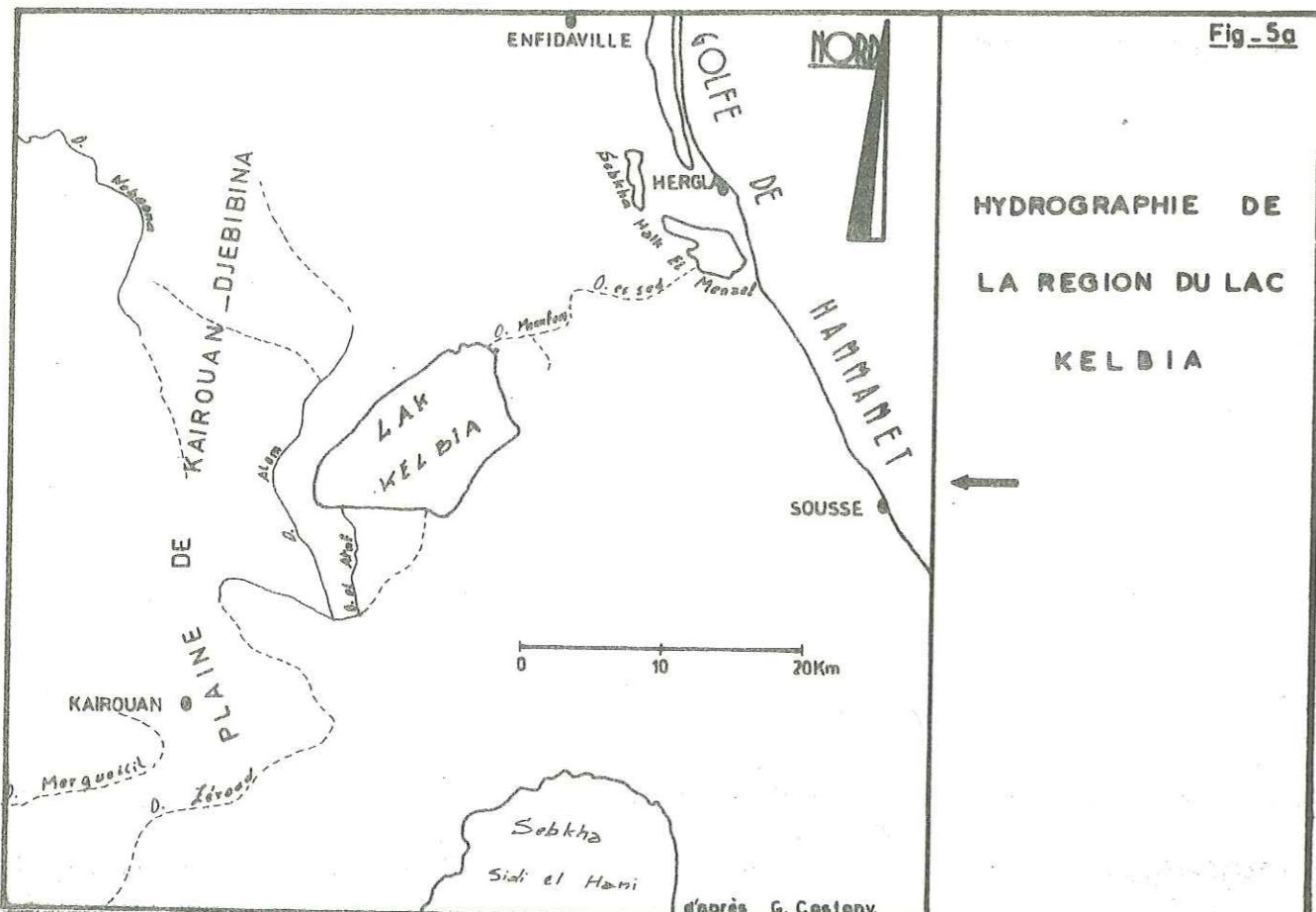
La somme des indices donne l'indice thermique annuel : I.

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

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

Si la température mensuelle dépasse 26 ° 5, on adopte les valeurs d'évapotranspiration potentielle marquées au bas du tableau 3.

On multiplie l'Ep ainsi obtenue par le coefficient de correction donné par le tableau 2 pour tenir compte du nombre de jours par mois et de la durée du jour en fonction de la latitude.



— Ligne isopluyométrique  
 ● Station pluviométrique et la hauteur moyenne annuelle pluviométrique en mm.

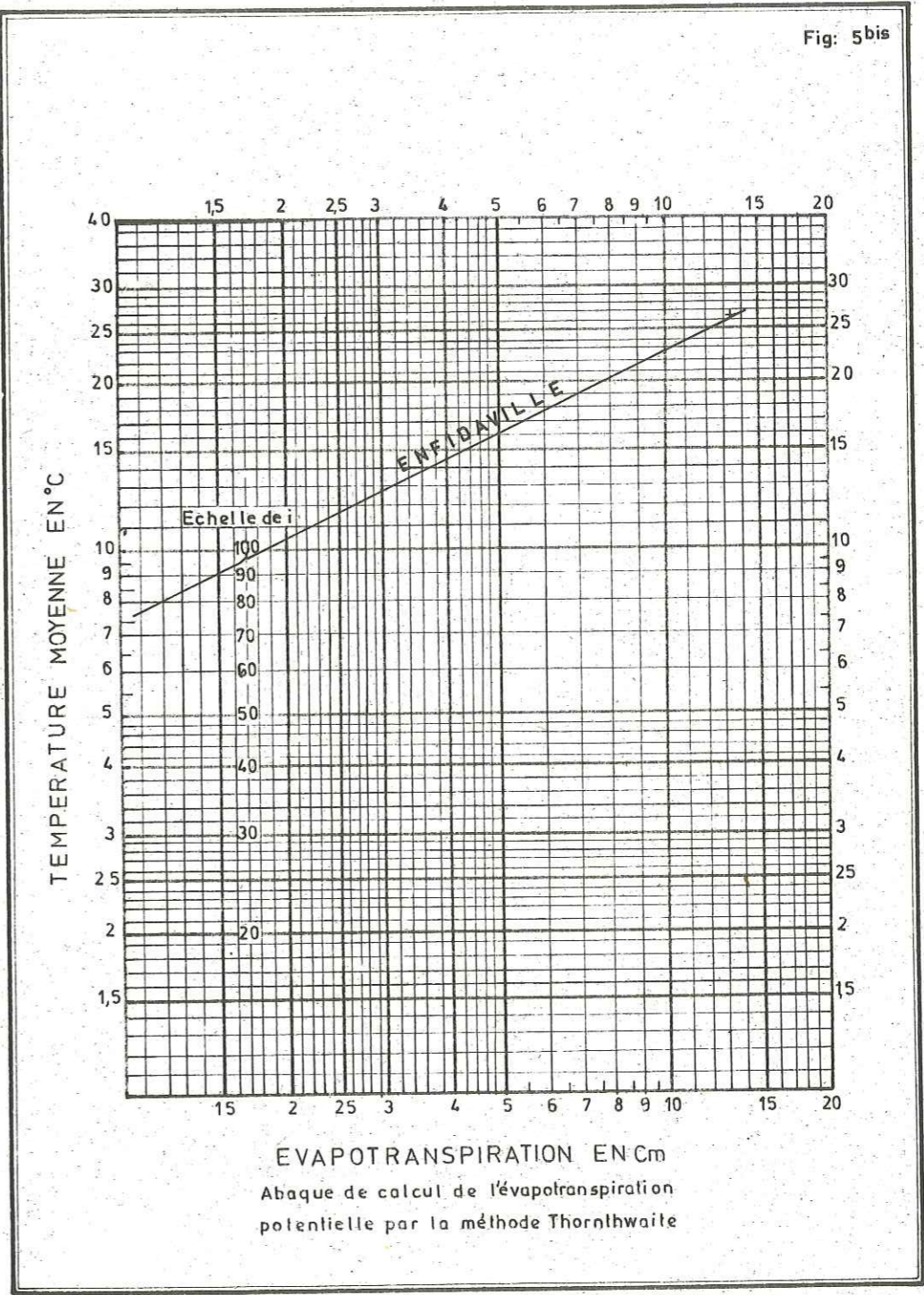


TABLEAU N° 2

DUREE MOYENNE POSSIBLE D'ENSOLEILLEMENT

N. Lat.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.94
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
26	.92	.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
27	.92	.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	.99	.90	.90
28	.91	.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	.98	.90	.90
29	.91	.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
31	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
36	.87	.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	.97	.85	.84
37	.86	.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	.96	.84	.83
38	.85	.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	.96	.83	.82
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	.96	.83	.81
41	.83	.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	.96	.82	.80
42	.82	.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	.95	.82	.79
43	.81	.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	.95	.81	.77
44	.81	.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.30	1.20	1.04	.95	.80	.76
45	.80	.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	.94	.79	.75
46	.79	.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	.94	.79	.74
47	.77	.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.04	.93	.78	.73
48	.76	.80	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	.93	.77	.72
49	.75	.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	.93	.76	.71
50	.74	.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	.92	.76	.70
S. Lat.												
5	1.06	.95	1.04	1.00	1.02	.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10	1.08	.97	1.05	.99	1.01	.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	.98	1.05	.98	.98	.94	.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	.97	.96	.91	.95	.99	1.00	1.08	1.09	1.15
25	1.17	1.01	1.05	.96	.94	.88	.93	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
30	1.20	1.03	1.06	.95	.92	.85	.90	.96	1.00	1.12	1.14	1.21
35	1.23	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.17	1.25
40	1.27	1.06	1.07	.93	.86	.78	.84	.92	1.00	1.15	1.20	1.29
42	1.28	1.07	1.07	.92	.85	.76	.82	.92	1.00	1.16	1.22	1.31
44	1.30	1.08	1.07	.92	.83	.74	.81	.91	.99	1.17	1.23	1.33
46	1.32	1.10	1.07	.91	.82	.72	.79	.90	.99	1.17	1.25	1.35
48	1.34	1.11	1.08	.90	.80	.70	.76	.89	.99	1.18	1.27	1.37
50	1.37	1.12	1.08	.89	.77	.67	.74	.88	.99	1.19	1.29	1.41

TABLEAU N° 3

VALEURS MENSUELLES DE i CORRESPONDANT AUX TEMPERATURES MOYENNES

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

VALEURS DE L'EVAPOTRANSPIRATION EN CM POUR LES TEMPERATURES SUPERIEURES A 26°5

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

Pour Enfidaville nous avons :

M O I S	T°C	i	Ep en mm	k	Ep corrigée
Septembre	25,20	11,57	121,00	1,03	125
Octobre	21,50	9,10	87,00	0,97	84,5
Novembre	16,60	6,15	50,00	0,85	48,00
Décembre	12,70	4,10	29,00	0,84	24,40
Janvier	11,50	3,53	23,20	0,87	20,02
Février	12,50	4,00	27,00	0,85	23,00
Mars	14,80	5,17	40,00	1,03	41,50
Avril	17,10	6,44	55,00	1,10	60,50
Mai	20,60	8,53	78,50	1,21	95,00
Juin	24,50	11,09	114,00	1,22	139,00
Juillet	27,60	13,28	143,70	1,24	178,00
Août	28,10	13,65	147,80	1,16	171,00

Nous obtenons : I = 96,61 et Ep = 1000 mm.

## 2) Calcul de l'Ep à partir du bilan hydrologique :

Nous calculerons encore l'évapotranspiration réelle par la méthode de Thornthwaite en établissant un bilan hydrologique de la plaine d'Enfidaville.

Ce bilan hydrologique est calculé à partir de l'évapotranspiration potentielle Ep et de la pluviométrie P, les résultats fondamentaux sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Les deux facteurs climatiques : Ep et pluviométrie sont totalement indépendants et leur variation au cours de l'année est très différente. Quand les précipitations sont supérieures à l'Ep, une certaine quantité d'eau est emmagasinée, par le sol jusqu'à saturation, le surplus ruisselle ou s'infiltré profondément, c'est ce que les hydrologues appellent "l'écoulement". Dès que les précipitations deviennent inférieures à l'Ep, le sol restitue l'eau emmagasinée. L'évapotranspiration réelle : Er reste égale à l'Ep jusqu'à l'épuisement de la réserve, puis elle devient inférieure à l'Ep et égale à la pluviométrie.

La réserve d'eau emmagasinée par le sol et tenue à la disposition des plantes ou évaporée par la suite joue un grand rôle dans l'établissement du bilan hydrologique.

La quantité d'eau nécessaire pour saturer le sol varie entre certaines limites qui dépendent de la nature et de la profondeur de la couche su-

perficielle, de sa composition ainsi que de la distribution et de l'extension du système radiculaire de la couverture végétale. Thornthwaite admet que le sol est saturé quand il a absorbé une quantité d'eau équivalente à une pluviométrie de 100 mm. Ce chiffre donne un ordre de grandeur admis par de nombreux agronomes. COUTAGNE a observé à Saint Genis Laval près de Lyon des variations de 84,7 à 126 mm ; de Montmarin (1953) en Tunisie du Nord, 275 à 285 mm. D'après HALLAIRE (1953) cette évaluation ne serait qu'une moyenne générale grossière.

Pour calculer le bilan hydrologique de la plaine d'Enfidaville, nous avons choisi comme point de départ le mois de septembre, période où la réserve d'eau du sol est certainement épuisée. On porte alors à la rubrique : réserve d'eau utile zéro. Pour les mois suivants la variation de la réserve d'eau résulte de la différence entre la pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle.

Quand la valeur de la réserve d'eau atteint 100 mm, le surplus constitue l'excès d'eau (water surplus) du mois considéré.

Quand, par suite de l'insuffisance ou de l'épuisement de la réserve d'eau l'Er est inférieure à l'Ep, leur différence constitue l'insuffisance d'eau (water deficiency).

### BILAN HYDROLOGIQUE DE LA PLAINE D'ENFIDAVILLE

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	ANNEE
Evap. Poten.	125	84,5	48,0	24,4	20,0	23,0	41,5	60,5	95,0	139	178	171	1009,9mm
Précipitation	30	62	40	42	43	34	40	36	17	14	5	13	376mm
Variat. Rés. Eau	0	0	0	17,6	22,9	11	51,5	0	0	0	0	0	
Réserve d'eau	0	0	0	17,6	40,5	51,5	0	0	0	0	0	0	
Evapo. réelle	30	62	40	24,4	20,0	23,0	91,5	36	17	14	5	13	376mm
Insuffis. Eau	95	22,5	8	0	0	0	0	24,5	78	125	173	158	684mm
Excédent d'Eau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Les différentes méthodes de calcul de l'évapotranspiration aboutissent à des valeurs assez élevées, mais la méthode de COUTAGNE paraît être la plus proche de la réalité. Pour l'adapter aux conditions naturelles de la plaine d'Enfidaville, nous utiliserons pour le calcul du bilan d'eau :

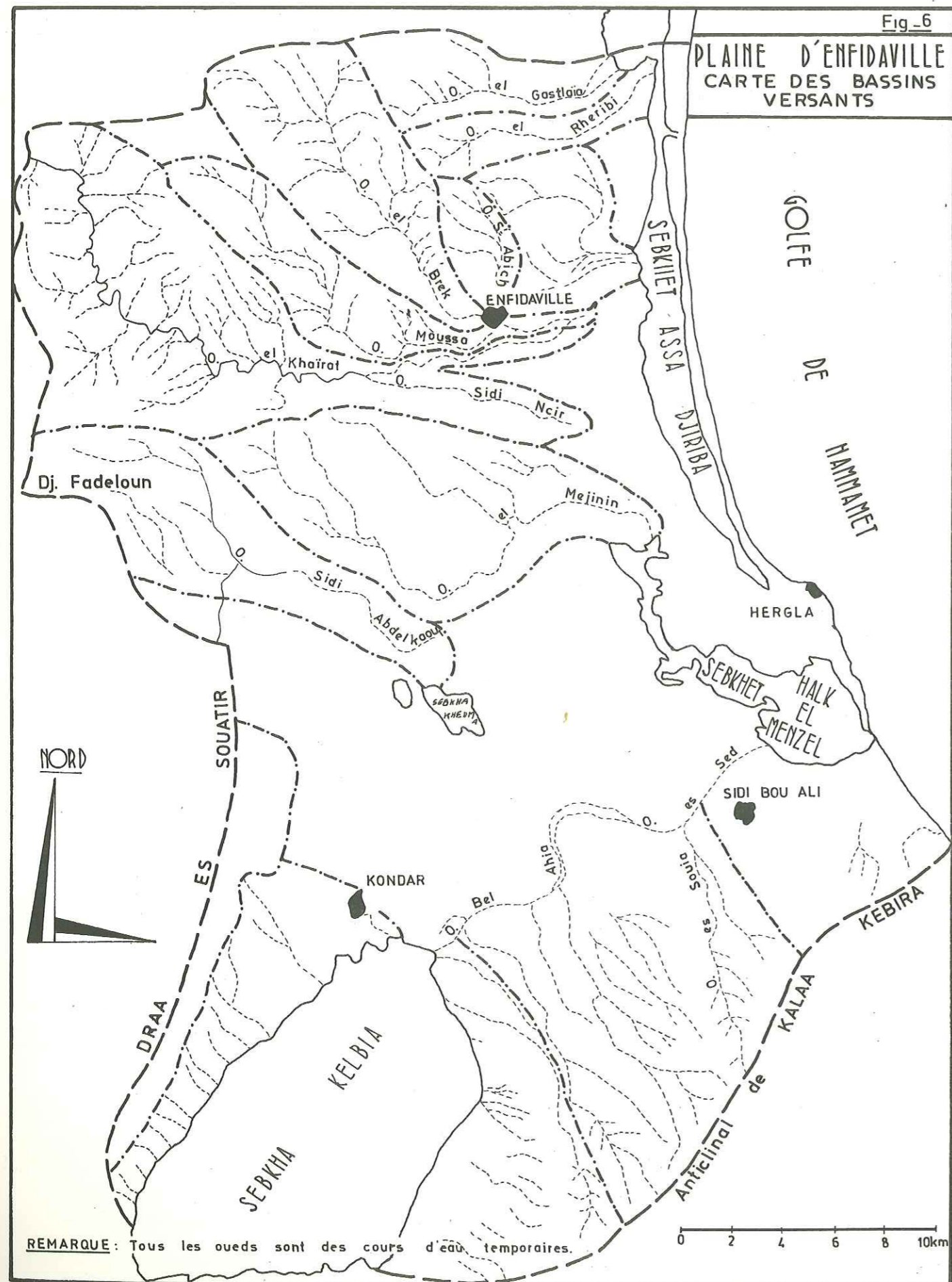
- la méthode des lysimètres (appliquée par L. YANKOVITCH au Service Notanique et Agronomique de Tunisie de 1933-34 - 1955 dans des conditions climatiques assez proches de celles d'Enfidaville,

- la méthode du dosage des isotopes instables tel que le tritium dans les eaux souterraines.

L'ensemble des données climatiques (température, pluviométrie, évapotranspiration permet d'attribuer à la plaine d'Enfidaville un climat méditerranéen semi-aride à aride en allant du nord au sud.

L'influence marine sur ce climat froid et humide en hiver, chaud et sec en été est faible, elle se limite à la zone côtière de la plaine et décroît rapidement vers l'intérieur.

Dans ces conditions l'évapotranspiration devient un élément fondamental à prendre en compte pour l'évaluation des possibilités du renouvellement des réserves d'eaux souterraines.

1 - 2 - HYDROLOGIE DE SURFACE

Le régime pluviométrique de la région, pluies violentes réparties sur une courte durée de 60 à 70 jours par an, imprime un caractère torrentiel aux oueds. Ainsi l'écoulement superficiel est faible, voire nul pendant la plus grande partie de l'année.

Le réseau hydrographique est très développé (fig. 6). Les débits sont irréguliers. Seul l'Oued el Khaïrat a un débit "pérenne" très variable d'ailleurs, suivant les années et les saisons.

L'été 1972, l'oued était à sec, mais après les pluies abondantes (plus de 100 mm en septembre-octobre 1972) l'écoulement a repris et a continué durant tout l'été 1973.

L'année 1972-73 a donc connu un écoulement pérenne de l'Oued el Khaïrat.

Mais, malgré ce débit pérenne, les eaux de l'oued el Khaïrat se perdent souvent dès qu'elles atteignent le centre de la plaine aux environs d'Enfidaville.

Les eaux s'écoulent généralement vers la mer, mais ne l'atteignent qu'exceptionnellement lors de fortes crues (septembre-octobre 1969). Par contre les eaux de crues peuvent atteindre les sebkhas et s'y accumuler.

Les oueds les plus importants de la région, sont du nord au sud :

- Oued Gastlaïa : Il draine un bassin versant, limité, qui s'étend sur 20 km<sup>2</sup> environ. Son apport d'eau moyen annuel (300 000 m<sup>3</sup>) est insuffisant pour remplir le lac artificiel du barrage construit sur son lit, avant qu'il débouche dans la Sebkha Sidi Khalifa. Le lac n'est donc rempli qu'au cours des années à forte pluviosité (exemple l'année 1972-73).

Le site du barrage est excellent. Le barrage repose sur le bed rock, constitué par la barre burdigalienne (gréso-calcaire). Celle-ci est fissurée et hachée par de nombreuses cassures mais l'étanchéité du barrage est assurée par les marnes rouges aquitaniennes sur lesquelles repose le Burdigalien.

L'essentiel des matériaux de construction du barrage a été fourni par le calcaire éocène du Djebel Abid, de la barre grésocalcaire du Burdigalien et les marnes aquitaniennes.

- Les Oueds Rhéribi et Breck : Ils drainent l'ensemble de la cuvette de Sidi Abich. Leurs eaux atteignent qu'exceptionnellement leur débouché naturel qui est la Sebkha Assa Dziriba.

- L'Oued Moussa draine le synclinal miocène de R'Mill. Ses eaux de crue se perdent aux environs d'Enfidaville dans les alluvions de l'Oued el Khaïrat.

- L'Oued el Khaïrat est le cours d'eau le plus important de la région. Son bassin versant s'étend sur 160 km<sup>2</sup> environ. Il a un débit pérenne très faible, variable suivant les années et les saisons. Ses eaux n'atteignent qu'exceptionnellement la Sebkha Assa Dziriba. En général ses eaux de crue se perdent dans ses propres alluvions aux environs d'Enfidaville.

Pour l'évaluation précise du ruissellement, nous avons envisagé dès le début de cette étude la construction d'une station hydrométrique sur le lit de l'oued el Khaïrat à l'entrée de la plaine d'Enfidaville et avant qu'il perde ses eaux dans ses propres alluvions.

Cette station n'a pu être réalisée que récemment au mois de décembre 1973.



Elle se situe dans la région d'Ain Garsi, à l'aval du Cassis de la route d'Enfidaville à En Nadhour.

Elle est construite sur les alluvions anciennes de l'oued el Khaïrat où elles sont les plus puissantes avec plus de 10 m d'épaisseur.

Aucun enregistrement n'a encore pu être réalisé.

- L'Oued Sidi Abdelkaoui draine un bassin versant de 60 km<sup>2</sup> environ. En période de crue, cet oued à lit peu encaissé s'étale dès qu'il a coupé la route d'Enfidaville à Kairouan (G.P. 2). Ses eaux rejoignent ensuite la Sebkha Khedma el Kébira.

- L'Oued el Méjnin draine les eaux de la zone sud d'Enfidaville. Ses eaux se perdent aux environs des Sebkhas Assa Djiriba et Halk el Menzel.

- L'Oued Es Sed : C'est l'oued qui permet l'évacuation des eaux de crue de la Sebkha Kelbia. Ces eaux de crue ne parviennent à l'Oued Es Sed que lorsqu'elles franchissent un seuil qui le sépare de l'Oued el Menfess prenant naissance à la Sebkha Kelbia.

Des petits oueds (Oued es Souria, Oued er Ramla) drainent les collines de Kalââ Kébira).

D'autres petits torrents prennent naissance dans les collines de Kondar (Monoclinal de Draâ es Souatir). Ils s'étalent dans la plaine avant que leurs eaux ne rejoignent les Sebkhas Khedma el Kébira et Kelbia.

Aucun des oueds ne parvient directement à la mer ; après étalement, leurs eaux s'accumulent dans les Sebkhas. Lors des crues exceptionnelles (octobre 69 et décembre 1973) les Sebkhas débordent et les eaux de crue atteignent la mer.

Les SEBKHAS sont des bassins d'accumulation des eaux de crues des Oueds de la plaine.

- Sebkha Kelbia : C'est la plus importante. Elle joue un rôle important dans l'hydrochimie de la nappe phréatique au niveau de Sidi Bou Ali.

La Sebkha Kelbia fait 15 km de long en direction S.W. - N.E., sur une largeur moyenne de 8 km. Sa superficie est de 120 km<sup>2</sup> environ. Sa capacité d'emmagasinement est de 390 millions de m<sup>3</sup> d'eau. Trois oueds importants (fig. 5a) y déversent leurs eaux;

- Oued Nebhana
- Oued Merguelli
- Oued Zéroud.

Au cours des années de pluviométrie exceptionnelles, la sebkha déborde et l'eau se déverse dans la mer par l'oued el Menfess et l'oued es Sed en franchissant le seuil qui sépare ces deux oueds. Ce seuil est à la cote 19,37 m, celle du fond du lac est de 15,25 m. Les débordements de la sebkha sont rares. Ils ont eu lieu en 1973, 1969, 1931, 1904 et probablement en 1870.

Pour les calculs d'apport d'eau annuel, E. BERKALOFF (1946) s'est basé sur les variations du plan d'eau qu'on connaît avec précision depuis 1935 et de façon approximative de 1931 à 1935.

L'apport d'eau moyen annuel est de 36 millions de m<sup>3</sup> par an, et l'apport médian c'est-à-dire l'apport dépassé une année sur deux, est de 13 millions de m<sup>3</sup>/an.

La crue la plus importante de 1931 a apporté 400 millions de m<sup>3</sup>.

L'analyse des échantillons d'eau du lac Kelbia indique des teneurs en sel variant de 3 g/l à la saturation.

Le retrait des eaux attribuable à l'évaporation atteint en moyenne 1400 mm par an. Cette valeur s'approche de celle calculée par la méthode de Thornthwaite.

- Sebkha Assa Djiriba : Elle longe la côte sur une longueur de 25 km environ. Sa largeur varie de 0,5 à 2 km. Elle est séparée de la mer par le cordon dunaire de Assa Djiriba. Elle reçoit les eaux de crue des oueds: Moussa, Breck et el Khaïrat. Elle est en communication avec la mer par un canal qui recoupe le cordon dunaire au sud de Dar Bou Kesra. En période de haute mer les vagues franchissent le petit cordon littoral, situé à l'embouchure du canal, et alimentent la sebkha d'une façon irrégulière.

- Sebkha Sidi Khalifa : Elle prolonge vers le nord la Sebkha Assa Djiriba. Elle reçoit les eaux de crue des oueds el Rhéribi et Gastlaïa.

- Sebkhet Halk el Menzel : Elle longe la côte, au sud de la Sebkha Assa Djiriba sur une longueur de 15 km environ, sa largeur varie de 0,5 à 4 km. Elle communique avec la mer par un goulet vers son extrémité sud. Ce goulet s'est élargi à la suite des inondations de l'automne 1969. Elle reçoit les eaux de crue des oueds el Mejinin et surtout d'es Sed lors des débordements de la Sebkha Kelbia.

- Sebkha Khedma el Kébira : Elle se trouve au centre de la plaine d'Enfidaville, au sud de Menzel Dar Bel Ouar. Elle occupe une dépression bien marquée dans la topographie. Elle s'étend sur 720 hectares environ. Elle reçoit les eaux de crue de l'oued Sidi Abdelkaoui, et elle n'a pas d'écoulement vers la mer.

Bien qu'aucune estimation exacte n'ait pu être réalisée, il apparaît que le ruissellement ne représente qu'une très faible part de la tranche d'eau disponible et du fait de son caractère sporadique mais brutal son influence sur la recharge des réserves souterraines ne peut qu'être encore plus limitée.

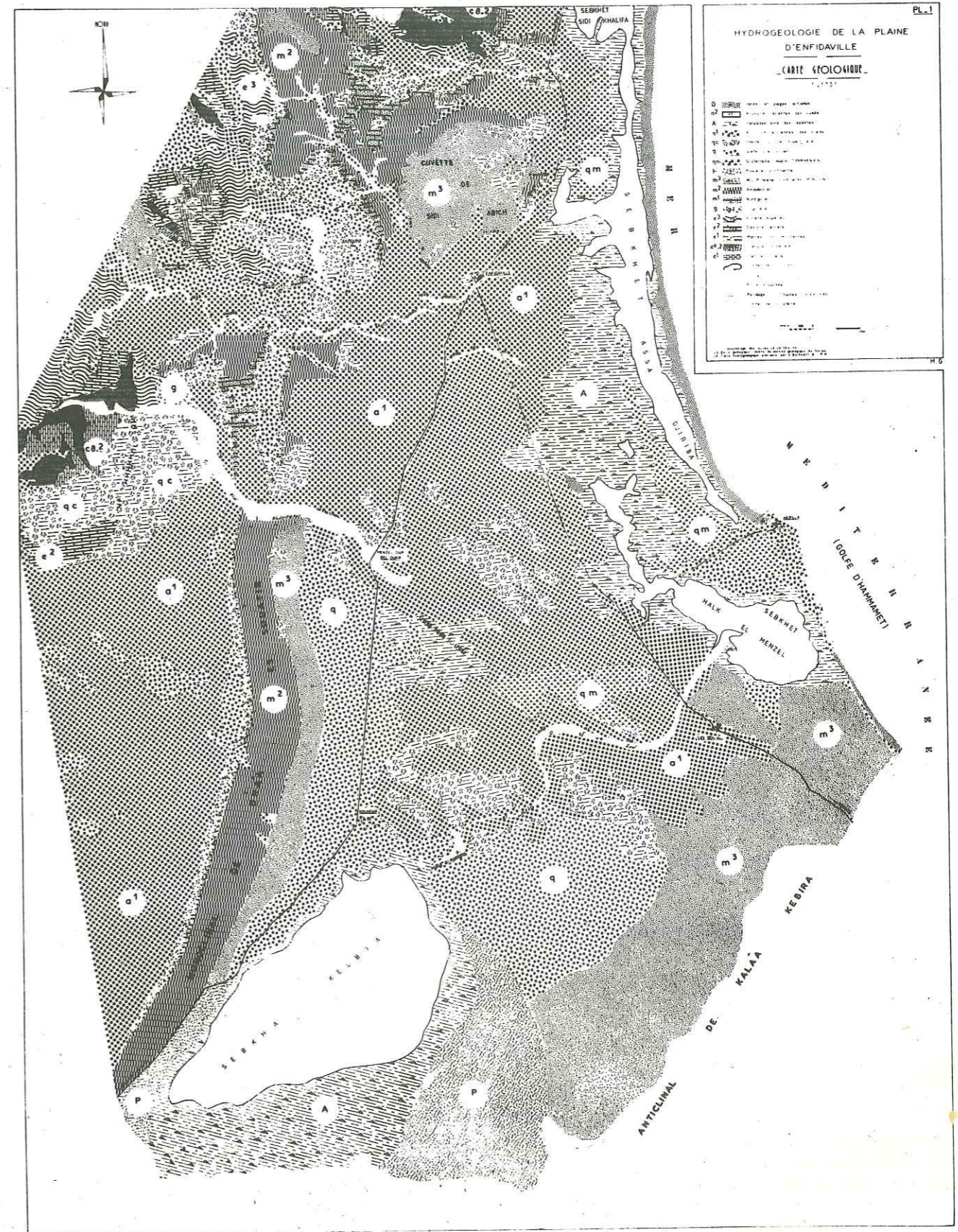
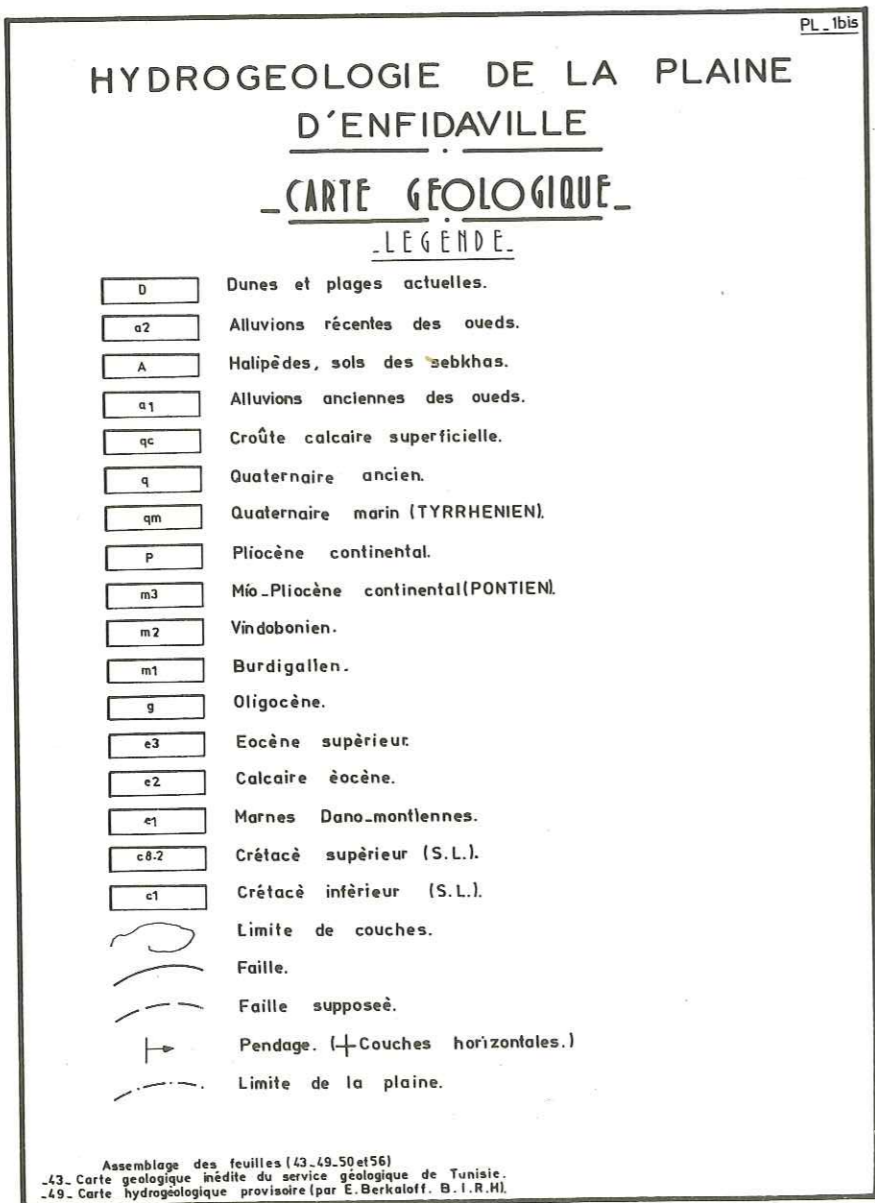
2. CADRE GEOLOGIQUE

La plaine d'Enfidaville fait partie d'un grand ensemble géologique qui est l'ATLAS TUNISIEN. Il est caractérisé par l'orientation générale de ses plis S.W. - N.E. et leur développement vers le sud et sud-est où les axes deviennent W - E.

Il couvre la presque totalité de la Tunisie, s'étendant au sud jusqu'à la région des grands Chotts (Djerid et Fedjaj).

Les djebels : Chambi - Semmema - Kessera - Zaghouan, constituent l'axe de la chaîne atlasique tunisienne. La zone des dômes borde l'Atlas tunisien à l'Ouest. A l'Est, c'est la Tunisie Orientale qui est séparée de la Tunisie Centrale par l'ensemble Nara-Chérahil. Au sud, la Tunisie méridionale limite l'extension de la Tunisie Orientale.

Toute la Tunisie Orientale est jalonnée sur des cuvettes et fossés d'effondrement quaternaires, du nord au sud nous avons : Grombalia, Enfidaville, Kairouan (fig. 2).



Le passage de l'axe anticlinal de l'Atlas Tunisien à la mer se fait par une succession de synclinaux et d'anticlinaux. Les anticlinaux sont représentés par les Massifs crétacés (Djebels : Abid, M'Deker, Garsi et Fadeloun). Les synclinaux sont représentés par le Synclinal de R'Mill et le Synclinal miocène de la Cuvette d'Enfidaville. L'ensemble oligocène-burdigalien constitue le fond de ces synclinaux.

La plaine d'Enfidaville occupe donc l'emplacement d'un vaste synclinal à grand rayon de courbure de direction S.W-N.E. Le fond du synclinal est oligocène burdigalien et son remplissage est essentiellement mio-pliocène.

La plaine d'Enfidaville est partagée en deux sous-ensembles bien distincts. L'un au nord c'est la Cuvette de Sidi Abich, qui occupe l'emplacement d'un synclinal miocène. L'autre au sud, c'est la Cuvette de Kondar - Sidi Bou Ali, qui occupe l'emplacement d'un ancien golfe, dont les sebkhas actuelles (Kelbia, Khedma el Kébira et Halk Menzel) sont les vestiges.

Ces deux structures sont séparées par une ride anticlinale reconnue en profondeur par les campagnes sismiques et gravimétriques effectuées par les pétroliers dans la région, mais dont nous avons soupçonné la présence auparavant grâce à la prospection électrique effectuée dans le cadre de cette étude.

2 - 1 - STRATIGRAPHIE

La carte géologique (Pl I) est établie à partir de :

- La carte géologique de la Tunisie au 1/50 000 (Feuille 43) d'Enfidaville inédite. Relevés effectués par le Service Géologique de Tunisie
- Relevés effectués par MM. BERKALOFF et GUIGON en 1931 et 1955
- Relevés effectués dans le cadre de cette étude en 1972.

Nous décrivons successivement les différents étages géologiques de la région à partir du plus ancien.

2.1.1. CRETACE INFÉRIEUR : CI

Dans la région d'Enfidaville, le crétacé inférieur est représenté par l'aptien qui affleure au Djebel Fadeloun.

Cet étage est constitué par des calcaires spathiques en bancs massifs à Orbitolines. Lors du sondage pétrolier d'Enfidaville (77II/4) en 1952 l'aptien a été rencontré sous forme de marnes grises verdâtres plus ou moins feuilletées avec de minces passées gréseuses, renfermant : Planomalina cheniourensis, Globigerinella 6.

2.1.2. CRETACE SUPÉRIEUR : C2-8

Sur la Carte Géologique, C2-8 groupe tous les étages du Crétacé supérieur.

a) Albien : Il affleure sur le versant S.E. du Djebel Abid. A la base, nous avons des marnes grises verdâtres plus ou moins feuilletées. Ces marnes alternent ensuite avec des passées de calcaires grisâtres, par endroits glauconieux avec un délit en boules caractéristiques. Epaisseur : 150 à 170 m environ.

Au forage d'Enfidaville (77II/4) l'albien se présente sous forme de calcaire grisâtre plus ou moins friable, par endroits graveleux et assez glauconieux. Il contient des Orbitolines.

b) Vraconien : Il apparaît sous la forme de calcaire marneux brunâtre, souvent feuilletés avec de nombreuses empreintes d'Ammonites. Ce faciès semble constituer la série de transition entre l'albien et le cénomanien (M. GUIGON). Epaisseur : 80 m environ.

c) Cénomanien : Il est constitué de bas en haut par :  
- des marnes gris foncées avec de rares intercalations de calcaires gris clair,  
- des alternances de calcaires gris clair et de marnes plus ou moins feuilletées grises et brun verdâtres.

Son épaisseur est de 200 m environ.

Au forage d'Enfidaville 77II/4, on a reconnu le même faciès renfermant Rotalipora et Globigerinella.

d) Turonien : Il affleure au Djebel Fadeloun sous forme de marnes. Au forage d'Enfidaville 77II/4 il est rencontré sous forme de calcaire esquilleux blanchâtre à pâte fine, parfois un peu crayeux avec quelques passées de marnes grises à gris foncé (présence de Globotruncana, Globigerinoides).

e) Sénonien inférieur : Au Djebel Fadeloun, il se présente sous forme de marnes. Au forage d'Enfidaville 77II/4, nous avons la coupe suivante de bas en haut :

- un banc calcaire esquilleux gris clair parfois un peu crayeux avec quelques rares passées marneuses gris foncées,
- alternances de marnes rougeâtres et gris verdâtres et de calcaires gris clair,
- alternances de calcaires et marno-calcaires gris clair avec des marnes gris verdâtres.

Présence de Globotruncana asymetrica caractéristique du sénonien inférieur.

f) Campanien : Il est formé de calcaire crayeux blanchâtre, souvent finement fissurés. (les fissures sont tapissées de calcite). Ce calcaire se présente en bancs serrés avec quelques rares passées marneuses claires plus nombreuses à la base de l'étage. Epaisseur : 150 m environ (Globotruncana du Campanien).

Au forage d'Enfidaville 77II/4 nous avons le même faciès. Ce faciès calcaire affleure au Djebel Fadeloun.

g) Maestrichtien : Il se présente sous forme de marnes qui affleurent au Djebel Fadeloun.

2.1.3. MARNES DE PASSAGE CRETACE - EOCENE : eI

Ce sont les marnes dano-montiennes ou encore les marnes suessonniennes. Ces marnes sont grises plus ou moins feuilletées alternant avec de fréquentes passées marno-calcaires gris clair passant vers le bas à quelques bancs de calcaires francs.

L'épaisseur varie considérablement. Elle est de 150 m au Djebel M'DEker et passe à une dizaine de mètres au Djebel Abid.

2.1.4. Eocène moyen : e2

C'est le calcaire éocène de la région nord d'Enfidaville. Il est représenté par des bancs calcaires compacts, à patine grise et à cassure d'un blanc sale.

Au forage d'Enfidaville 77II/4 nous avons un calcaire blanc jaunâtre, crayeux et pulvérulent, passant vers la base à un banc calcaire grisâtre, et un niveau de marnes grises argileuses et plastiques (Globorotaliidae, globigeriniidae, Anomalina grossoregusa).

Son épaisseur varie de 20 à 120 m environ.

Au Draâ es Souatir l'éocène moyen affleure sous un faciès essentiellement marneux. Epaisseur : 500 à 1000 m environ.

2.1.5. Eocène supérieur : e3

Dans la région nord d'Enfidaville, l'éocène supérieur est composé de bas en haut par :

- des marnes jaunes d'épaisseur approximative 200 à 250 m
- des marnes beiges ou olives avec de petits lits de quelques centimètres d'épaisseur de grès ferrugineux.

Epaisseur totale : 300 m environ.

Au Draâ es Souatir l'éocène supérieur affleure sous forme d'alternances de bancs de grès, de calcaire gréseux (0,2 m d'épaisseur) et de marnes en bancs de 5 à 15 m d'épaisseur. Epaisseur : 300 m environ.

2.1.6. Oligocène : g

Aux environs d'Enfidaville la limite inférieure de l'oligocène et des marnes de l'Eocène supérieur est difficile à établir. Elle semble se situer dans des grès mal consolidés alternant avec des marnes brun jaunes (M. GUIGON, 1955).

On peut distinguer deux séries :

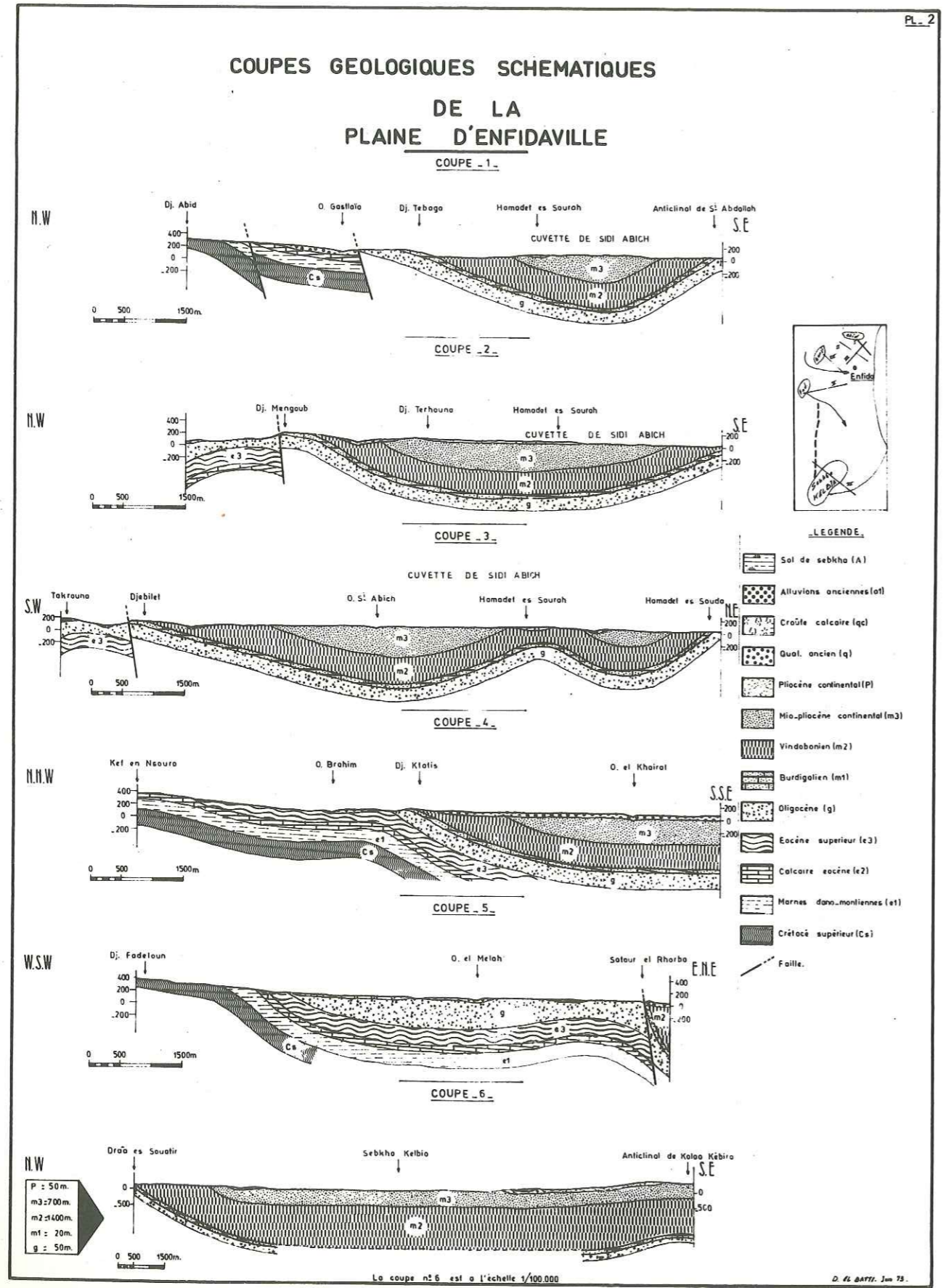
- Une série marine fossilifère comprenant de nombreuses Nummulites, des Bivalves et des Echinodermes. Elle se compose d'alternances de grès roux parfois lie de vin et de marnes brunes. Epaisseur : 200 m environ.
- Une série subcontinentale, formée de grès roux grossiers et parfois mal consolidés alternant avec des marnes brunes sableuses. Cette série continentale se termine par des argiles sableuses souvent colorées en rouge, appelées Aquitaines. Epaisseur : 150 à 200 m environ.

Au Djebel Grinate (au N.E. du Djebel Garsi), l'Oligocène est représenté par des marnes à gypse, puis de sables, grès et sables argileux avec de petits lits de grès gris et lie de vin sur 30 m. Au dessus, reposent des grès calcaires à Pecten arcuatus et Nummulites. Ce niveau marin est puissant de 200 m environ.

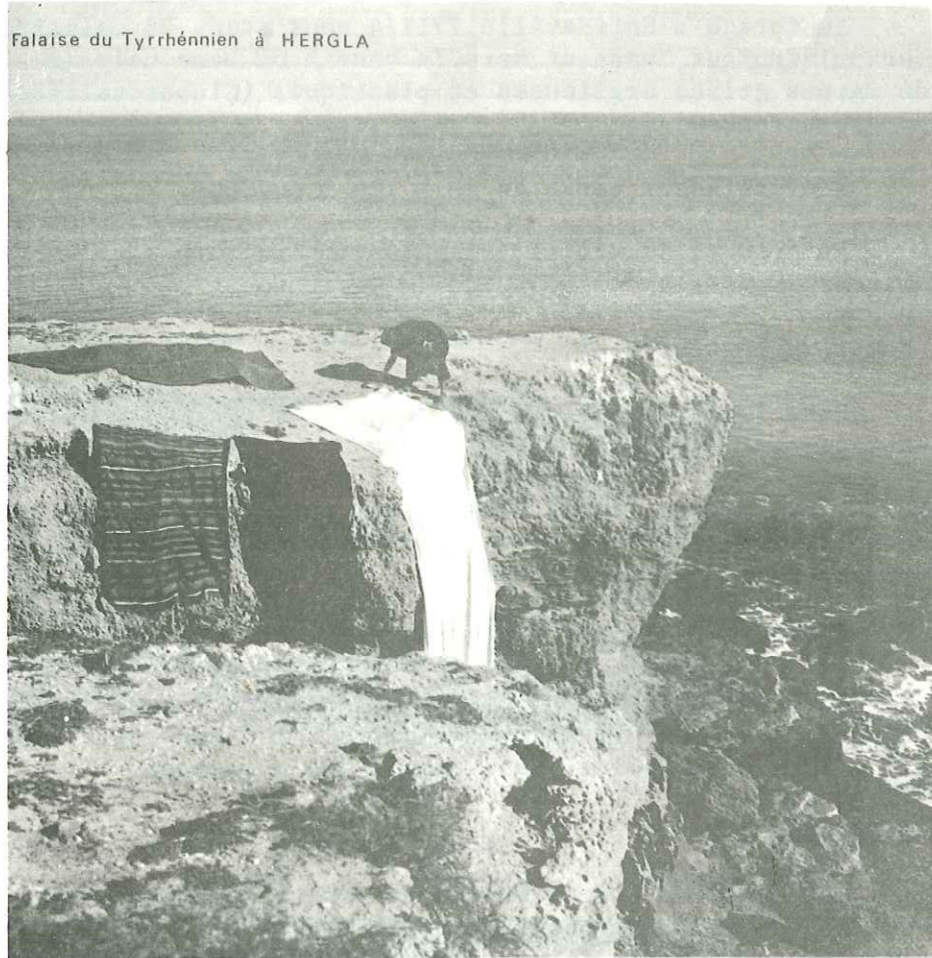
L'Oligocène supérieur est connu par des sables rouges vifs. Son épaisseur est très réduite.

Sous Takrouna, l'Oligocène est très développé. Il a fourni des Echinidés déterminés par J. LAMBERT:

- Clypeaster paronai
- Clypeaster stavus
- Clypeaster biarritzensis
- Clypeaster bouilli
- Echinolampas rollandi, déterminé par G. ROLLAND



Falaise du Tyrrhénien à HERGLA



Butte témoin du Burdigalien à TAKROUNA



Au Draâ es Souatir, l'Oligocène affleure, en présentant une bonne coupe bien visible à Fedjet el Berla. Il est composé de grès siliceux blancs avec quelques intercalations argileuses, et se termine par des dépôts continentaux, sables et argiles rouges rappelant les argiles aquitaniennes du nord de la plaine. Epaisseur totale : très voisine de 250 m.

2.1.7. MIOCENE

2.1.7.1. Burdigalien : m1

C'est le banc repère de la plaine d'Enfidaville. Il est essentiellement calcaro-gréseux avec :

- à sa base, un conglomérat renfermant des dragées de quartz, de 1 à 2 m d'épaisseur,
- un passage de grès grossier parfois mal consolidé, épais de 2 m,
- au sommet, vient un calcaire renfermant de très nombreux débris de lamellibranches et d'Echinodermes. Epaisseur : 7 à 8 m.

L'épaisseur totale du Burdigalien est de 10 à 12 m.

La coupe de cet étage sur la route d'Enfidaville à Zaghouan a fourni la faune suivante :

- |                                      |                       |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Flabellipecten du gr. flabelliformis | Chlamys camaretensis  |
| Pecten ziziniæ                       | Chlamys of calaritana |
| Pecten convexior                     | Chlamys sp.           |
| Pecten vindascinus                   | Ostrea cherichirensis |
|                                      | Scutella sp.          |

- Holoporella cf. polyphyle Reuss.
- Balanus concavus
- Echinolampas amplus.

La coupe du Draâ es Souatir à Fedjet el Berla a fourni la faune suivante :

- |                     |                                  |
|---------------------|----------------------------------|
| Chlamys catalaunica | Flabellipecten cf. costisulcatus |
| Chlamys cf. zitelli | et Balanus concavus.             |

2.1.7.2. Vindobonien : m2

Il est essentiellement marneux, mais dans la région nord d'Enfidaville, il renferme quelques bancs gréseux surtout à sa base. Nous avons de bas en haut :

- des grès tendres blancs plus ou moins grossiers d'une épaisseur de 30 m
- des grès alternant avec des marnes de plus en plus fréquentes. Cette série pouvant correspondre à l'Helvétien (M. GUIGON). Epaisseur : 50 à 100 m
- une série de marnes brun vert avec quelques gros bancs de grès de 1 à 10 mètres d'épaisseur renfermant de nombreuses Ostrea. Cette série serait le Tortonien (M. GUIGON). Epaisseur : 400 m environ.

Le vindobonien affleurant au Draâ es Souatir, débute par un niveau gréseux plus ou moins tendres. Au dessus, viennent des marnes à gypse et riches en Ostreacées et notamment O. crassissima. Epaisseur très voisine de 1400 m.

2.1.8. PONTIEN : m3 (Mio-pliocène continental)

Dès la fin des temps vindoboniens commence le démantèlement des chaînes de la Dorsale Tunisienne. Dans la plaine d'Enfidaville, c'est le démantèlement des massifs crétacés et éocènes (les Djebels : Abid, M'Deker, Garsi et Fadeloun) qui va fournir les matériaux nécessaires pour la sédimentation détritique intense, avec accumulation de grès grossier, de conglomérats et d'argiles versicolores. Ces dépôts d'origine continentale vont constituer des séries monotones de puissance variable et dans lesquelles les coupes stratigraphiques sont très difficiles et incertaines. On ne peut se baser à quelques exceptions près que sur les caractères lithologiques, caractères excessivement variables et sous la dépendance des apports sédimentaires des oueds et des eaux de ruissellement (G. CASTANY). C'est pourquoi l'appellation "Mio-pliocène continental" est préférée à celle de Pontien.

Cette formation continentale affleure largement dans la cuvette de Sidi Abich où elle constitue le remplissage du synclinal miocène au N.E d'Enfidaville. Ces mêmes dépôts continentaux forment les collines de Kalaâ Kébira (Anticlinal de K. Kébira).

Au Djebel Ogla (à l'Ouest d'Enfidaville et au nord d'Ouled Abdallah) on observe en concordance, au dessus des argiles à gypse et O. crassissima un niveau conglomératique puis des alternances de conglomérats et de marnes sableuses rouges à poupées calcaires et Hélicidés. L'épaisseur varie de 500 à 1000 mètres.

Au Draâ es Souatir, le mio-pliocène affleure sous forme de sables plus ou moins fins renfermant quelques niveaux gréseux. Son épaisseur est de l'ordre de 700 m.

2.1.9. PLIOCENE CONTINENTAL : P

La sédimentation devient plus argileuse. Ce pliocène continental est bien visible sur les rives Est et S.W. de la Sebka Kelbia. Il est essentiellement formé par des limons argilo-sableux de couleur rougeâtre. Ces limons sont très entaillé par les eaux de ruissellement. Son épaisseur est de 50 mètres environ.

2.1.10. QUATERNAIRE MARIN : gm (Tyrrhénien)

Le Tyrrhénien est transgressif sur le mio-pliocène continental. Il repose en discordance sur les dépôts continentaux mio-pliocènes. Nous observons à Hergla le long de la côte la coupe suivante :

- un niveau de conglomérat de base de 50 cm d'épaisseur, contenant de gros galets de plus de 10 cm de diamètre
- sur lequel repose une couche de grès plus ou moins dur.

Epaisseur totale : 15 à 20 m environ.

La stratification est entrecroisée, on note la présence de chenaux d'écoulement dans la sédimentation. La faune est abondante avec des Gastéropodes (*Strombus bubonius*) des Bivalves (*Glycemeris violascens*).

Les grès tyrrhéniens forment la falaise de Sidi Bou Medine à Hergla, sa base est soumise à l'érosion active des vagues marines.

2.1.11. QUATERNAIRE ANCIEN : o

Les dépôts sont d'origine continentale. Ce sont des argiles rouges, des sables jaunes ou rouges et des cailloutis.

2.1.12. CROÛTE CALCAIRE SUPERFICIELLE : qc

C'est une carapace travertineuse qui recouvre de vastes étendues sur tous les terrains. Elle a un aspect zoné et une couleur rosâtre. Elle repose parfois sur des argiles rouges. Son épaisseur dépasse rarement le mètre, mais dans la région centrale de la plaine (Menzel Dar Bel Ouar) elle atteint parfois 3 à 5 mètres.

Elle est formée par un calcaire impur blanchâtre et pulvérulent, englobant des concrétions également calcaires. En surface, ce calcaire donne naissance à une carapace plus dure renfermant fréquemment des impuretés (des grains de quartz le plus souvent).

D'après POMEL (1889) et J. FLANDRIN, M. GAUTIER et R. LAFFITTE (1948) la formation de la croûte calcaire est attribuée à l'évaporation des eaux de toutes origines qui imbibaient le sol ou le sous-sol au moment où elle a pris naissance, le carbonate de chaux (CaCO<sub>3</sub>) accumulé provenant non seulement des calcaires ; mais aussi de toutes les roches calcarifères : marnes, grès à ciment calcaire et surtout des roches alluvionnaires de toute nature, des limons aux conglomérats.

2.1.13. ALLUVIONS ANCIENNES DES OUEDS : aI

Ce sont des alternances de sables, d'argiles et de graviers de rivières. Cette formation est bien développée dans la région des oueds el Khafrat et Breck. Son épaisseur varie de 10 à 20 mètres.

2.1.14. HALIPEDES, SOLS DE SEBKHAS : A

Ce sont des alternances de sables argileux et d'argiles limoneuses plus ou moins salés. Cette formation couvre le fond des Sebkhass de la plaine.

2.1.15. ALLUVIONS RECENTES DES OUEDS : a2

Ce sont des sables alternant avec des argiles et des graviers. C'est une formation peu épaisse.

2.1.16. DUNES ET PLAGES ACTUELLES : D

Ce sont des sables des dunes et de plage qui forment le cordon littoral au dessus du sol des sebkhass bordant la côte orientale de la plaine.

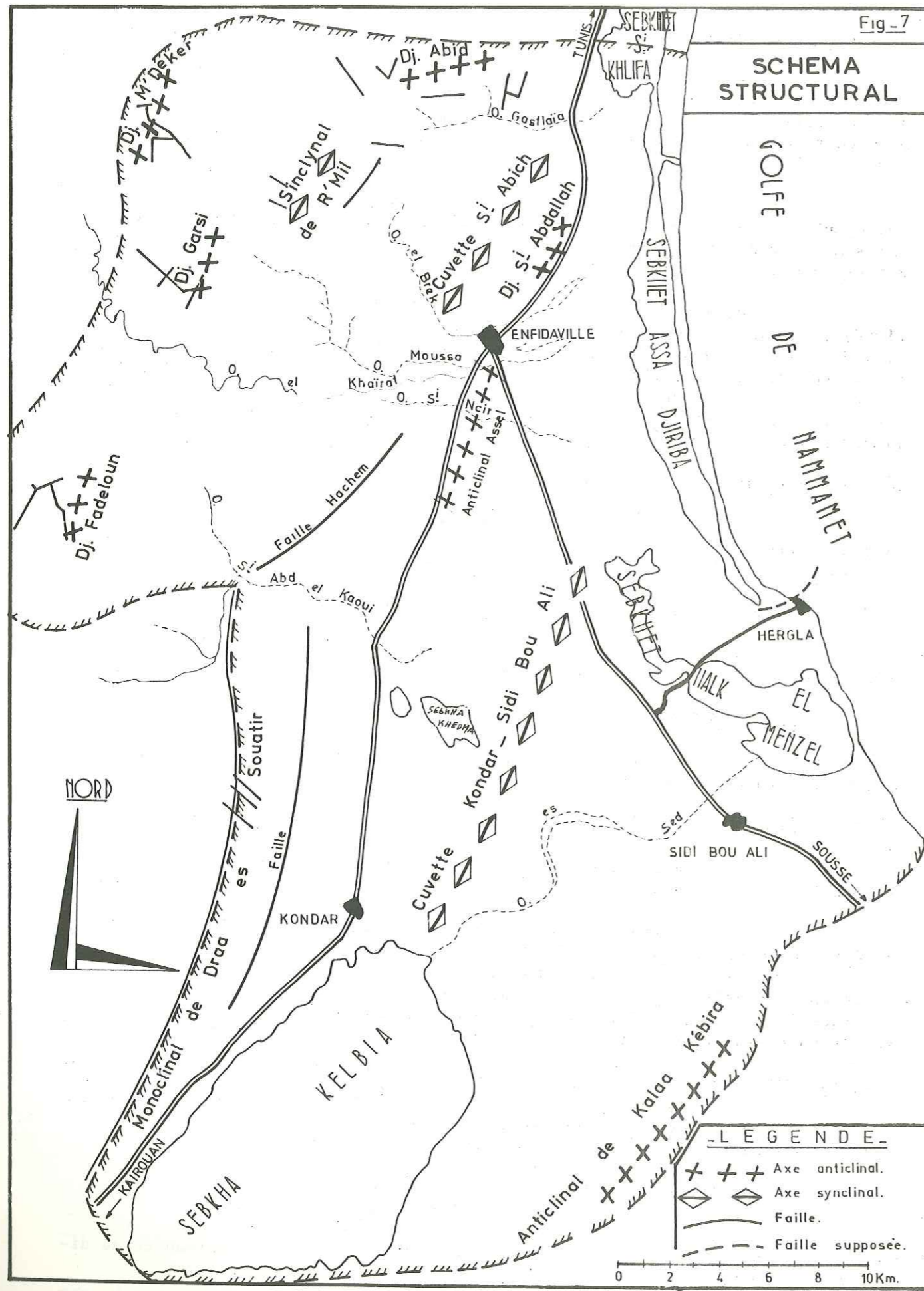
En conclusion, l'étude stratigraphique a montré une certaine homogénéité de la sédimentation au Crétacé qui présente relativement peu de variations, avec le Miocène apparaissent de fortes variations et ceci particulièrement caractéristique du Mio-pliocène où les formations sont extrêmement hétérogènes car leur sédimentation est continentale et ceci nous explique la variation de la granulométrie et donc de la perméabilité du nord au sud.

2.2. STRUCTURE

La plaine d'Enfidaville proprement dite occupe l'emplacement d'un vaste synclinal à grand rayon de courbure d'orientation N.E - S.W limité :

- à l'ouest par le monoclinale de Draâ es Souatir
- au sud est par l'anticlinal de Kalaâ Kébira.

Du nord au sud nous avons les unités structurales suivantes de direction N.E - S.W :



- Axe anticlinal du Djebel Abid
- Axe anticlinal du Djebel M'Deker
- Axe anticlinal du Djebel Garsi
- Axe synclinal de la cuvette de Sidi Abich
- Axe anticlinal de Sidi Abdallah
- Axe anticlinal du Djebel Fadeloun
- Monoclinal de Draâ es Souatir
- Axe synclinal de la cuvette de Kondar - Sidi Bou Ali
- Axe anticlinal de Kalaâ Kébira.

Tous les anticlinaux sont à coeur crétacé, mais ce crétacé n'affleure qu'aux Djebels : Abid, M'Decker, Garsi et Fadeloun. Pour l'anticlinal de Sidi Abdallah, le coeur crétacé est effondré, on l'a rencontré à plus de 100 m de profondeur lors du forage pétrolier d'Enfidaville 77II/4 en 1952.

L'étude géologique détaillée du Draâ es Souatir a montré que ce monoclinal représente le flanc oriental d'un anticlinal de direction N.S. et dont le flanc ouest est effondré sous les alluvions quaternaires de la plaine de Nadhour El Alem. Le coeur crétacé est reconnu à plus de 1000 m de profondeur lors de la prospection sismique et gravimétrique effectuée par les pétroliers (C.P.D.T.) dans la région en 1951.

Les couches du monoclinal de Draâ es Souatir sont affectées d'un pendage de 70° vers l'est pour l'Eocène et de 60° environ pour le Burdigalien.

L'anticlinal de Kalaâ Kébira est un simple bombement formé par les dépôts continentaux mio-pliocènes.

Les cuvettes de Sidi Abich et de Kondar - Sidi Bou Ali ont un fond burdigalien et un remplissage mio-pliocène.

L'évolution structurale de la plaine d'Enfidaville entre dans le cadre général de la longue et lente évolution de l'Atlas tunisien.

Le cycle orogénique de la plaine d'Enfidaville comporte trois périodes principales que G. CASTANY (1952) a distinguées pour les chaînes tunisiennes.

- A - Phase préorogénique
- B - Phase de plissement et de surrection
- C - Phase post-orogénique.

#### A - Phase préorogénique

Au cours de cette première période, allant du Trias au Nummulitique le diastrophisme est peu intense. C'est une phase de préparation et de mise en place du matériel orogénique qui évoluera plus tard en chaîne alpine. Des déformations à grand rayon de courbure, orientées W-E donnent naissance aux grands plis de fond à l'origine des zones de sédimentation.

La phase pyrénéenne est bien marquée au nord de la Medjerda (principal cours d'eau de la Tunisie), où comme en Algérie Orientale, elle aboutit à la formation des plis. Elle se traduit par une discordance du Nummulitique supérieur (y compris le Priabonien) précisé par J. FLANDRIN.

Dans la région d'Enfidaville, cette phase orogénique post-lutétienne se traduit par :

- des failles de décrochement NE-SW qui ont affecté les massifs

052 329005 7

crétacés et éocènes (Djebels : Abid, M'Deker, Garsi et Fadeloun)

- une discordance de l'Oligocène sur le calcaire éocène.

Le cycle nummulitique s'achève dans toute la Tunisie par une émer-  
sion générale à l'oligocène supérieur.

A Enfidaville, cette phase se traduit par le dépôt de grès rouge avec  
localement des conglomérats et des argiles rouges à gypse.

B - Phase de plissement et de surrection.

Du Nummulitique au Pleistocène ancien s'écoule une deuxième période  
caractérisée par sa courte durée et un diastrophisme intense. C'est la phase  
de plissement qui aboutit à la surrection des plis, suivie de leur démantèlement  
par l'érosion.

Phase antéburdigalienne et post oligocène supérieur :

Cette phase a complètement modifié la structure antérieure de la  
Tunisie. L'orientation générale des plis devient SW.NE et les anciennes unités  
font place à un nouveau dispositif.

L'Atlas tunisien était séparé en deux zones par des reliefs qui cor-  
respondaient aux pointements jurassiques actuels et à l'anticlinal Kessera -  
Bargou.

La Tunisie Orientale subissait un affaissement lent et continu, af-  
faissement qui s'observe localement dans les cuvettes synclinales déjà consti-  
tuées sur sa bordure occidentale (Hadjeb el Aïoun, Saouaf, Enfidaville). Ces cuvet-  
tes se raccordent aux plis de bordure par une ligne de flexures subméridienne  
qui se traduit dans la tectonique actuelle par les zones des fractures de la  
Grande Faille de Zaghouan et de la Chaîne Nara-Touila.

La cuvette synclinale d'Enfidaville se raccorde aux massifs crétacés  
et éocènes de la région par une série de failles de direction générale SW-NE.

Phase post-burdigalienne :

Elle se situerait à la base du Vindobonien. A Enfidaville, elle se  
traduit par une discordance des grès helvétiques sur le Burdigalien.

Phase plio-quaternaire :

C'est la phase majeure de plissement que l'on retrouve dans toute la  
Tunisie. Les plis s'accusent au mio-pliocène qui marque une émer-  
sion générale contemporaine d'une érosion intense des reliefs. Cette phase s'est poursuivie du-  
rant tout le Mio-pliocène, traduisant une continuité orogénique du Vindobonien  
supérieur au Pleistocène inférieur inclus.

*[Faint, illegible text]*

*[Faint, illegible text]*

*[Faint, illegible text]*

C - Phase post-orogénique

Avec le Quaternaire récent, le diastrophisme majeur est suivi d'une  
phase de relaxation analogue à celle que L. GLANGEAUD ( ) a qualifiée dans  
le Jura d'ajustement isostatique post-tectonique. Elle est la cause de déforma-  
tions et de subsidence qui correspondent à une phase de distension. On enregistre  
alors des déformations quaternaires très nettes et la présence de fossés et cu-  
vettes subsidents.

La Tunisie a subi une lente et longue évolution. Au Secondaire, des  
déformations ont donné des lignes directrices E - W. Les mouvements anté-  
burdigaliens, au Tertiaire ont joué le rôle d'une phase embryonnaire pour le  
paroxysme plio-quaternaire. Les anciennes lignes deviennent SW-NE. La phase ma-  
jeure se poursuit jusqu'au pleistocène inférieur. Au cours du Quaternaire récent,  
le réajustement isostatique, a permis la formation de fossés et de cuvettes  
d'effondrement quaternaire parallèles ou orthogonaux qui se superposent aux  
vieilles fractures du socle. C'est le cas de la Cuvette d'Enfidaville.

En conclusion, l'étude de la structure et de l'histoire géologique  
de la plaine montre que malgré une structure d'ensemble relativement simple la  
région présente des complications de détail qui nécessitent des méthodes de recon-  
naissance très bien adaptées et très précises qui seules permettent de connaître  
l'emplacement des couches en profondeur et la nature du remplissage sédimentaire  
de la plaine d'Enfidaville.



3 - ETUDE DETAILLEE DU REMPLISSAGE DE LA PLAINE D'ENFIDAVILLE

Dans ce chapitre, nous essayerons de préciser la nature, la structure et les limites du remplissage mio-pliocène et quaternaire de la plaine. Souvent le mio-pliocène est inséparable du quaternaire, ou au moins, la limite entre les deux formations d'origine continentale est difficile à établir. C'est seulement dans le secteur d'Hergla, que le quaternaire marin (Tyrrhénien) est franchement transgressif sur le mio-pliocène.

Toutes les méthodes possibles vont être mises en oeuvre pour l'étude de ce remplissage :

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

3 - 1 - METHODES D'ETUDES

3.1.1. ETUDE GEOLOGIQUE DE SURFACE

La prospection géologique de surface en plus de la reconnaissance générale d'ensemble a consisté à visiter le maximum de chantiers de creusement de puits en cours d'exécution. Nous avons pu d'autre part, visiter des travaux occasionnels de curage de puits. De même, les déblais des puits nouvellement créés ont été examinés avec soin.

L'exploration des lits des oueds et des ruisseaux nous fournit de précieux renseignements sur les matériaux charriés lors des crues de ces cours d'eau.

C'est l'étude géologique de surface qui a tracé les grandes lignes des différentes opérations ultérieures pour l'étude de ce remplissage mio-plio-quaternaire.

3.1.2. ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE ET ETUDE DES PHOTOS AERIENNES

Les terrains mio-pliocènes qui affleurent largement dans la cuvette de SIDI Abich sont caractérisés par leur couleur rougeâtre et leur aspect raviné par les eaux de ruissellement.

L'étude géomorphologique nous a permis la reconnaissance d'anciens lits d'oueds, surtout au nord de la plaine.

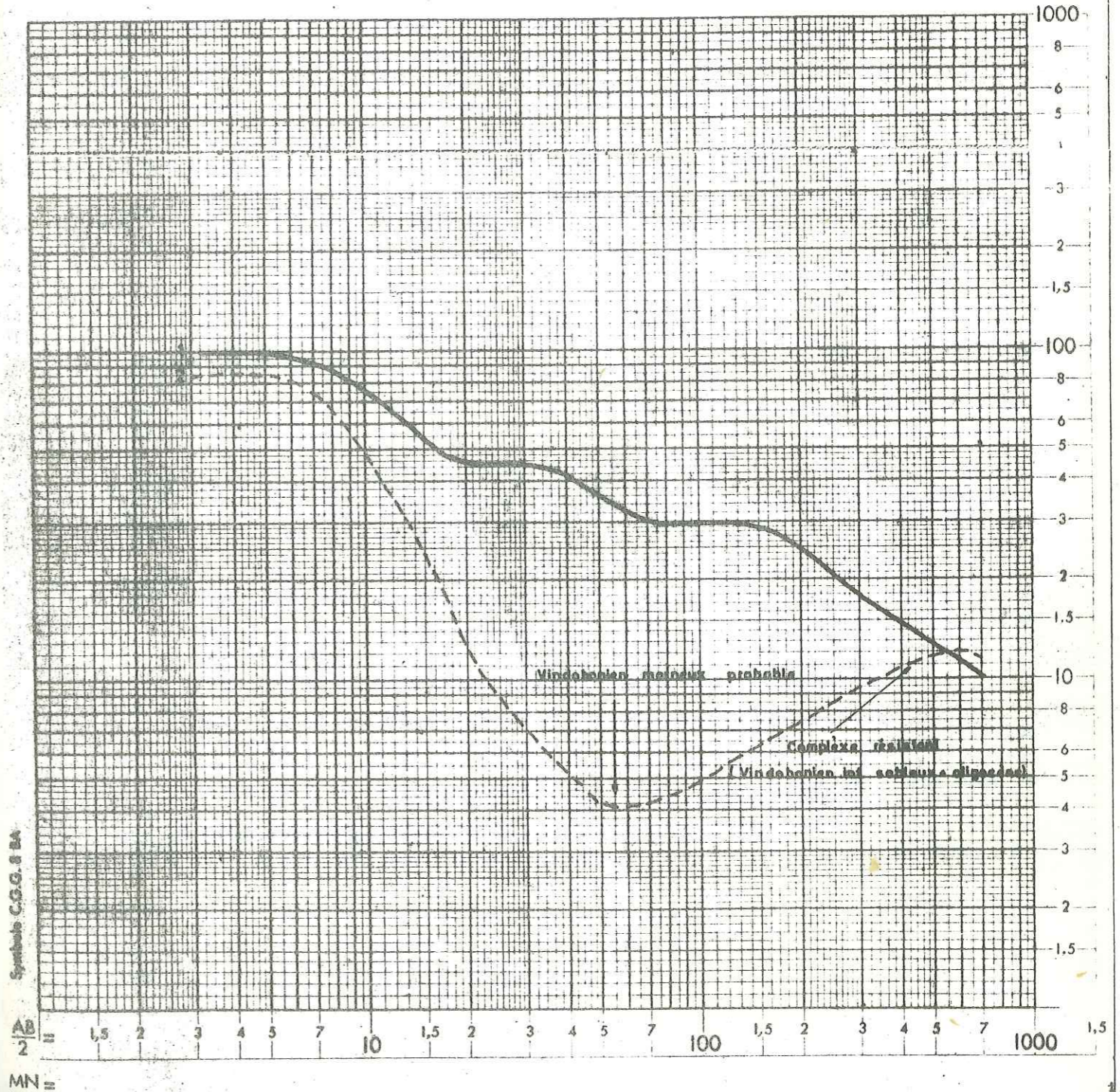
L'étude des photos aériennes nous a permis de préciser les limites déjà tracées lors de l'étude géomorphologique et de situer dans le cadre géologique d'ensemble un certain nombre de nouveaux affleurements spécialement dans la partie nord est de la cuvette de Sidi Abich.

3.3.3. PROSPECTION GEOPHYSIQUE

--Nous avons employé la méthode de prospection électrique qui est utilisée par le Service Hydrogéologique. Mais nous avons pu exploiter les résultats d'une campagne sismique et gravimétrique effectuée par les Compagnies pétrolières (1951) dans la région.

EXEMPLES DE SONDAGES ELECTRIQUES

- 1- Etalon sur forage 10932 (miopliocene grossier).
- 2- Sondage électrique sur vindobonien supérieur.



La campagne géophysique des Compagnies pétrolières a permis de reconnaître la structure profonde et les grands accidents qui ont affecté la région (fig. 7).

La plaine d'Enfidaville a fait l'objet de plusieurs campagnes électriques :

- En 1965, une prospection électrique a intéressé 100 km<sup>2</sup> dans un rayon de 10 km autour d'Enfidaville. La zone étudiée (P. KASSIANOFF 1966) par la prospection électrique s'étend principalement sur la vallée de l'Oued el Khaïrat et comprend 205 S.E. (sondages électriques) destinés à l'étude des alluvions,

- En 1968, une deuxième prospection a couvert la région de Sidi Bou Ali-Kalaâ Kébira avec 90 S.E. (CLARY et HUBERT 1968). Cette étude avait pour but la reconnaissance de niveaux aquifères peu salés dans la région prospectée,

- En 1969, une autre campagne a prolongé la première de 1965. Cette étude (P. CLARY 1969) avec 106 S.E., a porté principalement sur deux régions :  
- la région de Sidi Abich et  
- la plaine quaternaire au sud d'Enfidaville.

- En 1972 (M. ANDRIEU) une quatrième campagne comportant 120 S.E. a été réalisée dans le cadre de cette étude. Cette dernière a complété les précédentes et a intéressé la région de bordure des Massifs crétacés Djebels Garsi et Fadheloun.

3.1.4. SONDAGES MECANIQUES

Près de 70 sondages mécaniques ont été effectués dans la plaine d'Enfidaville. Quatre sondages financés par le Service hydrogéologique, ont été réalisés dans le cadre de cette étude (14890/4, 14891/4, 14926/4, 14927/4). La profondeur moyenne de ces sondages est de 100 mètres, mais elle varie de 50 m à plus de 500 m (7985/4 : 528 m et 7711/4 - forage pétrolier : 1754 m).

La plupart de ces sondages ont été effectués pour la reconnaissance de niveaux aquifères intéressants. Actuellement, 20 forages sont exploités pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable des agglomérations de la région.

L'exécution de tous ces sondages nous a permis, avec les sondages électriques d'établir des profils assez parlants sur des profondeurs intéressantes.

3.1.5. ETUDE PETROGRAPHIQUE ET GRANULOMETRIQUE D'ECHANTILLONS

Plusieurs échantillons ont été prélevés, lors de l'exécution des sondages de reconnaissance réalisés dans le cadre de cette étude. D'autres échantillons sont prélevés, dans les déblais des puits nouvellement créés, et dans les puits en cours d'approfondissement ou de curage.

L'étude de ces échantillons a permis la détermination de leur nature pétrographique et l'établissement de courbes granulométriques.

3.- 2 - NATURE DU REMPLISSAGE

Le remplissage de la plaine d'Enfidaville a débuté dès la fin des temps vindoboniens. Les formations qui le constituent proviennent du démantèlement des massifs crétacés et éocènes qui bordent la plaine au Nord et au Nord Ouest.

Les formations qui le constituent proviennent du démantèlement des massifs crétacés et éocènes qui bordent la plaine au Nord et au Nord Ouest.

3.2.1. LES DUNES LITTORALES

Elles sont formées par le remaniement des sables de plages. Ces sables sont propres et riches en grains siliceux, ils renferment de nombreux débris de lamellibranches et d'échinodermes (notamment des pectenculus et des spatangues).

3.2.2. LES ALLUVIONS RECENTES DORSALES

Ce sont des alternances de petits lits décimétriques de sables plus ou moins rougeâtres d'argiles rouges à jaunes et de lits de graviers. Ces alluvions sont peu épaisses et dépassent rarement 2 mètres d'épaisseur.

3.2.3. LE SOL DES SEBKHAS

Il est surtout formé par des limons qui sont plus ou moins sableux et argileux. La teneur en argile ou en sable dépend des apports de l'oued qui débouche dans la Sebkha.

3.2.4. LES ALLUVIONS ANCIENNES DES OUEDS

Ce sont des alternances de sables, d'argiles et de graviers. Leur couleur est plus ou moins rougeâtre. Parfois les graviers deviennent puissants de 5 à 10 m, mais l'ensemble ne dépasse guère les 20 m.

3.2.5. LA CARAPACE CALCAIRE

Elle est travertineuse, dure en surface, de couleur rosâtre. En général, peu épaisse, mais elle peut atteindre 3 à 5 m d'épaisseur.

3.2.6. LE QUATERNAIRE ANCIEN

Ce sont des dépôts d'argiles rouges, mélangés à des sables jaunes argileux alternant avec des lits de cailloutis que l'on rencontre dans des zones situées loin de tout cours d'eau et qui peuvent correspondre à d'anciens sols d'altération.

3.2.7. LE QUATERNAIRE MARIN

C'est le Tyrrhénien qui est formé par :

- un niveau de base conglomératique comprenant des éléments plus ou moins arrondis et provenant des reliefs de bordure de la plaine,

- sur lequel vient reposer une série gréseuse. Ces grès sont riches en silice et renferment des débris de lamellibranches et de strombes.

3.2.8. LE PLIOCENE CONTINENTAL

Il est caractérisé par une sédimentation très fine comprenant des argiles et des limons argilo-sableux de couleur rougeâtre.

3.2.9. LE MIO-PLIOCENE (PONTIEN)

C'est la formation qui constitue l'essentiel du remplissage de la plaine. Elle se caractérise par l'extrême hétérogénéité de ses sédiments. Nous avons des séries détritiques complètes allant des conglomérats (à éléments plus

ou moins anguleux) aux argiles rouges, en passant par des niveaux de grès grossiers, de sables et de sables argileux.

Pour illustrer la nature du remplissage de la plaine, nous décrivons les coupes lithologiques des quatre sondages exécutés dans le cadre de cette étude.

**Sondage de reconnaissance OUED EL BRECK : n° BIRH 14890/4**

- de 0 à 1 m terre végétale
- 1 à 3 m sable grossier légèrement argileux
- 3 à 4 m sable grossier + argileux
- 4 à 7 m sable légèrement argileux
- 7 à 14 m sable grossier argileux
- 14 à 19 m argile rouge
- 19 à 32 m galets calcaires cimentés par de l'argile rouge
- 32 à 44 m sable fin argileux
- 44 à 48 m sable moyen à grossier (grains siliceux)
- 48 à 51 m sable grossier argileux (grains siliceux)
- 51 à 72 m sable fin argileux avec des galets siliceux
- 72 à 77 m sable fin argileux avec des galets siliceux enrobés dans l'argile
- 77 à 84 m galets siliceux avec du sable fin argileux
- 84 à 150 m sable fin argileux avec des galets siliceux et quelques lits d'argile rouge.

Ce sondage a été implanté dans les terrain mio-pliocènes de la Cuvette synclinale de Sidi Abich. Il a été placé sur le bord Est de ce synclinal afin de trancher entre les deux hypothèses suivantes :

- a) grande épaisseur du mio-pliocène qui serait alors seul traversé
- b) remontée du Burdigalien qui devrait être recoupé entre 50 et 100 m.

C'est la première hypothèse qui a été vérifiée. La coupe lithologique du sondage est une succession d'alternances argilo-sableuses avec des niveaux sableux plus ou moins puissants. Le Burdigalien n'a pas été atteint.

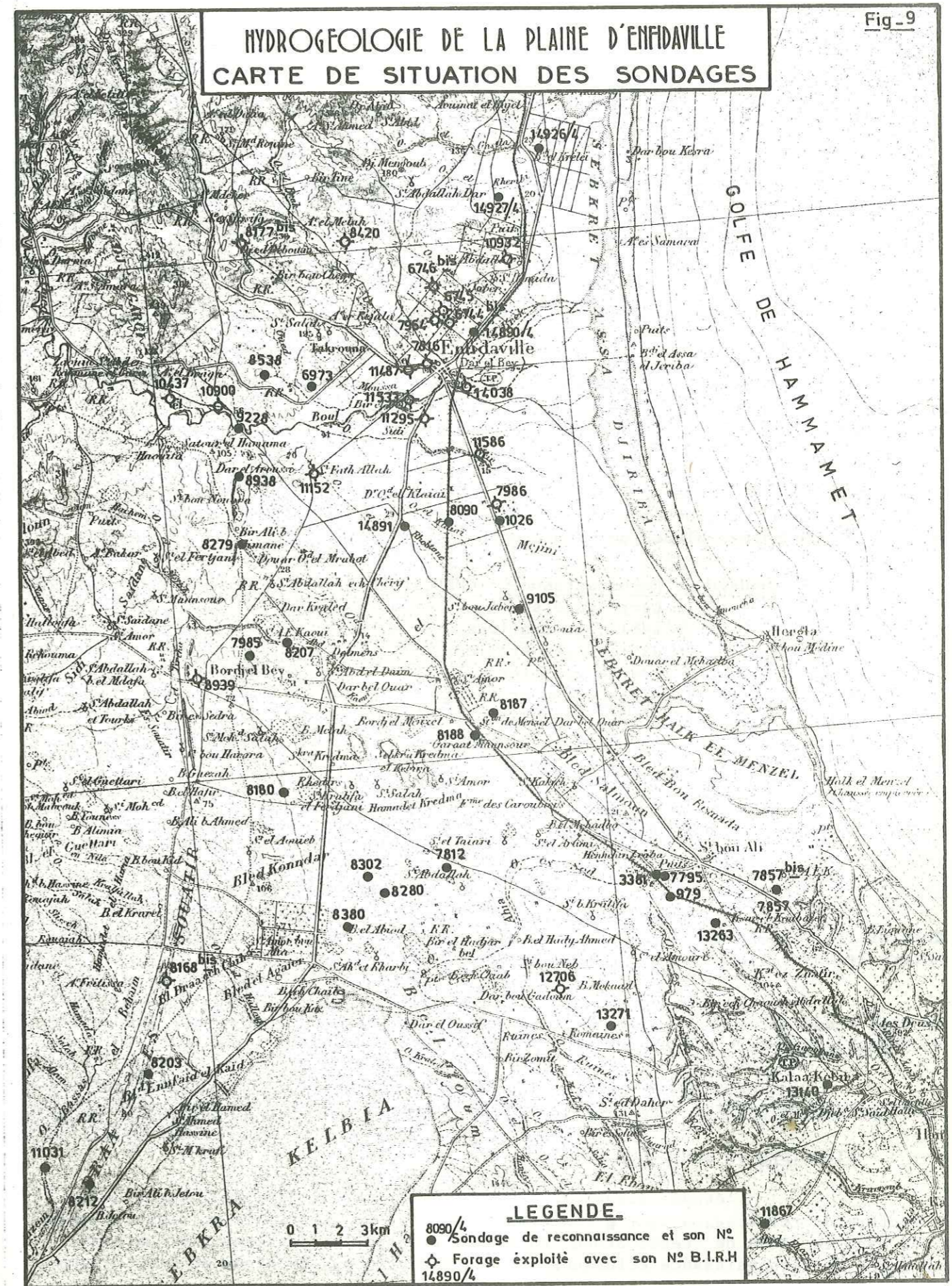
Ce sondage a été transformé en piézomètre pour suivre les fluctuations de la nappe profonde mio-pliocène de la cuvette de Sidi Abich. Un limnigraphe OTT R 16 placé sur ce piézomètre permettra l'enregistrement (continu) des variations piézométriques de la nappe.

**Sondage de reconnaissance : OUED EL KLAIA 2 : n° BIRH 14891/4**

- de 0 à 8 m terre végétale sableuse
- 8 à 40 sable fin argileux
- 40 à 54 m sable grossier avec des galets calcaires
- 54 à 195 m argile jaune à marron, contenant des débris de marnes bleues avec des galets calcaires
- A partir de 178 m, les débris de marnes bleues dominent les argiles
- 195 à 252 m marnes bleues sèches (les cutting sortent du trou sous forme d'éléments esquilleux).

Ce sondage est implanté dans les terrains quaternaires de la plaine d'Enfidaville. Il a été placé sur l'emplacement d'un sondage électrique afin de recouper les marnes bleues du vindobonien vers 200 - 250 mètres de profondeur.

Le Vindobonien a été recoupé à 195 m. L'épaisseur du Mio-pliocène à ce sondage est réduite du fait qu'on se trouve sur le flanc occidental d'un



anticlinal enfoui en profondeur qui prolonge vers le Sud Ouest l'anticlinal de Sidi Abdallah.

Sondage de Reconnaissance : OUED GASTLAIA : N° BIRH 14926/4

- de 0 à 2 m terre végétale sableuse
- 2 à 3 m sable fin à grossier
- 3 à 7 m argile jaune
- 7 à 8 m sable grossier argileux
- 8 à 13 m sable grossier légèrement argileux
- 13 à 22 m sable grossier argileux avec des galets calcaires
- 22 à 26 m galets calcaires cimentés par de l'argile rouge
- 26 à 29 m argile jaune
- 29 à 102 m marnes bleues plastiques avec des débris de galets calcaires
- 102 à 150 m marnes bleues sèches (cuttings sous forme d'éléments esquilleux).

Ce sondage est implanté dans les alluvions de l'Oued Gastlaia. Il a été placé sur l'emplacement d'un sondage électrique dans le but de recouper le Burdigalien vers 100 mètres de profondeur.

La coupe lithologique de ce sondage qui n'a recoupé que le Vindobonien vers 100 m de profondeur nous confirme la nature du remplissage de la plaine, qui est constitué par des alternances sablo-argileuses qui reposent sur les marnes bleues du Vindobonien.

Sondage de Reconnaissance : OUED EL RHERIBI : N° BIRH 14927/4

- de 0 à 2 m terre végétale
- 2 à 5 m sable fin argileux
- 5 à 7 m sable moyen argileux
- 7 à 10 m sable grossier
- 10 à 12 m sable fin argileux
- 12 à 14 m sable moyen argileux
- 14 à 17 m sable grossier avec des galets cimentés par de l'argile
- 17 à 20 m argile jaune
- 20 à 70 m marnes bleues et argile jaune
- 70 à 72 m passage marnaux riches en gros galets
- 72 à 100 m marnes bleues sèches (cuttings sous forme d'éléments esquilleux).

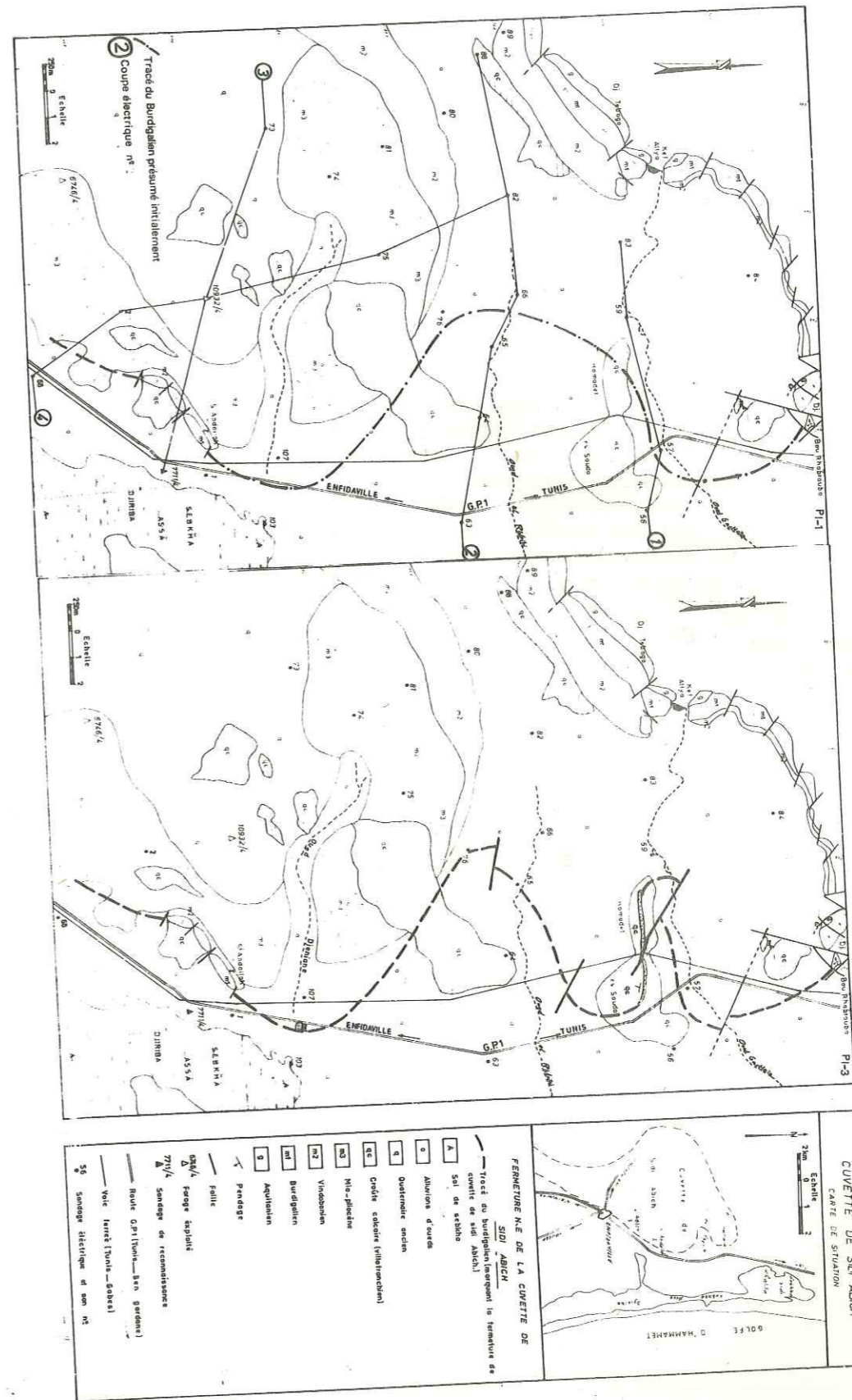
Ce sondage a été implanté dans les alluvions de l'Oued el Rhéribi. Il a été placé sur l'emplacement d'un sondage électrique afin de reconnaître le Burdigalien vers 80 mètres de profondeur.

Le sondage a recoupé le mio-pliocène sablo-argileux passant vers la base à des marnes et argiles jaunes, le tout reposant sur les marnes bleues du Vindobonien, mais n'a pas atteint le Burdigalien.

L'étude des coupes lithologiques de ces quatre sondages nous confirme donc l'extrême hétérogénéité de la sédimentation mio-pliocène.

3 - 3 - STRUCTURE DU REMPLISSAGE

L'étude géologique a permis de tracer les grandes lignes de la structure du remplissage, qui a été précisée par la prospection électrique effectuée dans le cadre de cette étude. Enfin cette structure est confirmée par les sondages de reconnaissance effectués sur les emplacements de sondages électriques.



L'étude de la fermeture NE de la Cuvette synclinale de Sidi Abich est un bel exemple pour montrer la complémentarité des études géologiques et géophysiques.

### 3.3.1. FERMETURE N.E. DE LA CUVETTE SYNCLINALE DE SIDI ABICH

La cuvette de Sidi Abich, située au Nord d'Enfidaville, occupe l'emplacement d'un synclinal miocène de direction NE.-S.W. Elle est caractérisée dans sa partie méridionale par un remplissage de sédiments grossiers mio-pliocènes dont la puissance dépasse 200 mètres et où la nappe aquifère est exploitée par plusieurs forages (Fig. 9) 6746 bis/4, 6745/4 et 7916/4, présentant de bonnes caractéristiques hydrauliques.

Ces formations mio-pliocènes reposent (Pl 3) au Nord Nord Ouest sur le vindobonien limite lui-même par l'arc burdigalien des djebels Tebaga et Bou Rhabrhouba.

Le Burdigalien qui comprend de bas en haut :

- un conglomérat avec des dragées de quartz épais de 1 à 2 mètres,
- des grès grossiers parfois mal consolidés de 2 mètres de puissance,
- un grès calcaire à nombreux débris de pectinidés et d'échinodermes, d'une épaisseur de 7 à 8 mètres

affleure par ailleurs à Sidi Abdallah où il est pratiquement accolé au mio-pliocène sur le flanc ouest laminé d'un ancien anticlinal crétacé reconnu par le sondage pétrolier 77II/4 (S.E.R.E.P.T.) mais n'était pas connu entre Sidi Abdallah et le Djebel Bou Rhabrhouba secteur où l'on est tenté de rechercher le flanc Est du synclinal miocène de Sidi Abich à moins que celui-ci ne soit largement ouvert vers la mer.

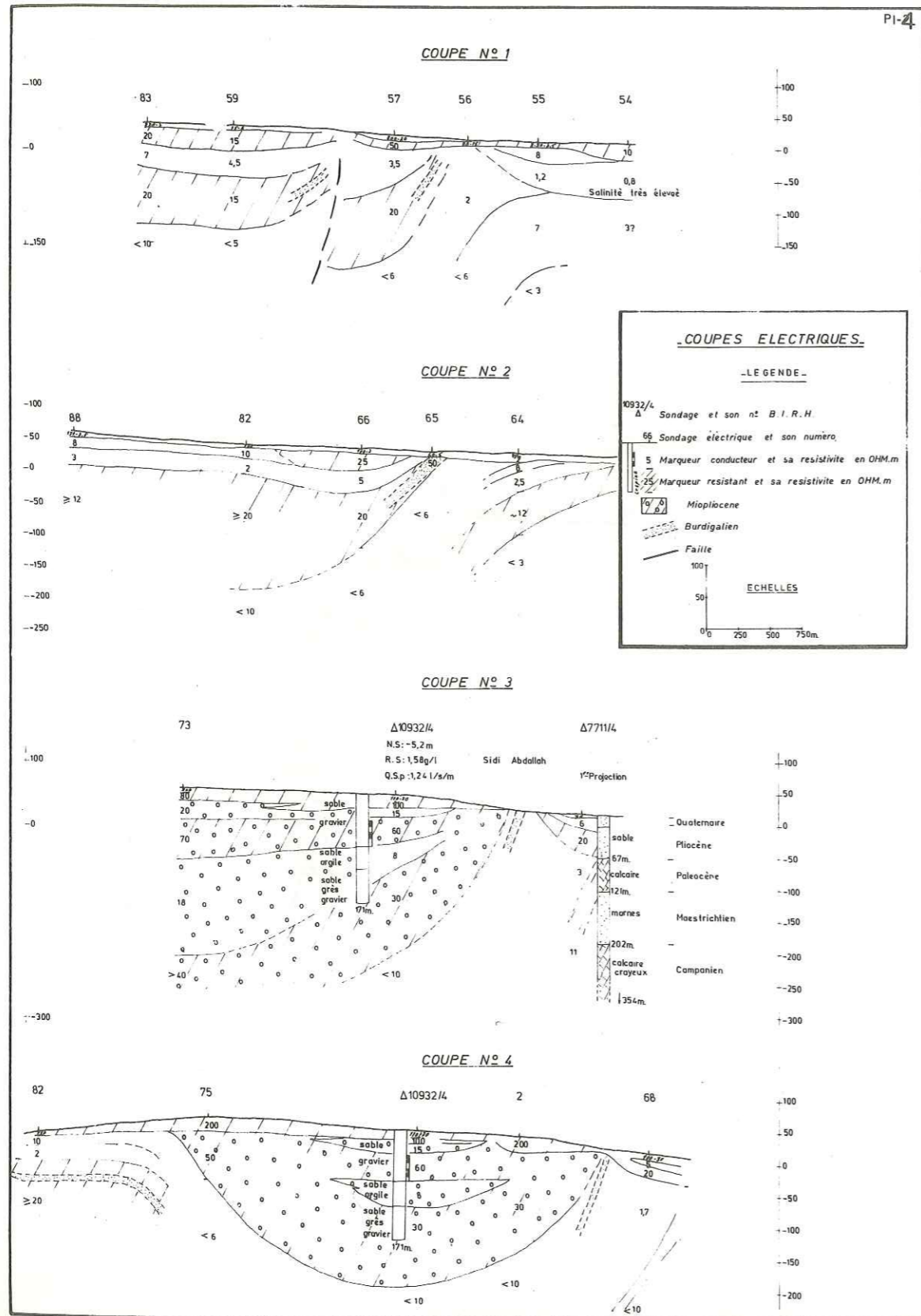
L'étude géophysique par sondages électriques a permis de prévoir la position de la fermeture orientale de la cuvette de Sidi Abich.

Si le burdigalien, excellent repère géologique par sa très nombreuse faune à pectinidés et son faciès calcaro-gréseux, ne peut constituer un marqueur électrique valable en raison de sa puissance limitée parfois à quelques mètres, par contre le remplissage grossier mio-pliocène dont la résistivité est en moyenne de 50 ohm.m est très facilement identifiable par la méthode du sondage électrique.

En supposant que le Burdigalien reste dans les mêmes conditions de gisement qu'à Sidi Abdallah, nous avons pu dans une première phase tracer vers le nord son passage sous le recouvrement quaternaire, raccordant ainsi l'affleurement de Sidi Abdallah à celui du Djebel Bou Rhabrhouba ce qui implique la fermeture de la Cuvette de Sidi Abich (Pl. 3).

Les recherches sur le terrain pour découvrir des indices de ce passage ont conduit à l'identification d'un affleurement encore inconnu du Burdigalien partiellement masqué par une épaisse croûte calcaire (d'âge villafranchien ?), sur le relief de Hamadet es Souda. Sa direction est sensiblement Est-Ouest et son pendage accentué de 60° vers le Sud. Cette position est confirmée par la mise à jour à la suite de fouilles superficielles des argiles aquitaniennes au nord et de la base sableuse du vindobonien au sud.

Cette découverte du Burdigalien de Hamadet es Souda nous a conduit à réviser la première interprétation en nous appuyant sur l'étude photogéologique dont les résultats sont reportés (Pl. 3) qui tient compte des affleurements et de la nécessité d'assurer la continuité des pendages ainsi que des coupes électriques (Pl. 4) sur lesquelles nous avons pu identifier géologiquement la plupart des marqueurs et situer le passage du Burdigalien entre les sondages : 68-2 ; 107-103 et 59-57-56. Nous avons également retrouvé le Burdigalien au point prévu



entre les sondages électriques 107 et 103 lors des travaux d'approfondissement du puits (N° BIRH 164/4).

La fermeture N.E. de la cuvette de Sidi Abich est donc toujours assurée par la présence du Burdigalien disloqué comme partout d'ailleurs par de nombreuses failles de décrochement (phase post-burdigalienne et phase plio-quaternaire).

Les deux sondages mécaniques (14926/4 et 14927/4) exécutés dans le but de vérifier cette fermeture ont recoupé successivement à 100 m et 70 m le Vindobonien marneux.

Les deux sondages n'ont pas atteint le Burdigalien parce qu'il est subvertical aux affleurements très proches de l'emplacement de ces deux sondages.

De toute façon la fermeture de la Cuvette de Sidi Abich est assurée par le Vindobonien marneux. Cette fermeture entraîne la protection des eaux des nappes mio-pliocènes contre l'invasion des eaux salées des sebkhas voisines (Sidi Khalifa et Assa Djiriba) et de la mer.

Cette donnée est fondamentale en ce qui concerne la qualité des eaux à exploiter et l'impossibilité d'un écoulement vers la mer à travers le Vindobonien marneux et la barre burdigalienne, mais il se pose le problème de la détermination de la zone d'alimentation de ces nappes et de l'âge de leurs eaux.

### 3.3.2. FERMETURE S.W. DE LA CUVETTE DE SIDI ABICH

Cette fermeture S.W. est assurée par le prolongement de l'anticlinal de Sidi Abdallah qui s'envoie vers le sud ouest en même temps son axe dévie vers l'ouest pour se raccorder avec la structure anticlinale de Grimitt (Fig. 7).

Le sondage Oued el Klaia 2 (1489I/4) a mis en évidence cette fermeture S.W. En effet ce sondage a atteint (à 200 m de profondeur) les marnes bleues vindoboniennes qui constituent le flanc nord de la rive anticlinale souterraines reliant Sidi Abdallah à Grimitt.

La cuvette de Sidi Abich se trouve ainsi protégée de l'invasion des eaux salées de la zone centrale de la plaine d'Enfidaville qui était occupée par un ancien golfe.

### 3.3.3. BORDURE OCCIDENTALE DE LA PLAINE D'ENFIDAVILLE

La structure anticlinale de Satour Bou Larga-Fedjet el Hamra isolant la plaine quaternaire d'Enfidaville de la vallée amont de l'oued el Khaïrat crée un seuil hydraulique entre la zone dite Aïn Garsi et la plaine d'Enfidaville. Ce seuil a été confirmé par le sondage mécanique 9228/4 qui ne recoupe que 12 m d'alluvions quaternaires et est resté à 200 m de profondeur dans les formations essentiellement marneuses.

Cet anticlinal de Satour Bou Larga - Fedjet el Hamra à coeur éocène a été mis en évidence et délimité par la prospection électrique effectuée dans le cadre de cette étude.

### 3.3.4. L'ANCIEN GOLFE D'ENFIDAVILLE - SEBKHA KELBIA

Cet ancien golfe enveloppe les sebkhas côtières (Assa Djiriba et Halk el Menzel) s'étend à l'ouest de la Sebka Khedma el Kébira et se prolonge vers le Sud Ouest par la Sebka Kelbia.

Ce golfe occupait l'emplacement d'un synclinal miocène de direction N.E.-S.W. qui a été reconnu par les campagnes sismiques et gravimétriques des compagnies pétrolières en 1951 (C.P.D.T.).

Cette structure synclinale n'a pu être mise en évidence par la prospection électrique car dans la tranche des terrains atteints par les sondages électriques (300 mètres environ pour une longueur de ligne AB = 1000 m) les terrains les plus perméables envahis par les eaux très salées à partir de la surface ont une résistivité telle qu'on ne les distingue plus des formations argileuses conductrices.

Les limites de l'ancien golfe, où actuellement l'influence de sa salure se fait sentir, paraissent assez bien marquées par la courbe d'égale salinité 3 g/l (Pl. 8) dont on notera la déformation prononcée par les apports d'eau douce de l'oued Sidi Abdelkaoui au nord de la Sebka Khedma el Kébira, apports qui n'ont toutefois qu'une action limitée aux eaux de la nappe phréatique (superficielle).

### 3.3.5. L'ANTICLINAL DE KALAA KEBIRA

Le mio-pliocène de l'anticlinal de Kalaâ Kébira a été bien identifié par la prospection électrique. Les résistivités de ses dépôts sont toujours inférieures à 30 ohm.m correspondent à des formations sablo-gréseuses dans lesquelles on rencontre une proportion notable d'argile.

### 3.3.6. CONCLUSION

L'étude du remplissage de la plaine d'Enfidaville nous a donc permis de délimiter plusieurs zones :

#### a) La cuvette de Sidi Abich

Elle est délimitée par les affleurements mio-pliocènes. Sa fermeture aussi bien au N.E. qu'au S.W. est assurée par les marnes vindoboniennes qui reposent sur le Burdigalien. Les résistivités des formations de son remplissage croissent d'une manière générale vers le nord. Elles varient de 30 à 300 ohm.m. Elles sont maximum dans la zone du Djebel Hamadet es Sourah, ce qui semblerait indiquer que le remplissage ait pu se faire essentiellement à partir de cette direction, les dépôts les plus grossiers étant concentrés à l'amont.

Le synclinal miocène qu'occupe la cuvette de Sidi Abich est bien marqué par son remplissage résistant (20 - 100 ohm.m), dont l'épaisseur dépasse les 500 mètres au centre de la cuvette.

Les dépôts grossiers, épais et résistants du mio-pliocène de la cuvette de Sidi Abich, se terminent vers le sud au niveau d'une ligne joignant les forages 14038/4 et 11295/4. Nous observons cependant leur extension vers l'ouest où ils sont probablement confondus ou en connexion avec les alluvions grossières de l'Oued el Khaïrat (sondage III53/4).

#### b) L'ancien golfe d'Enfidaville - Sebka Kelbia

Il occupe l'emplacement d'un synclinal miocène reconnu par les Compagnies pétrolières (C.P.D.T. 1951).

Lorsque des formations grossières perméables subsistent dans cet ensemble, elles se montrent plus conductrices que les argiles en raison de la très forte salinité des nappes superficielle et profonde dans ce secteur (R.S. = 20 g/l au sondage 7812/4).

Le mio-pliocène y est formé par des dépôts essentiellement argileux. La salure des eaux est telle que jusqu'au voisinage de Menzel Dar Bel Ouar les marqueurs conducteurs pourraient correspondre aux niveaux les plus perméables.

Dans la région de Kondar on trouve pratiquement dès la surface un marqueur très conducteur épais de plusieurs centaines de mètres dont la résistivité parfois inférieure à un ohm.m indique un degré de salinité très élevé peut-être voisin de celui des eaux marines.

#### c) L'anticlinal de Kalaâ Kébira

C'est un bombement anticlinal à peine marqué dans la topographie. Son axe est orienté est-ouest et correspond à une structure profonde reconnue par les Pétroliers (C.P.D.T.).

Il est constitué essentiellement par des formations mio-pliocènes à granulométrie fine. La résistivité des dépôts varie de 8 à 30 ohm.m. Les valeurs les plus élevées peuvent correspondre à des niveaux à sédiments grossiers renfermant de l'eau de bonne qualité (R.S. = 1,3 g/l au forage Sidi Bou Ali 5 N° BIRH 12706/4).

La nappe superficielle est contenue dans un niveau résistant (20 à 60 ohm.m) dont l'épaisseur est de 30 mètres environ.

Sous l'ensemble des résistants mio-pliocènes, on rencontre un marqueur conducteur dont la résistivité peut descendre à 3 ohm.m, cette basse valeur résulte probablement de l'action conjuguée de la nature argileuse du mio-pliocène et de la présence d'eaux salées profondes.

Tous les forages de la région ont rencontré des formations à tendance argilo-marneuse fournissant en général des eaux salées et toujours des débits spécifiques faibles les rendant inexploitable.

## 4. ETUDE DE LA NAPPE PHREATIQUE

### 4 - 1 - METHODE D'ETUDE

Les Romains utilisaient déjà l'eau de la nappe phréatique de la plaine d'Enfidaville. Leurs ruines très nombreuses sont réparties à travers toute la plaine. Il existe encore des puits exploités actuellement et qui datent de l'époque romaine.

Aujourd'hui la nappe d'Enfidaville continue à fournir l'eau nécessaire à l'irrigation du vaste domaine de l'Agro-combinat d'Enfidaville et à l'alimentation en eau potable des collectivités de la région (Enfidaville, Sidi Bou Ali, Menzel Dar Bel Ouar).

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

#### 4.1.1. INVENTAIRE SYSTEMATIQUE DE TOUS LES POINTS D'EAU

C'est le premier travail que nous avons effectué pour recenser tous les points d'eau de la région.

Nous avons compté plus de 700 puits de surface ( 730 ) qui captent essentiellement les eaux de la nappe phréatique (superficielle).

La profondeur du plan d'eau varie de 5 à 15 m dans la zone d'Enfidaville, à Menzel Dar Bel Ouar et Sidi Bou Ali elle ne dépasse guère les 6 à 7 m. Par contre dans le secteur de l'Anticlinal de Kalâa Kébira (Kondar, Sebka Kelbia - Rive Est) elle dépasse les 50 m. Dans la zone de Halk el Menzel, la profondeur du plan d'eau passe de 1 m près de la côte à plus de 30 à 40 m sur la terminaison est de l'Anticlinal de Kalâa Kébira.

La nappe profonde mio-pliocène est captée par une vingtaine de forages dont la plupart sont concentrés dans la zone d'Enfidaville (Fig 9).

A Enfidaville, les puits de surface et les forages sont exploités pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable d'Enfidaville.

A Menzel Dar Bel Ouar, les eaux de la nappe superficielle servent exclusivement pour l'alimentation en eau potable de la population et de son cheptel.

A Sidi Bou Ali, le nombre des puits exploités est très réduit du fait de la forte salinité des eaux de la nappe à cet endroit. C'est depuis quelques années seulement (4 à 5 ans) que la nappe à Sidi Bou Ali n'est plus sollicitée. Les eaux d'irrigation proviennent essentiellement du barrage construit sur l'Oued Nebhana qui draine un vaste bassin versant à l'ouest du Sahel (Fig. 5a).

A Chott Meriem (région de Halk el Menzel), la nappe est encore exploitée mais partiellement. Le reste des besoins en eau d'irrigation est fourni par les eaux de Nebhana comme à Sidi Bou Ali.

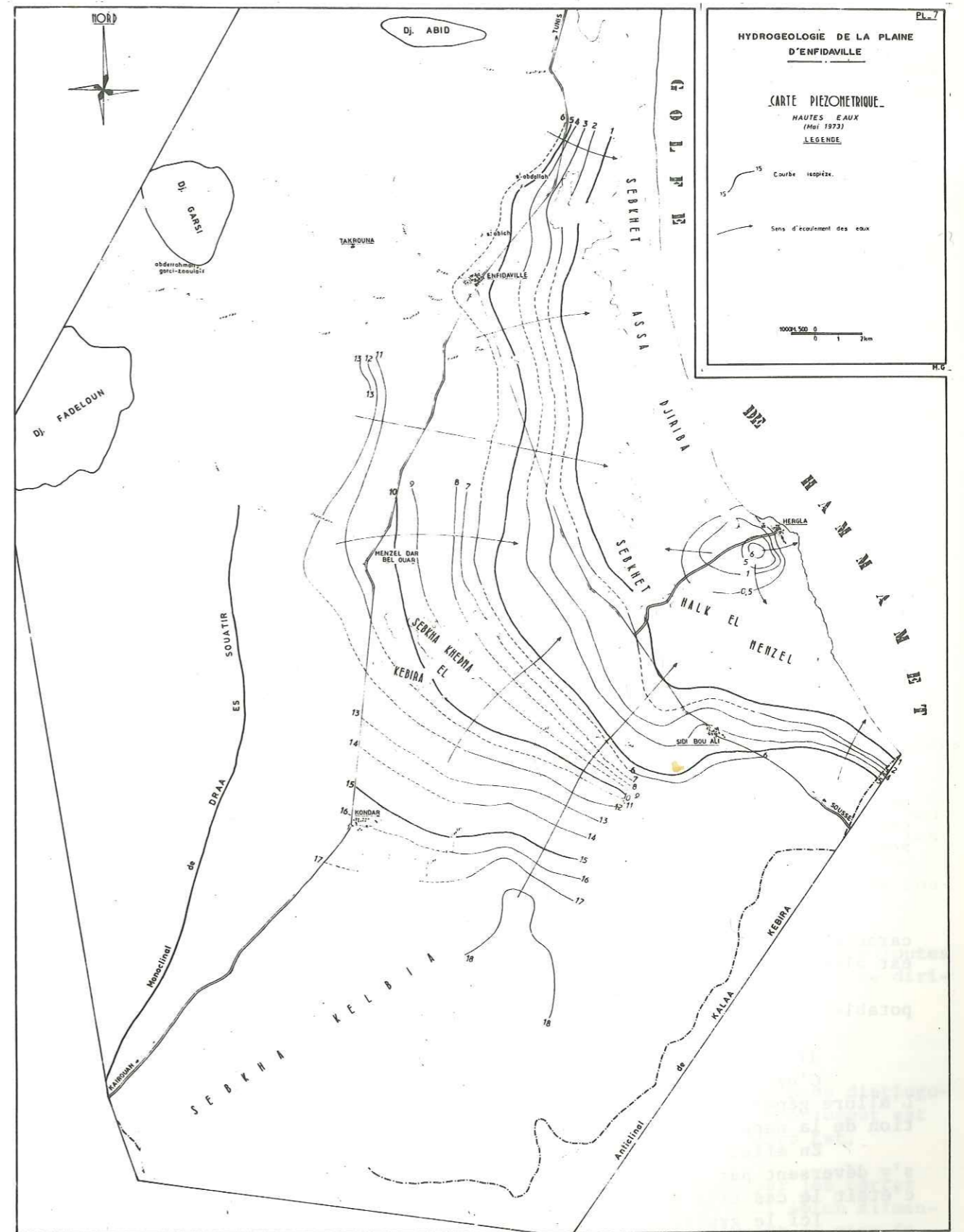
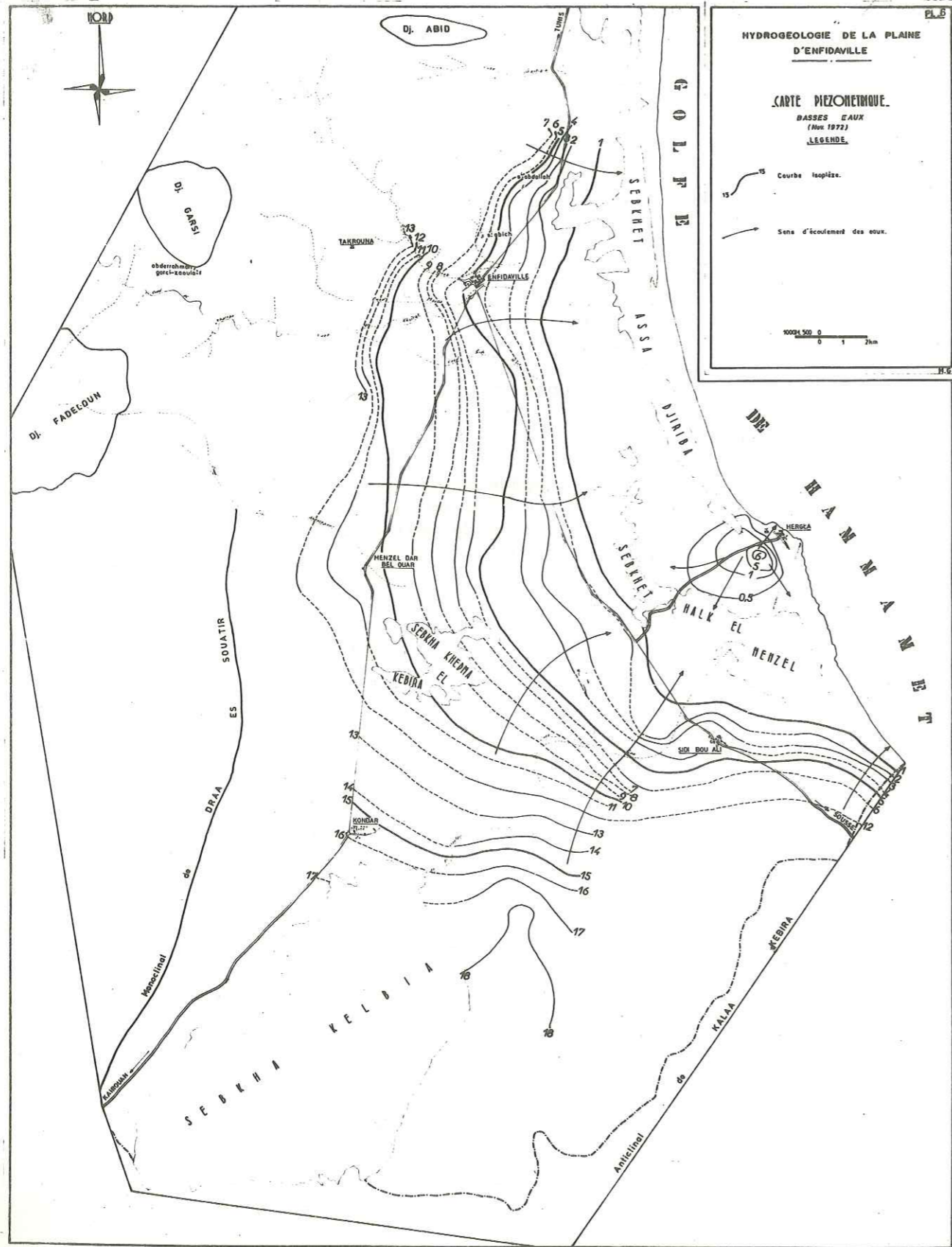
Pour chaque puits visité on établit une fiche sur laquelle on porte:

#### a) Les caractéristiques du puits

- Repère de mesure (margelle ou terrain naturel noté T.N)







cartes piézométriques (Pl. 6 et 7):

- l'une correspondant aux basses eaux (Novembre 1972):

Elle a été établie à partir du niveau piézométrique de tous les points surveillés (213 puits) du 9 au 15 Novembre 1972, donc dans un intervalle de temps très court qui élimine l'effet de fluctuations possibles d'un point à un autre. Cette carte permet d'avoir des valeurs du gradient hydraulique pour les calculs du bilan, car c'est dans cette période que nous avons un régime d'écoulement permanent.

- l'autre correspondant aux hautes eaux (Mai 1973):

Elle a été dressée à partir des mesures du niveau piézométrique effectuées du 14 au 18 Mai 1973. L'image donnée par cette carte correspond au niveau maximum de la nappe phréatique puisque l'on a enregistré que peu ou pas de précipitations après ce relevé.

Ces cartes piézométriques ont pour but principal de fournir des renseignements sur l'écoulement et l'alimentation de la nappe phréatique en vue de son exploitation rationnelle.

4.2.2. CARTES PIEZOMETRIQUES

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

a) Zone d'Enfidaville:

C'est la région nord est d'Enfidaville. Elle est caractérisée par un fort gradient hydraulique vers le nord qui diminue vers le sud aux abords d'Enfidaville, en effet il varie de  $4 \cdot 10^{-3}$  à  $0,76 \cdot 10^{-3}$ . L'alimentation de la nappe se fait à partir des eaux de crues des oueds de la région: Oued el Brek, Oued Moussa et Oued el Khaïrat qui contribue en partie à l'alimentation de la nappe dans cette zone. Elle se rattache aux autres zones vers le sud par la zone de Sidi Fathallah - Saniet Khélifa (Forage 5303/4).

b) Zone de Sidi Fathallah:

La nappe dans cette zone est très peu connue du fait du nombre réduit de puits créés dans cette région. Le gradient hydraulique est assez fort dans cette zone avec une valeur de  $3,3 \cdot 10^{-3}$ . L'alimentation de la nappe dans cette zone provient des eaux de crues de l'Oued el Khaïrat.

c) Zone de Menzel Dar Bel Ouar:

C'est la zone qui fait suite vers le sud de la zone précédente. Elle se caractérise par un faible gradient hydraulique de l'ordre de  $1 \cdot 10^{-3}$ . La nappe est alimentée à partir des eaux de crues de l'Oued Sidi AbdelKaoui.

Dans cette zone la nappe est très sollicitée pour les besoins en eau potable de l'agglomération de Menzel Dar Bel Ouar.

d) Zone de Kondar:

C'est la zone qui limite vers le nord et le nord est la Sebkha Kelbia. L'allure générale des courbes izopièzes dans cette zone indiquent une alimentation de la nappe à partir des eaux salées de la Sebkha Kelbia.

En effet la nappe serait polluée par les eaux de la Sebkha Kelbia qui s'y déversent par l'Oued el Menfess à chaque débordement de la sebkha, comme c'était le cas très récemment au mois de décembre 1973.

Ici le gradient hydraulique est très faible de l'ordre de  $0,70 \cdot 10^{-3}$ .

e) Zone de Sidi Bou Ali:

Elle continue vers l'est la zone précédente. Le gradient hydraulique de la nappe est de l'ordre de  $2 \cdot 10^{-3}$ . L'alimentation de la nappe se fait à partir

des eaux de ruissellement des Collines de Kalâa Kébira, ainsi que des eaux de débordement de la Sebkha Kelbia par l'Oued Es Sed.

Dans cette zone, la nappe était très sollicitée pour les besoins en eau d'irrigation. C'est depuis quelques années seulement qu'elle n'est pratiquement plus exploitée à cause de la forte salinité de ses eaux à cet endroit.

Le niveau piézométrique de la nappe est en augmentation continue depuis que les eaux d'irrigation proviennent du barrage de Nebhana. Ces eaux d'irrigation contribuent probablement à la recharge de la nappe.

f) Zone de Chott Meriem (Halk el Menzel):

C'est la zone comprise entre la mer au nord est et les collines de Kalâa Kébira à l'ouest. Elle est caractérisée par un fort gradient hydraulique de l'ordre de  $3 \cdot 10^{-3}$ .

L'alimentation de la nappe à Chott Meriem se fait à partir des eaux de ruissellement des Collines de Kalâa Kébira.

Le niveau piézométrique de la nappe ne cesse de se relever depuis les deux dernières années, ce qui pourrait indiquer une certaine recharge de la nappe.

g) Zone de Hergla:

Cette zone constitue une nappe indépendante du reste de la plaine d'Enfidaville. Elle est bien délimitée par les sebkhas (Assa Djiriba et Halk el Menzel) au nord, à l'ouest et au sud; par la mer à l'est. C'est une véritable "île". La nappe est renfermée dans les grès plus ou moins tendres du Tyrrhénien sur lequel est construite Hergla.

4.2.3. FORME GENERALE DE L'ECOULEMENT

Dans les zones septentrionales de la plaine (Zones d'Enfidaville, Sidi Fathallah et Menzel Dar Bel Ouar) l'écoulement de la nappe se fait dans une direction sensiblement Ouest - Est. Les eaux souterraines arrivent des zones de bordure de la plaine et se dirigent vers les sebkhas à l'est.

Dans les zones méridionales de la plaine (Zones de Kondar, Sidi Bou Ali et Chott Meriem) l'écoulement de la nappe devient Sud Ouest - Nord Est. Les eaux arrivent de la région nord de la Sebkha Kelbia et des Collines de Kalâa Kébira, se dirigent ensuite vers la Sebkha Halk el Menzel pour les zones de Kondar et de Sidi Bou Ali et vers la mer pour la zone de Chott Meriem.

Dans la zone de Hergla, l'écoulement de la nappe se fait dans toutes les directions. Les eaux souterraines partent du centre de la zone pour se diriger vers les sebkhas voisins et la mer.

4.2.4 CONCLUSION

L'étude de l'écoulement de la nappe nous a donc permis de distinguer plusieurs zones bien individualisées. Au nord de la plaine l'écoulement est sensiblement Ouest - Est, vers le sud il devient Sud Ouest - Nord Est.

L'alimentation de la nappe a été mise en évidence par les cartes piézométriques. Les eaux de crues des oueds de la Cuvette de Sidi Abich alimentent la zone d'Enfidaville, celles de l'Oued el Khaïrat alimentent la zone de Sidi Fathallah - Saniet Khélifa. Les eaux de crues de l'Oued Sidi AbdelKaoui contribuent largement à l'alimentation de la nappe dans le secteur de Menzel Dar Bel Ouar. A Kondar et Sidi Bou Ali, la nappe reçoit les eaux de ruissellement des Collines de Kalâa Kébira ainsi que les eaux de débordement du Lac Kelbia par les Oueds El Menfess et Es Sed. Dans la zone de Chott Meriem, la nappe

pe reçoit les eaux de ruissellement des Collines de Kalâa Kébira.

L'alimentation de la nappe de Hergla se fait sur place par l'infiltration directe des eaux météoriques.

#### 4 - 3 - ALIMENTATION DES NAPPES SUPERFICIELLE ET PROFONDE

L'alimentation des nappes phréatiques et profondes de la plaine d'Enfidaville peut se faire:

- à partir des eaux météoriques qui arrivent à s'infiltrer sur place
- à partir des eaux de crues des oueds
- à partir des eaux de déversement des nappes adjacentes.

##### 4.3.1. INFILTRATION DIRECTE DES EAUX METEORIQUES

Cette infiltration directe des eaux météoriques intéresse 400 Km<sup>2</sup> c'est à dire le 1/3 de la superficie de la plaine d'Enfidaville qui correspond à ses formations perméables (Sable, sable fin et cailloutis). Le reste de la plaine est constitué par des formations plus ou moins imperméables allant des sols de sebkha jusqu'à la croûte calcaire qui empêche toute infiltration, mais elle favorise au contraire le ruissellement.

Ce sont les zones septentrionales de la plaine d'Enfidaville (Cuvette de Sidi Abich et le secteur de Sidi Fathallah - Saniet Khélifa) qui bénéficient le plus de ce mode d'alimentation. En effet la nature pétrographique (Sable, sable fin et cailloutis) des terrains dans ces zones facilite l'infiltration directe des eaux météoriques.

L'"île" de Hergla est uniquement alimentée par les eaux météoriques qui s'infiltrent à travers les grès plus ou moins tendres du Tyrrhénien qui affleurent sur de grandes surfaces et dont les assises altérées constituent le sol cultivé.

##### 4.3.2. ALIMENTATION A PARTIR DES EAUX DE RUISSELLEMENT DES OUEDS

Les eaux de ruissellement des oueds contribuent largement à l'alimentation des nappes de la plaine d'Enfidaville, mais ces cours d'eau ne fonctionnent qu'en période de crues.

Ce sont essentiellement les eaux de crues des oueds Sidi Abich et el Brek qui contribuent à l'alimentation de la Cuvette de Sidi Abich.

Les eaux de crues de l'Oued el Khaïrat servent à l'alimentation de la nappe phréatique à Sidi Fathallah - Saniet Khélifa (Forage 5303/4).

La nappe phréatique à Menzel Dar Bel Ouar reçoit les eaux de crues de l'Oued Sidi AbdelKaoui.

Les torrents temporaires qui drainent le monoclinale de Drâa es Souatir et les petits oueds des Collines de Kalâa Kébira alimentent les nappes phréatique et profonde à Sidi Bou Ali et Chott Meriem.

L'examen des cartes piézométriques (Pl. 6 et 7), de la carte de Salinité (Pl. 8) et des cartes d'Isorésistivités (Pl. 9 et 10) permet la localisation des zones d'alimentation des nappes à partir des eaux de crues des oueds de la plaine d'Enfidaville.

Pour l'évaluation quantitative de cette alimentation, il nous faudrait connaître les débits de crues des oueds de la plaine. C'est dans ce but que nous avons proposé dès le début de cette étude d'installer une station hydrométrique sur l'Oued el Khaïrat juste avant qu'il atteigne la plaine pour qu'on puisse jauger son débit pérenne qui se perd dès son entrée dans la plaine d'Enfidaville dans la région d'Aïn Garsi. Cette station est sur le point d'être équipée par un limnigraphe qui enregistrera les variations de la hauteur d'eau dans le cours de l'Oued. La première crue qui passera par la station sera jaugée et servira par la suite pour le tarage de la station. Ainsi nous pourrions dans un proche avenir obtenir les débits des anciennes crues dont les traces de leur passage sont encore visibles sur les berges de l'Oued.

A la suite des périodes sèches se forment des fentes de dessiccation, lorsque les épisodes pluvieux sont peu importants ou de courte durée, les eaux pénètrent dans les fentes mais il semble qu'elles ruissellent sans parvenir à s'infiltrer en profondeur. Par contre lorsque le sol présente une teneur en eau déjà appréciable et que les précipitations sont d'une durée plus importante, les phénomènes d'infiltration vers la profondeur apparaissent comme plus aisés et plus homogènes.

##### 4.3.3. DEVERSEMENT DES NAPPES ADJACENTES

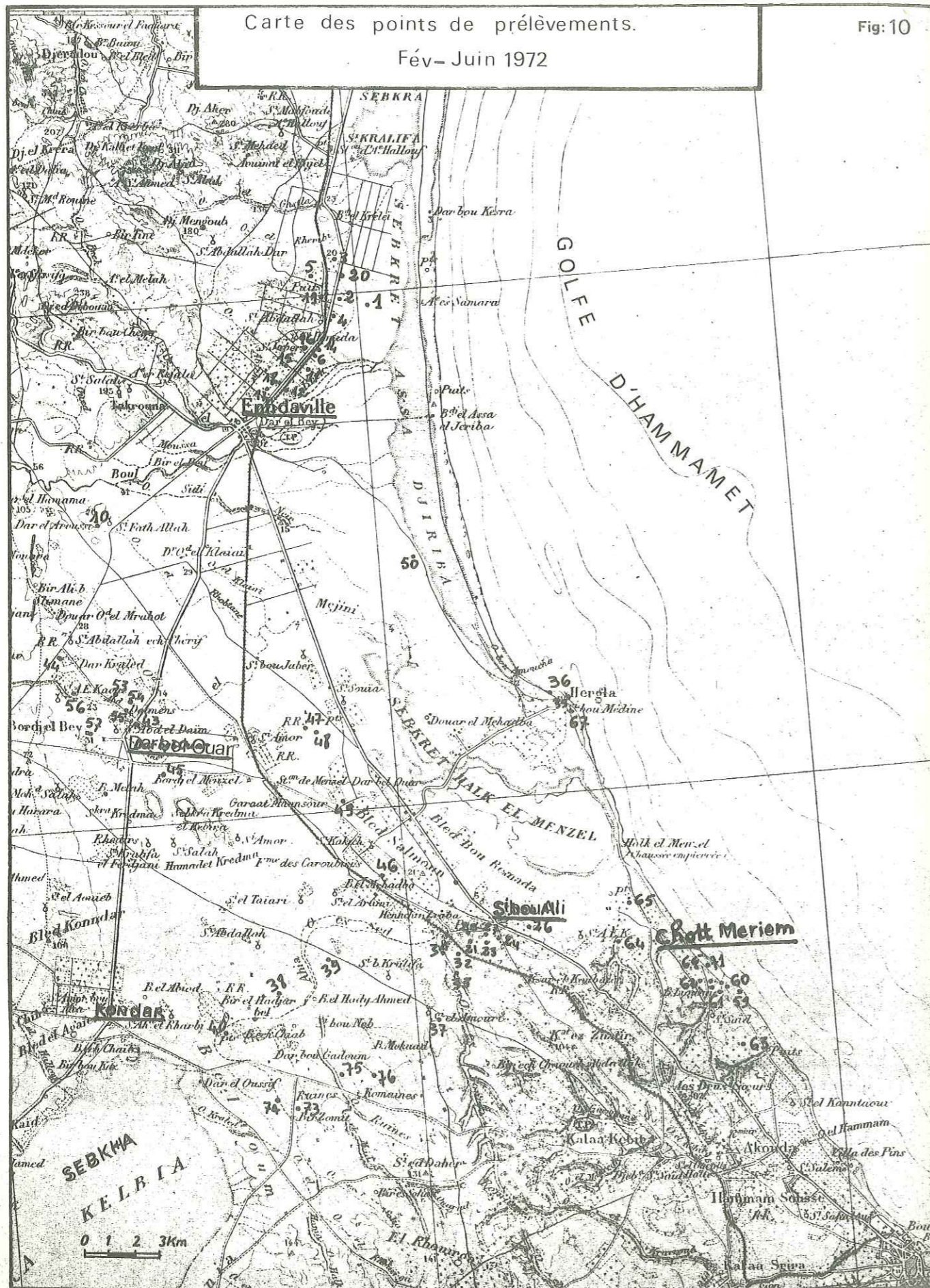
L'amont du cours de l'Oued el Khaïrat renferme une nappe importante dans la zone dite "Aïn Garsi". Cette zone est séparée de la plaine d'Enfidaville proprement dite par un seuil hydraulique mis en évidence par la prospection électrique effectuée dans la région dans le cadre de notre étude. Ce seuil se situe au niveau du Sondage de Reconnaissance 9228/4 qui n'a recoupé que 12 m d'alluvions quaternaires et est resté à 200 mètres de profondeur dans des formations essentiellement marneuses.

A l'amont de ce seuil, la nappe profonde est exploitée par deux forages (10437/4 et 10900/4). Lors des fortes crues de l'Oued el Khaïrat qui alimentent cette nappe, le trop plein se déverse dans la nappe d'Enfidaville dans la zone de Sidi Fathallah - Saniet Khélifa, mais il est difficile de donner une estimation même approximative des débits.

##### 4.3.4. CONCLUSION

L'alimentation des nappes de la plaine d'Enfidaville se fait pour une part importante à partir des eaux météoriques qui s'infiltrent sur place dans la cuvette de Sidi Abich, les Collines de Kalâa Kébira et chaque fois que la nature pétrographique du terrain permet une telle infiltration. Nous précisons plus loin la part des précipitations qui correspond à cette infiltration lors de l'étude du bilan hydrologique.

L'alimentation des nappes à partir des eaux de crues des oueds est également certaine, mais il reste aussi à l'évaluer c'est ce que nous essayerons de faire dès que nous obtiendrons les premiers résultats des jaugeages de crues de la Station Hydrométrique construite sur l'Oued el Khaïrat.



5. CHIMIE DES EAUX

L'étude chimique des eaux a porté sur le résidu sec (R.S), la conductivité et l'analyse chimique complète des eaux de tous les points d'eau de la plaine. Le résidu sec et la conductivité ont été déterminés systématiquement pour tous les points d'eau. Quant aux analyses chimiques complètes, elles n'ont intéressé qu'un certain nombre de puits et de forages répartis dans toute la plaine (une centaine d'analyses) Fig. 10.

Les échantillons de la première campagne de prélèvements ont été analysés au Laboratoire de la Division des Sols à l'Ariana (D.R.E.S). Le résidu sec a été déterminé par la méthode d'évaporation.

Sur un papier bilogarithmique, nous avons porté en abscisses les valeurs du résidu sec en g/l et en ordonnées les valeurs de la conductivité en mmho/cm. La courbe obtenue est une droite (Fig. 11). A l'aide de ce graphique nous pouvons déduire la valeur approximative du résidu sec en effectuant seulement la mesure de la conductivité à l'aide d'un conductivimètre. Cette opération est nettement plus rapide qu'une détermination du résidu sec par évaporation dans un four électrique. La comparaison des cartes de Salinité et d'Isorésistivité nous confirmera la liaison étroite qui existe entre ces deux données.

Deux autres campagnes de prélèvements d'échantillons ont été effectuées, l'une en Mai 1973 et elle correspond aux hautes eaux; l'autre en Septembre 1973 et elle correspond aux basses eaux.

La première campagne de prélèvements d'échantillons a servi pour l'établissement de la carte de Salinité (Pl. 8). Les campagnes effectuées en Mai et Septembre 1973 ont servi pour l'établissement des cartes d'Isorésistivité en hautes et basses eaux (Pl. 9 et 10).

5 - 1 NAPPE PHREATIQUE SUPERFICIELLE

5.1.1. CARTE DE SALINITE

Elle est établie à partir des résultats des déterminations du R.S par évaporation. Cette carte est très précise du fait du très grand nombre d'analyses effectuées (750). Les zones les plus chargées en sels correspondent au domaine de l'ancien golfe d'Enfidaville - Sebkhia Kelbia.

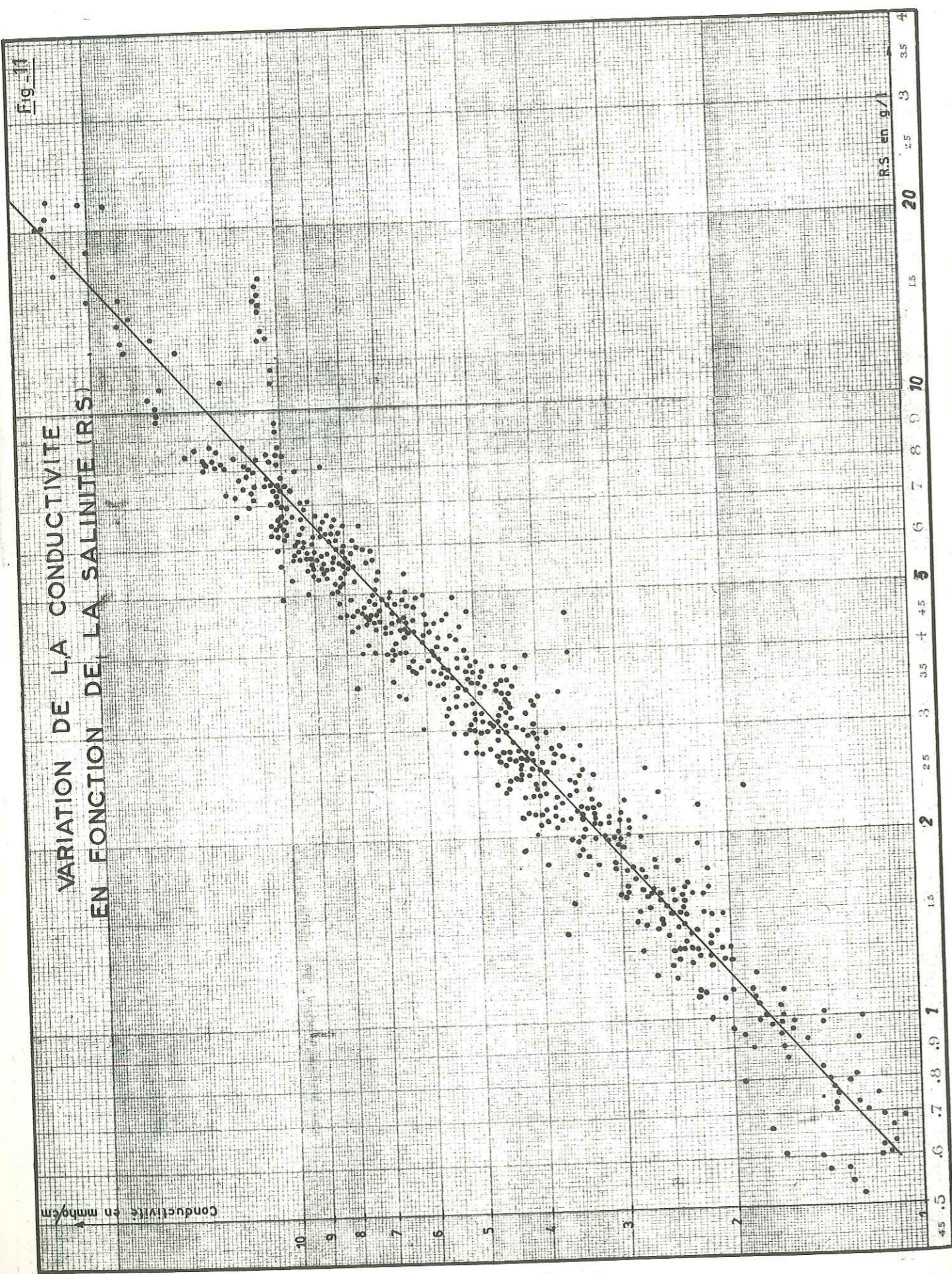
D'autres zones chargées en sels résultent d'une concentration des eaux qui a au moins deux origines dans le cas de la plaine d'Enfidaville.

a) Concentration par évaporation:

Elle intéresse la zone centrale de la plaine au nord de Menzel Dar Bel Ouar. Dans cette zone la nappe phréatique se rapproche beaucoup de la surface du sol. L'évaporation y devient intense.

Ce phénomène de l'évaporation contribue largement à la formation de la croûte calcaire qui est très développée dans cette zone.

La faible vitesse de circulation des eaux devrait jouer un grand rôle dans la concentration en sels des eaux par contact prolongé entre ces dernières et les terrains argileux traversés.



La circulation verticale des eaux provoquée par la capillarité est importante grâce à la structure argileuse du terrain favorable à un tel phénomène.

Si on admet la théorie de Pomel (1889), revue par J. Flandrin, M. Gautier et R. Laffitte (1948) sur l'origine de la formation de la croûte calcaire, on peut dire que dans cette zone centrale de la plaine toutes les conditions sont favorables pour la formation d'une telle croûte. En effet, la faible vitesse de circulation des eaux permet une concentration importante en sels qui migrent ensuite vers la surface du sol sous l'effet des phénomènes de capillarité favorisés par la structure argileuse du terrain permettant ainsi la formation et le développement de la croûte calcaire.

b) Concentration par lessivage des terrains salifères et gypseux:

Ce phénomène intéresse la zone de Takrouna où le Vindobonien et les marnes aquitaniennes affleurent largement, il intéresse aussi la zone nord de la Cuvette de Sidi Abich dans le secteur de Djebel Mengoub.

L'allure concentrique des courbes de salinité croissante délimite très bien les zones de cet apport salin. Ce sont les marnes vindoboniennes et aquitaniennes qui sont soumises à un lessivage intense d'autant plus facile que le faciès gypseux du Vindobonien et de l'Aquitaniens (épisode continental de l'Oligocène supérieur) se prête particulièrement à une dissolution rapide.

La carte de Salinité met en évidence l'ancien Golfe D'Enfidaville - Sebkhia Kelbia qui est bien délimité par la courbe d'égale salinité 8 g/l.

Dans la zone de Hergla, nous remarquons la salinité croissante depuis le centre de l'"île" jusqu'à sa périphérie. Que ce soit vers la mer à l'est ou vers les sebkhias voisins dans les autres directions, la salinité croît progressivement de moins de 1,5 g/l à plus de 8 g/l.

A Sidi Bou Ali, nous remarquons la présence d'un cône d'eau salée qui provient des sebkhias voisins. Dans cette zone, la nappe était fortement exploitée ce qui avait engendré un appel d'eau salée des sebkhias voisins et des eaux concentrées de l'ancien Golfe d'Enfidaville - Sebkhia Kelbia encore perceptible jusqu'à l'établissement de la carte de Salinité en 1972.

Nous pensons qu'il est indispensable de suivre l'évolution de la salinité dans le temps et l'espace de la nappe à Sidi Bou Ali, surtout après les récents changements survenus dans la région avec l'apport de l'eau d'irrigation du barrage de Nebhana. La surveillance conjointe de la salinité et du niveau piézométrique permettra de suivre l'évolution de la nappe à Sidi Bou Ali.

Enfin la carte de Salinité délimite assez bien les zones d'alimentation de la nappe à partir des oueds de la région, ainsi nous pourrions voir:

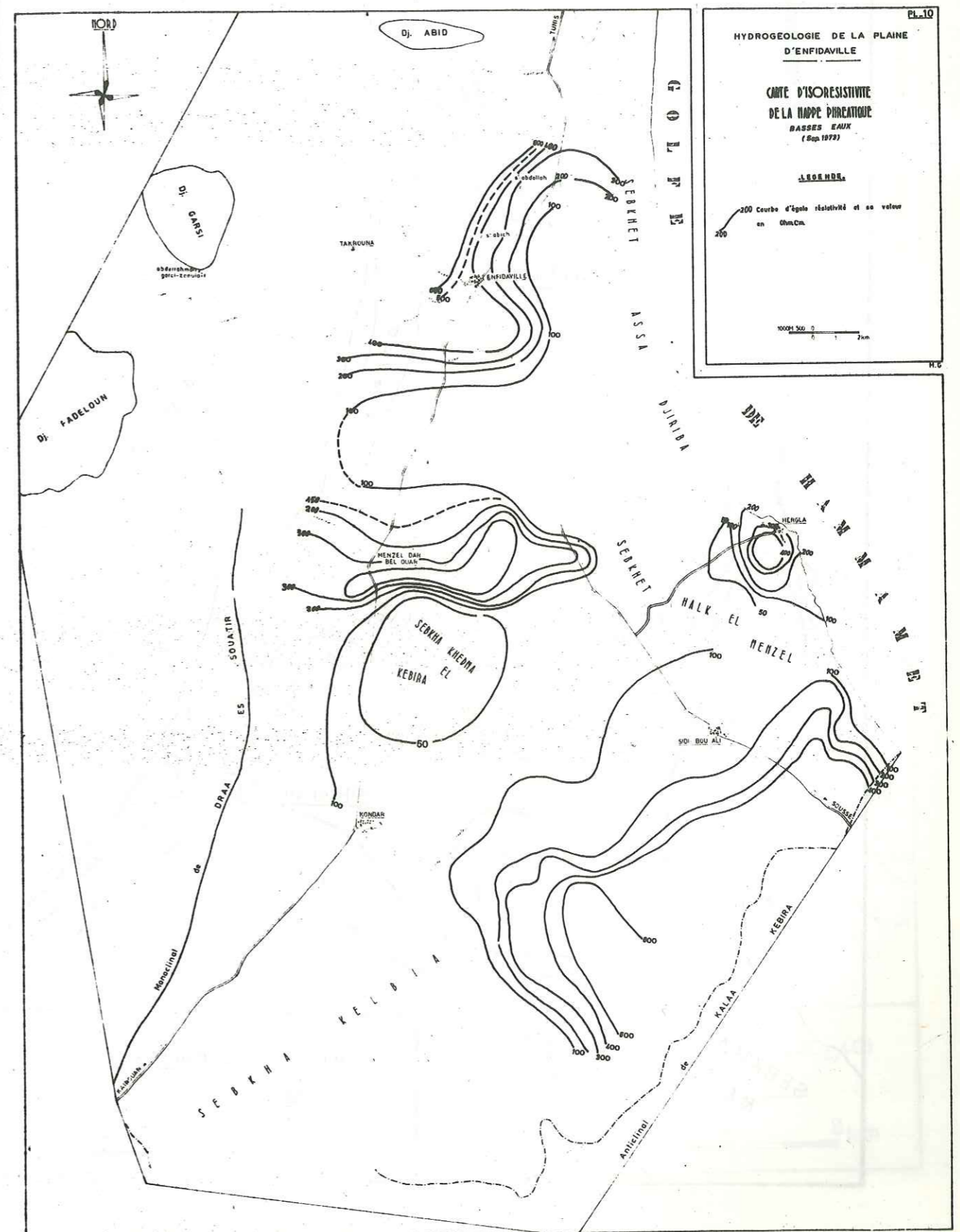
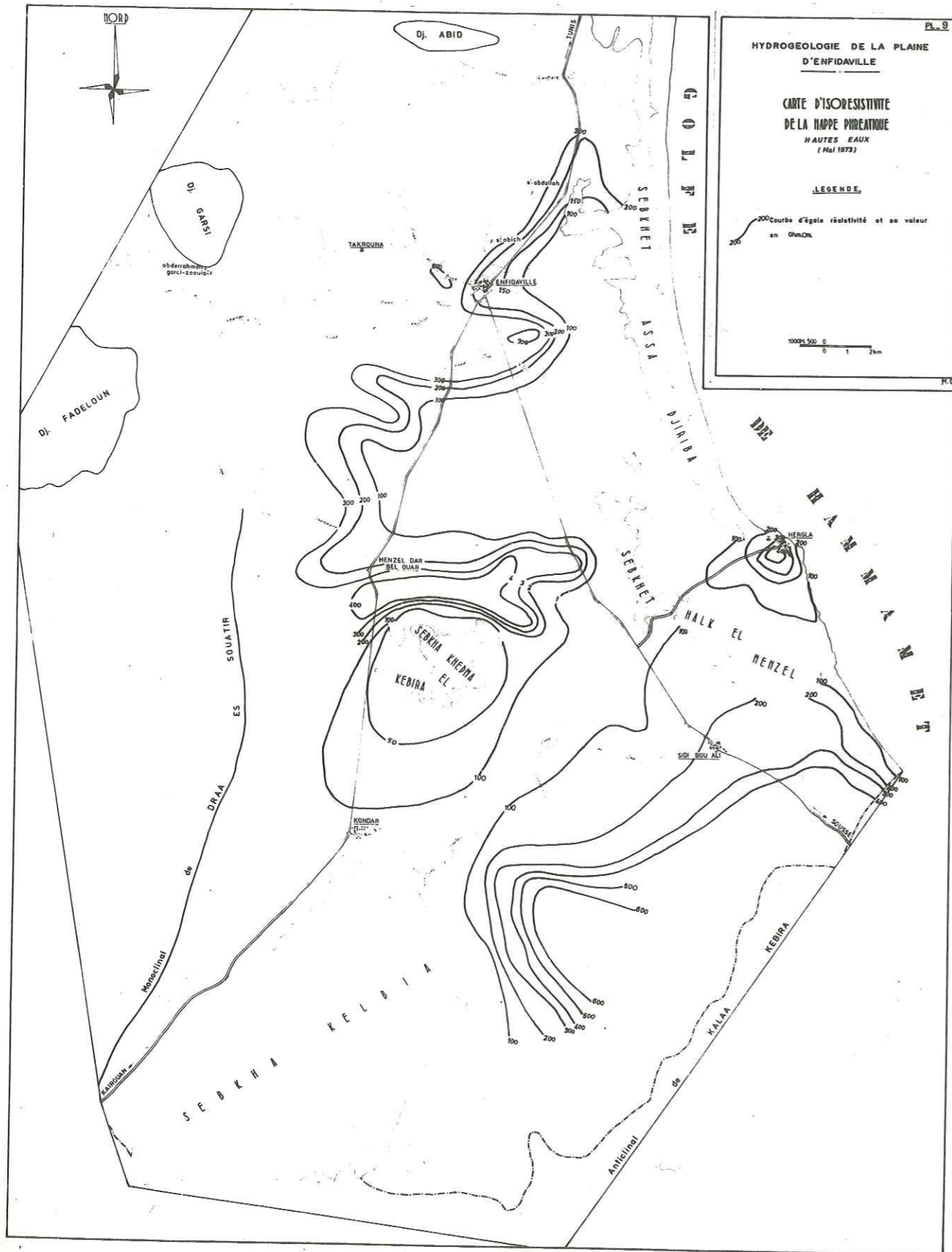
a) Alimentation de la nappe à partir de l'Oued Sidi AbdelKaoui:

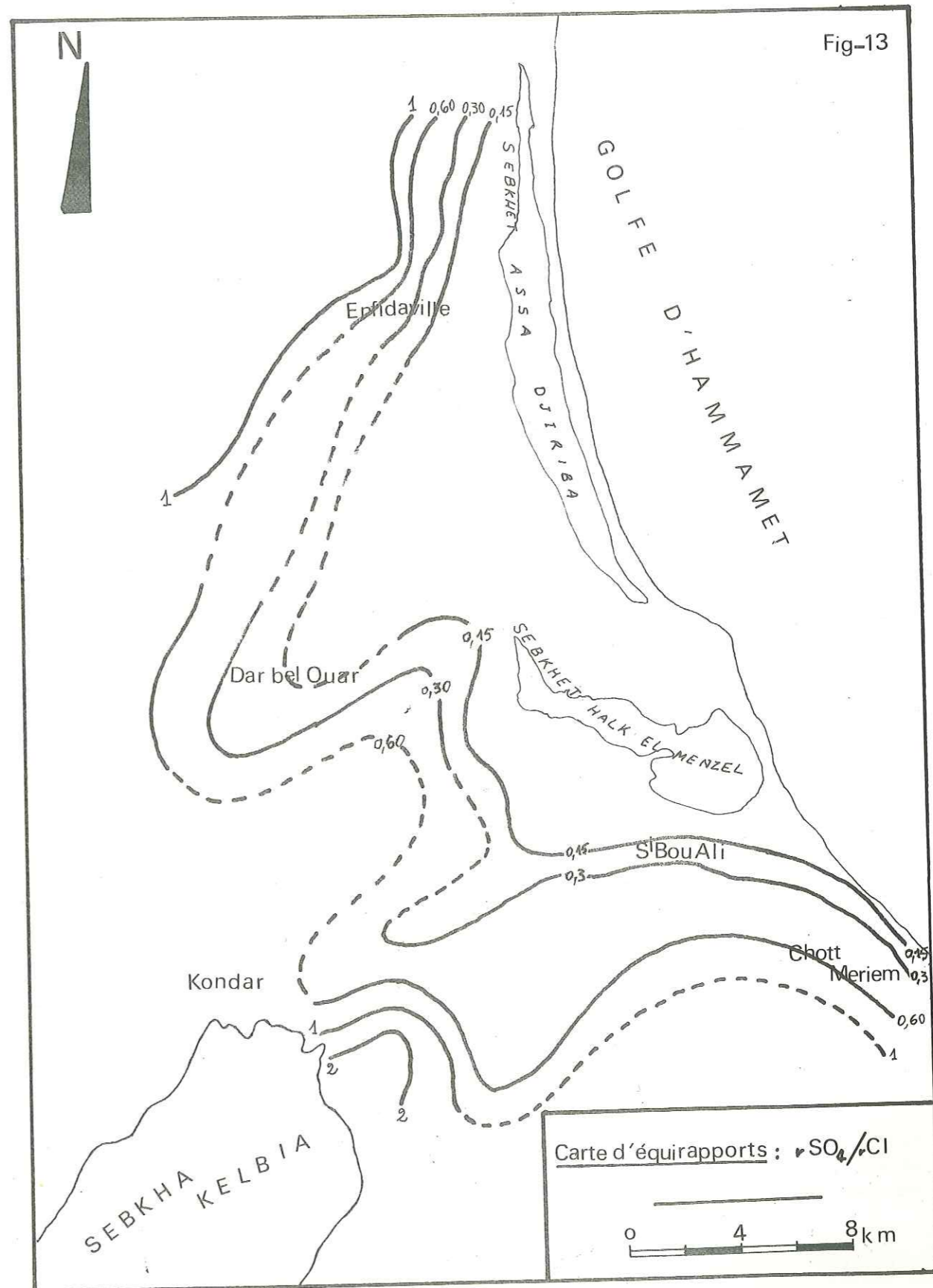
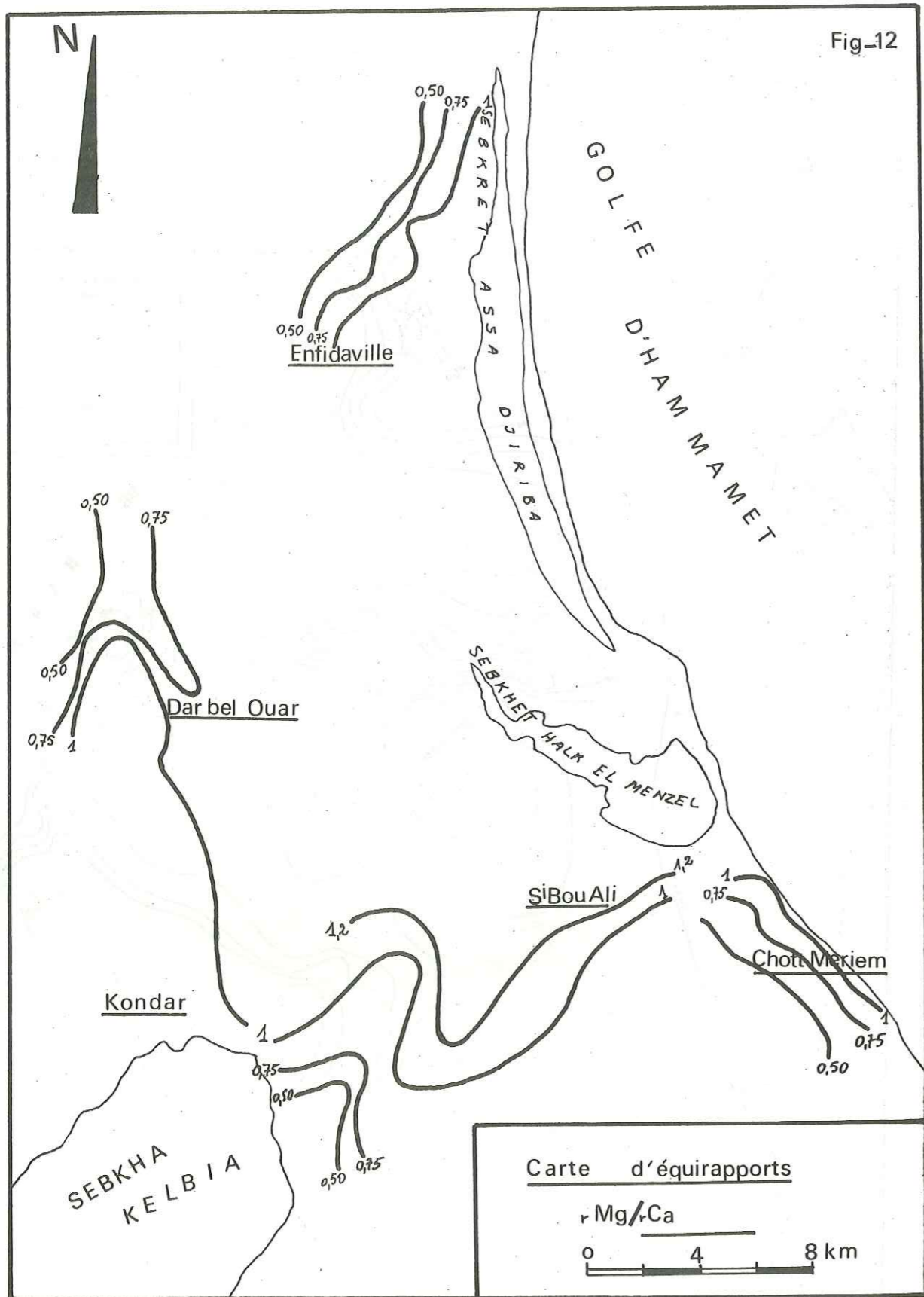
Dans la zone de Menzel Dar Bel Ouar, les courbes de salinité marquent bien l'apport des eaux de l'Oued Sidi AbdelKaoui à la nappe. C'est la percée d'eau douce dans les eaux chargées en sels de l'ancien Golfe d'Enfidaville - Sebkhia Kelbia qui matérialise l'alimentation de la nappe à partir des eaux de crues de l'Oued Sidi AbdelKaoui.

b) Alimentation de la nappe à partir de l'Oued el Khaïrat:

Bien que les eaux de crues de l'Oued el Khaïrat se perdent dès leur entrée dans la plaine, leur influence sur la nappe phréatique est encore importante jusqu'aux abords de la Sebkhia Assa Djiriba. Cette influence se manifeste









à partir des rapports r Mg/r Ca .Il nous a paru intéressant de matérialiser cette étude par le tracé des courbes d'équirapports r Mg/r Ca :0,50;0,75; 1 et 1,2.

L'allure générale des courbes de même rapport r Mg/r Ca montre qu'en général ce rapport augmente d'amont en aval.

Nous remarquons aussi l'augmentation de ce rapport aux abords des sebkhas où il y a une forte évaporation, ainsi que dans les zones où l'influence marine se fait sentir.

Dans ces zones nous avons un dépôt de CaSO<sub>4</sub> et de CaCO<sub>3</sub> ce qui nous conduit à des rapports supérieurs à 1.

5.1.4. CARTE D'EQUIRAPPORTS r SO<sub>4</sub>/r Cl (Fig. 13):

Nous avons tracé les courbes d'équirapports r SO<sub>4</sub>/r Cl : 0,15; 0,30;0,60 et 1.

L'allure générale des courbes montre une diminution du rapport r SO<sub>4</sub>/r Cl de l'amont vers l'aval qui peut être due à l'évaporation.

Les zones où ce rapport est égal ou inférieur à 0,15 correspondent à des zones riches en eaux chargées en NaCl, ces zones sont liées:

- Soit à une évaporation intense.
- Soit à l'invasion marine.

La courbe d'égal rapport 0,15 qui passe à Sidi Bou Ali montre bien la contamination de la nappe par les eaux chargées en sels de l'ancien Golfe d'Enfidaville - Sebkhâ Kelbia, ainsi que par les eaux salées de la Sebkhâ Halk el Menzel.

5.1.5 REPRESENTATION GRAPHIQUE DES ANALYSES

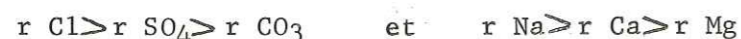
Pour la représentation graphique des analyses chimiques nous avons utilisé le diagramme logarithmique de Schoeller revu et adapté aux besoins du B.I.R.H (Bureau de l'Inventaire et des Recherches Hydrauliques) en 1952 par E. Berkloff.

On porte sur chaque ordonnée les résultats de l'analyse, c'est à dire le nombre de mg/l des ions Ca, Mg, Na, SO<sub>4</sub>, Cl et CO<sub>3</sub>, ainsi que les valeurs du degré hydrotimétrique et du ph et on joint ces points par des segments de droite.

Pour déterminer le ph d'équilibre, il suffit de tracer la droite joignant les points Ca et CO<sub>3</sub> du diagramme et de lire la valeur du ph d'équilibre à l'intersection de cette droite avec l'échelle ph d'équilibre (Si cette valeur est inférieure au ph mesuré sur l'échantillon, l'eau est incrustante, en cas contraire elle est agressive à l'égard du calcaire.).

Dans la zone d'Enfidaville, les eaux de la nappe phréatique sont chlorurées sodiques à sulfatées sodiques. (Diagrammes log. 1,2 et 3).

Les eaux chlorurées sodiques sont caractérisées par:



les eaux sulfatées sodiques sont caractérisées par:



- A Menzel Dar Bel Ouar, les eaux sont chlorurées sodiques (Diag. log 4)
- A Kondar, les eaux sont chlorurées sodiques et sulfatées sodiques (Diagrammes log. 5).
- A Sidi Bou Ali, les eaux sont chlorurées sodiques (Diag. log. 6 et 7)
- A Chott Meriem, les eaux sont chlorurées sodiques (Diag. log. 8 et 9).

5.1.6 CONCLUSION

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

- de préciser et délimiter les zones de l'alimentation de la nappe.
- de déceler la contamination de la nappe à Sidi Bou Ali aussi bien par les eaux salées de la Sebkhâ Halk el Menzel que par les eaux concentrées de l'ancien Golfe d'Enfidaville - Sebkhâ Kelbia.
- de montrer la nécessité de suivre l'évolution de la composition chimique des eaux de la nappe à Sidi Bou Ali où nous pensons qu'un nouvel équilibre s'établira dans un proche avenir après la généralisation ces dernières années de l'irrigation à partir des eaux du barrage de Nebhana.
- de mettre en évidence l'ancien Golfe d'Enfidaville - Sebkhâ Kelbia.

5 - 2 NAPPE PROFONDE

La nappe profonde est exploitée par une vingtaine de forages. La plupart sont localisés dans la cuvette de Sidi Abich où l'eau est de très bonne qualité.

Pour l'ensemble de la plaine, la qualité de l'eau se dégrade du nord au sud et de l'ouest à l'est. Pour montrer cette évolution nous avons porté sur un même diagramme logarithmique les analyses d'un groupe de forages appartenant à la même région naturelle mais où on peut déceler cette évolution.

Ainsi pour le groupe de Sidi Bou Ali (voir emplacements des forages sur la Fig. 9) le résidu sec au forage 5303/4 qui est égal à 1,92 g/l passe à plus de 4 g/l au forage 7986/4 alors que la distance qui les sépare est très courte. Le forage 5303/4 se trouve au nord de l'ancien Golfe d'Enfidaville - Sebkhâ Kelbia, alors que le forage 7986/4 se trouve déjà dans ce Golfe (D. log. 13).

Pour le groupe de forages de la Cuvette de Sidi Abich, l'eau est chlorurée sodique avec un résidu sec faible et qui reste inférieur à 1,5 g/l (Diagramme logarithmique 10).

Pour le groupe des forages d'Enfidaville, l'eau est chlorurée sodique avec un résidu sec qui varie de 1,3 g/l au forage 7816/4 à 1,8 g/l au forage 14038/4 situé plus au sud que le forage 7816/4 (D. Log. 11).

L'eau du groupe de forages de l'Oued el Khaïrat est chlorurée sodique avec un résidu sec variant de l'ouest à l'est de 1,2 g/l au forage 10437/4 à 2,7 g/l au forage 11153/4 (D. Log. 12).

L'eau est toujours chlorurée sodique pour le groupe de Sidi Bou Ali. Le résidu sec reste faible au forage 12706/4 situé sur les formations aquifères du Mio-pliocène analogue à celui de la Cuvette de Sidi Abich, il devient important au forage 7986/4 situé dans le domaine de l'ancien Golfe d'Enfidaville - Sebkhâ Kelbia. (D. Log. 13).

L'étude chimique des eaux de la nappe profonde de la plaine d'Enfidaville nous a permis:

- de déterminer la zone la plus intéressante pour l'exploitation par forages. C'est la Cuvette de Sidi Abich qui possède les meilleures eaux de la région. Ces eaux sont protégées contre l'invasion des eaux salées des sebkhas voisins par un épais écran formé par les marnes vidoboniennes qui assurent la fermeture de la Cuvette de Sidi Abich.

- de déceler la dégradation de la qualité de l'eau de la zone d'Aïn Garsi quand elle se déverse dans la nappe d'Enfidaville proprement dite.

### 5 - 3 TENEUR EN TRITIUM DES EAUX

#### 5.3.1. GENERALITES

Les isotopes du milieu en hydrologie.

a) Les isotopes du milieu: Les isotopes du milieu d'origine naturelle ou artificielle, sont présents dans les eaux naturelles dans des proportions variables qui dépendent de processus naturels qui ne peuvent pas être contrôlés par l'Homme.

Les isotopes normalement utilisés en hydrologie sont:

E L E M E N T	I S O T O P E	A B O D A N C E Moyenne Naturelle	P E R I O D E
HYDROGENE	<sup>1</sup> H	99,985 %	Stable
	<sup>2</sup> H = Deutérium	0,015 %	Stable
	<sup>3</sup> H = Tritium		12,26 ans
CARBONE	<sup>12</sup> C	98,89 %	Stable
	<sup>13</sup> C	1,11 %	Stable
	<sup>14</sup> C		5730 ans
OXYGENE	<sup>16</sup> O	99,76 %	Stable
	<sup>17</sup> O	0,04 %	Stable
	<sup>18</sup> O	0,20 %	Stable

Le tritium et le carbone sont formés dans l'atmosphère par interaction avec les rayons cosmiques. A partir de 1953, ils ont été formés aussi dans les explosions nucléaires.

#### b) Le tritium:

- Unité de concentration: La teneur en tritium des eaux naturelles est exprimée en unités tritium (U.T). Une unité tritium correspond à une teneur de un atome de tritium pour 10<sup>18</sup> atomes d'hydrogènes.

La teneur en tritium est mesurée avec des compteurs proportionnels, en phase gazeuse ou liquide. La valeur minimale qu'on peut déceler est normalement de 1 à 2 U.T.

- Variations dans les précipitations: A partir de 1953, époque à laquelle les explosions thermo-nucléaires ont commencé, une quantité énorme de tritium artificiel a été injectée dans l'atmosphère. Par conséquent, dans l'hémisphère nord, la teneur en tritium des précipitations est passée de 10 U.T à 5000 - 10000 U.T en 1963 - 64, et après cette date la teneur en tritium a commencé à décroître plus ou moins régulièrement à la suite de la suspension des explosions.

Durant les années 1970 - 1972 les précipitations dans l'hémisphère nord ont montré des teneurs en tritium variant de 300 à 100 U.T, et l'influence marine qui se traduit par des teneurs en tritium plus proches de la teneur moyenne des eaux océaniques qui est de l'ordre de 58 U.T, peut parfois devenir importante et il semble que c'est le cas dans notre région voisine de la Méditerranée d'où proviennent les principales précipitations.

- Variations dans les eaux souterraines: A cause de sa période assez courte et de la faiblesse de sa concentration dans les précipitations avant 1953 le tritium n'est présent en quantité décelable que dans les eaux souterraines récentes ou qui contiennent une fraction importante d'eaux récentes.

L'Agence Internationale à l'Energie Atomique a établi en gros la règle pratique suivante:

1) Si la teneur est inférieure à 3 - 5 U.T, l'eau date d'avant 1953.

2) Si la teneur en tritium est supérieure à 20 U.T, la composante récente est prépondérante.

3) Si la teneur est comprise entre 5 et 20 U.T, une fraction importante d'eau récente est présente, mélangée avec de l'eau ancienne.

#### 5.3.2. MESURES

Quatre échantillons ont été prélevés dans la plaine d'Enfidaville:

#### a) Dans la nappe superficielle:

- Au puits 8234/4 de M. Med B. Aguil Ben Salah à Enfidaville.
- Au puits 8580/4 d'Ouled Souguir à Es Sed nord (Sidi Bou Ali).

#### b) Dans la nappe profonde:

- Au forage 6746Bis/4: Sidi Abich 1 (Cuvette de Sidi Abich).
- Au forage 12706/4 : Sidi Bou Ali 5 (Es Sed sud).

Le dosage du tritium pour ces 4 échantillons par le Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon-Les Bains a donné une valeur inférieure à 8 U.T sans qu'on puisse préciser la valeur exacte de ces échantillons.

#### 5.3.3. CONCLUSION

D'après les résultats de ce dosage, la fraction d'eau récente dans les nappes de la plaine d'Enfidaville serait de l'ordre de 10 à 15 %. Autrement dit la recharge des nappes à partir de l'infiltration directe des eaux météoriques serait faible.

6. EVALUATION DES RESSOURCES EXPLOITABLES

Généralités.

Nous essayerons d'évaluer les ressources en eaux souterraines exploitables de la plaine d'Enfidaville d'après les résultats obtenus des études sur l'écoulement de la nappe phréatique sur l'alimentation des nappes phréatique et profonde et sur le remplissage mio-pliocène de la plaine.

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

6 - 1 EXPLOITATION ACTUELLE

Les eaux souterraines de la plaine d'Enfidaville sont surtout exploitées pour satisfaire les besoins croissants en eau d'irrigation du vaste domaine de l'Agro-combinat d'Enfidaville qui possède la majorité des terres agricoles de la plaine.

6.1.1. NAPPE PHREATIQUE

730 puits de surface existent actuellement dans la plaine d'Enfidaville.

166 puits servent à l'irrigation et à l'alimentation humaine et animale, leur équipement est variable, la plupart sont équipés par des moto-pompes et des dalous.

114 puits servent uniquement à l'alimentation humaine et animale, ils ne sont pas équipés. Le puisage s'effectue au seau.

462 puits sont inutilisés dont la plupart sont abandonnés pour diverses raisons (non équipement du puits, faible rentabilité, qualité médiocre de l'eau ...).

Le débit exploité varie d'une zone à une autre:

a) Dans la zone d'Enfidaville: nous avons une exploitation de l'ordre de 50 l/s en débit fictif continu.

b) Dans la zone de Menzel Dar Bel Ouar - Sidi Bou Ali: l'exploitation est de l'ordre de 30 l/s.

c) Dans la zone de Chott Meriem: l'exploitation est de l'ordre de 10 l/s.

d) Dans la zone de Kondar et les Collines de Kalâa Kébira: l'exploitation est de l'ordre de 20 l/s.

Ainsi le volume total exhauré des puits de la nappe phréatique est égal à  $3,7.10^6$  m<sup>3</sup>/an.

6.1.2. NAPPE PROFONDE

20 forages exploitent actuellement la nappe profonde d'Enfidaville.

6 forages sont localisés dans la Cuvette de Sidi Abich, leur eau sert essentiellement pour l'irrigation.

6 autres forages sont répartis le long du cours de l'Oued el Khaïrat. Les deux forages d'Aïn Garsi fournissent de l'eau pour l'alimentation d'Enfidaville et de la Station Thermale et d'Eau Minérale, et l'Usine de Pepsi Cola à Aïn Garsi.

Le troisième groupe de forages fournit de l'eau pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable d'Enfidaville.

Les forages du quatrième groupe fournissent de l'eau pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable des agglomérations d'Es Sed sud (Sidi Bou Ali), Belalma et Akkara.

Au total, l'exploitation de la nappe profonde est égale à un débit de l'ordre de 100 l/s en débit fictif continu qui correspond à un volume de  $3,3.10^6$  m<sup>3</sup>/an.

Le détail de l'exploitation par forages est consigné dans le tableau suivant:

Nom du FORAGE	Numéro B. I. R. H	1 9 7 1		1 9 7 2	
		Exploitation en m <sup>3</sup> /an	Débit. Fict en l/s	Exploitation en m <sup>3</sup> /an	Débit. Fict en l/s
CHEGARNIA	! 10932/4	! 87275	! 2,90	! 120269	! 4,00
SIDI ABICH 1	! 6744bis/4	! 261557	! 8,75	!	!
SIDI ABICH 2	! 6745/4	! 32740	! 1,00	!	!
SIDI ABICH 3	! 6746bis/4	! 279520	! 9,00	! 56100	! 1,80
SIDI ABICH 4	! 7964/4	! 294610	! 9,80	! 71020	! 2,30
R'MILL 2	! 8177bis/4	! 38267	! 1,20	! 43940	! 1,40
AIN Garsi 1	! 10437/4	! 184580	! 6,30	! 131870	! 4,30
AIN Garsi 2	! 10900/4	! 11655	! 0,30	! 63160	! 2,00
ENFIDA 1	! 11152/4	! 46678	! 1,50	! 11098	! 0,35
ENFIDA 2	! 11153/4	! 78900	! 2,60	! 20456	! 0,65
ENFIDA 3	! 11295/4	! 399350	! 13,30	! 839644	! 28,50
SIDI N'CIR	! 11586/4	! 48825	! 1,60	! 55145	! 1,80
ENFIDA 4	! 7816/4	! 59206	! 1,90	! 90647	! 3,00
Enfida 5	! 11487/4	! 39770	! 1,30	!	!
S N I	! 14038/4	! 489998	! 16,20	! 710500	! 22,50
SANIET KHELIFA	! 5303/4	! 103373	! 3,30	! 97024	! 3,25
CADIX	! 7986/4	! 298668	! 9,70	! 258300	! 8,40
BELALMA	! 8168bis/4	!	!	! 5866	! 0,20
SIDI BOU ALI 5	! 12706/4	!	!	! 37152	! 1,17
CENT. HACHED	! 8939/4	! 62253	! 2,00	! 49175	! 1,70

Le volume total de l'exploitation actuelle des eaux souterraines de la plaine d'Enfidaville s'élève à  $7.10^6$  m<sup>3</sup> /an soit 210 l/s en débit fictif continu.

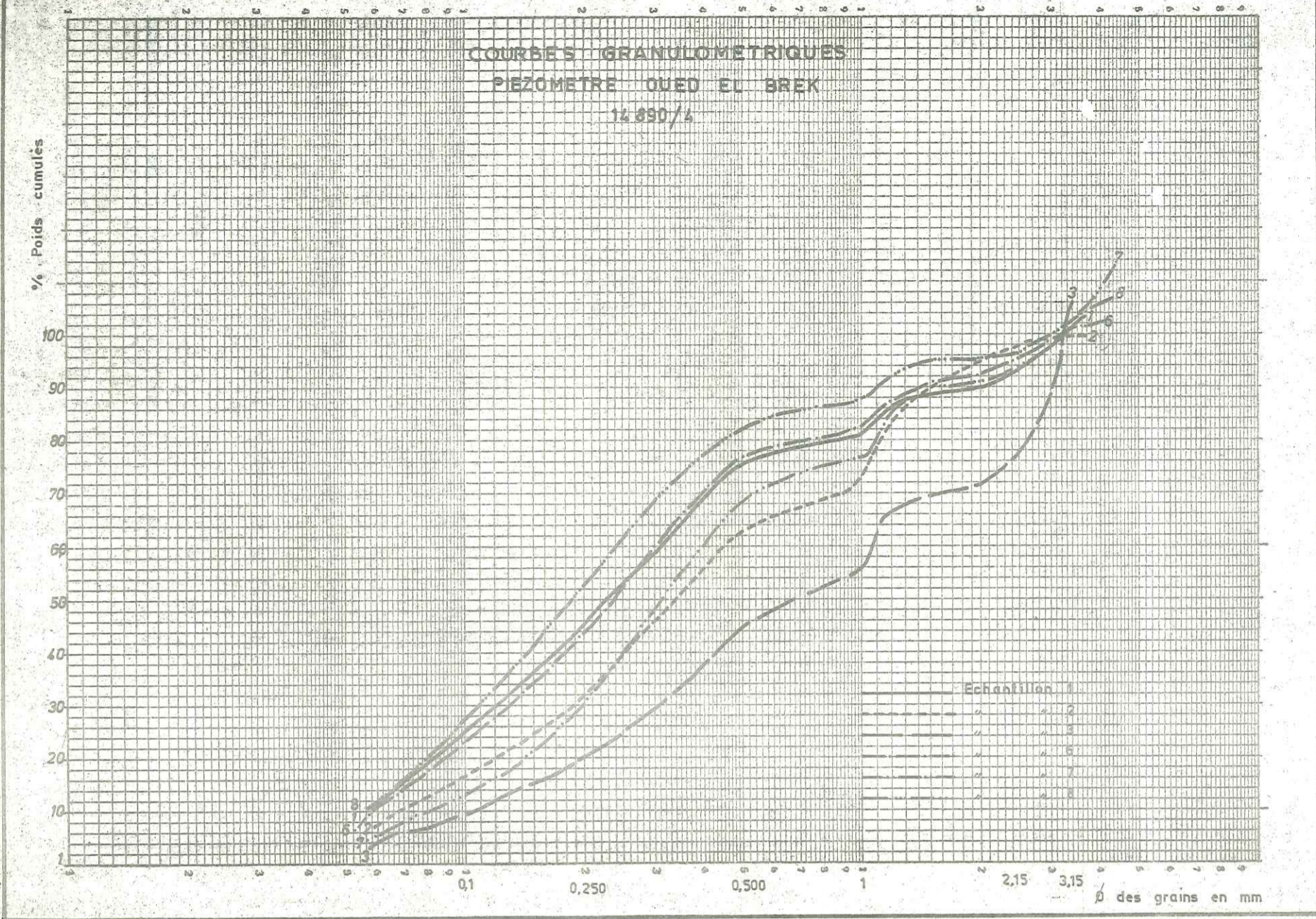
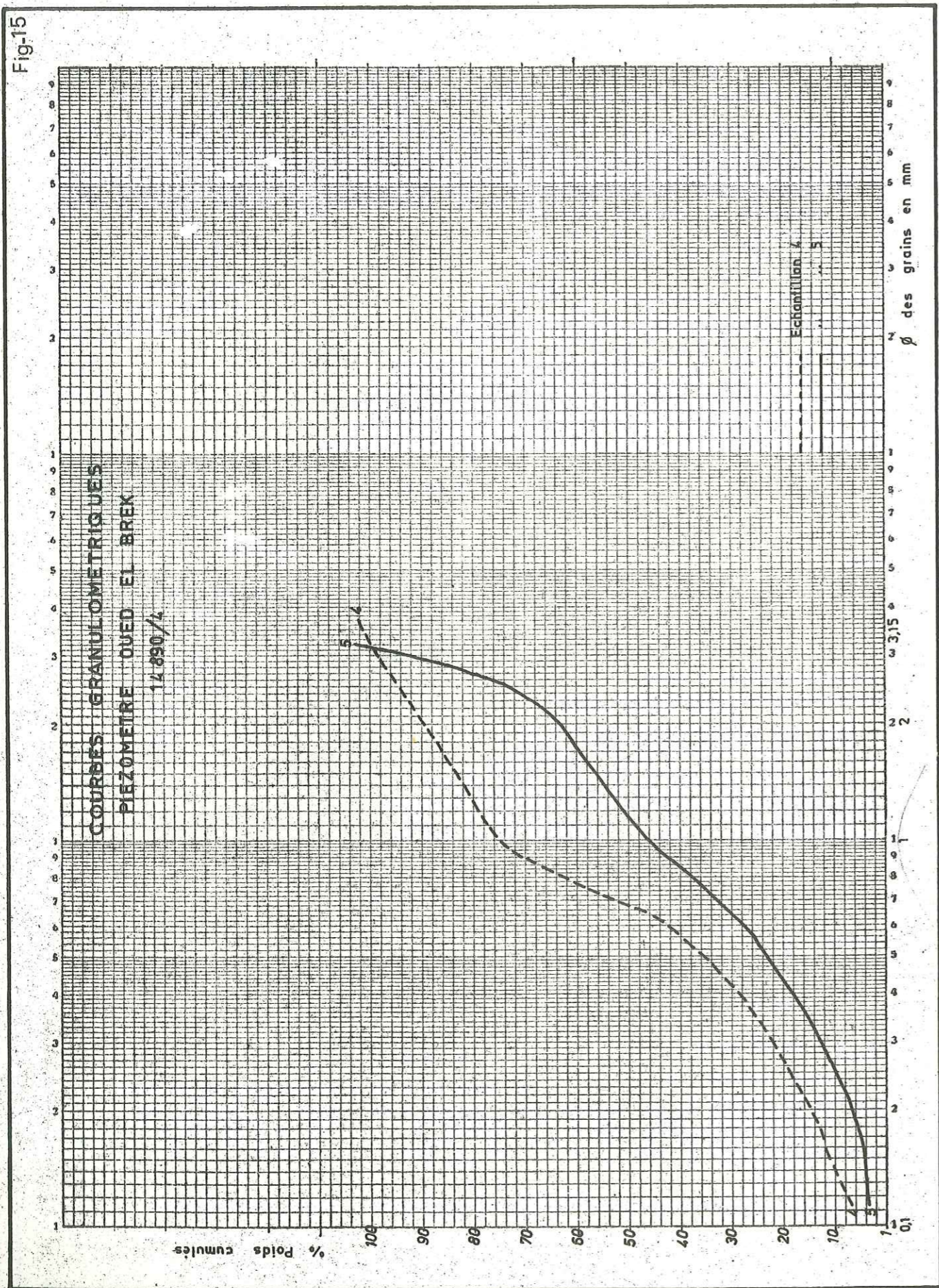


Fig-15



Profondeur du niv. et son numéro	33-40 ! 1	49-56 ! 2	81-88 ! 3	93-96 ! 4	113-116 ! 5	121-128 ! 6	132-136 ! 7	Hergla ! 8
Diamètre 40 % mm	0,17	0,26	0,43	0,56	0,84	0,18	0,25	0,14
Diamètre 90 % mm	2,00	1,60	3,00	2,00	2,90	1,50	1,60	1,15
Diamètre 75 % mm	0,48	1,10	2,30	1,00	2,55	0,46	0,75	0,36
Diamètre 25 % mm	0,10	0,16	0,25	0,34	0,54	0,105	0,165	0,09
Diamètre 50 % mm	0,23	0,34	0,66	0,68	1,15	0,23	0,33	0,18
Coeffic. Catégorie	2,20	2,60	3,04	1,70	2,20	2,10	2,14	1,99
Qd $\phi$	1,15	1,40	1,60	0,80	1,14	1,10	1,05	1,00
Hétérométrie: Hé	1,10	1,70	0,50	0,55	0,35	1,00	1,20	1,00

La détermination du  $d_{10}$  (correspondant au diamètre de l'ordonnée 90 %) sur les courbes granulométriques nous a permis le calcul de la perméabilité par la formule d'Allen - Hazen:

$$K = 100 \cdot d_{10}^2$$

$d_{10}$  exprimé en cm

K : exprimée en cm/s.

Avec l'épaisseur de chacun des niveaux où a été effectué le prélèvement nous pouvons calculer la transmissivité qui est égale à :

$$T = K \cdot e$$

T : la transmissivité en  $m^2/s$ .

K : la perméabilité en m/s.

e : l'épaisseur du niveau en m.

Pour chacun des niveaux nous avons obtenu une valeur de la transmissivité comme le montre le tableau suivant :

Prof. du niveau et son numéro	33-40 ! 1	49-56 ! 2	81-88 ! 3	93-96 ! 4	113-116 ! 5	121-128 ! 6	132-136 ! 7	Hergla ! 8
Diamètre 90 % $d_{10}$	0,20	0,16	0,30	0,20	0,29	0,15	0,16	0,115
Perméab. K en cm/s	4	2,55	9	4	8,40	2,25	2,55	1,32
Epaisseur: e en m	8	8	8	4	4	8	5	4
Transm. T: en $m^2/s$	$32 \cdot 10^{-2}$	$20,4 \cdot 10^{-2}$	$72 \cdot 10^{-2}$	$16 \cdot 10^{-2}$	$33,6 \cdot 10^{-2}$	$18 \cdot 10^{-2}$	$12,7 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$

La valeur moyenne de la perméabilité calculée par cette méthode est de l'ordre de  $4,28 \cdot 10^{-2}$  m/s. La valeur moyenne de la transmissivité déduite par cette méthode est de l'ordre de  $25 \cdot 10^{-2}$   $m^2/s$ .

### 6.2.2. ESSAIS DE POMPAGE

Lors de chaque mise en service d'un forage, le Service Hydrogéologique procède à un essai de pompage sur celui-ci. C'est ainsi que plusieurs essais de pompage ont été effectués sur un certain nombre de forages de la région.

Les forages de la Cuvette de Sidi Abich (6744 bis/4, 6745/4 et

6746 bis/4) ont fait l'objet d'essais de pompage qui ont duré en moyenne 24 à 36 heures. D'autres essais de durée analogue ont été effectués sur les forages:

- 11487/4 : Enfida 5
- 10437/4 : Ain Garsi 1
- 11152/4 : ENFIDA 1
- 11295/4 : Enfida 3
- 12706/4 : Sidi Bou Ali 5

La transmissivité a été déterminée pour tous les forages par la méthode de Theis lors de l'abaissement du niveau statique. A la remontée, la transmissivité a été déterminée pour certains forages seulement comme le montre le tableau ci-dessous.

La présence d'un piézomètre proche du forage 11295/4 a permis la détermination du coefficient d'emménagement S de l'aquifère de la nappe profonde.

Nom du Forage	N° B.I.R.H	T en m <sup>2</sup> /s	S en %	Observations.
SIDI ABICH 1	6744 bis/4	6,3.10 <sup>-3</sup>	-	Abaissement
		5,5.10 <sup>-3</sup>	-	Remontée
SIDI ABICH 2	6745/4	8,9.10 <sup>-5</sup>	-	Abaissement
SIDI ABICH 3	6746 bis/4	3.10 <sup>-3</sup>	-	Abaissement
ENFIDA 5	11487/4	1.10 <sup>-3</sup>	-	Abaissement
AIN GARSİ 1	10437/4	1.10 <sup>-2</sup>	-	Abaissement
ENFIDA 1	11152/4	9.10 <sup>-3</sup>	-	Ab. nappe superfic.
ENFIDA 3	11295/4	1,2.10 <sup>-2</sup>	0,15	Abaissement
SIDI BOU ALI 5	12706/4	1,7.10 <sup>-4</sup>	-	Abaissement

Pour le calcul des volumes des différentes ressources en eaux souterraines de la plaine d'Enfidaville, nous adopterons les valeurs suivantes:

- la porosité efficace :  $m_e = 3.10^{-2}$  (Nappe Superficielle)
- du coefficient d'emménagement :  $S = 1,5.10^{-3}$  (Nappe Profonde)
- de la transmissivité :  $T = 9.10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s (Nappe Superficielle)

Ces valeurs nous paraissent plus proches de la réalité que celles déduites de l'étude granulométrique.

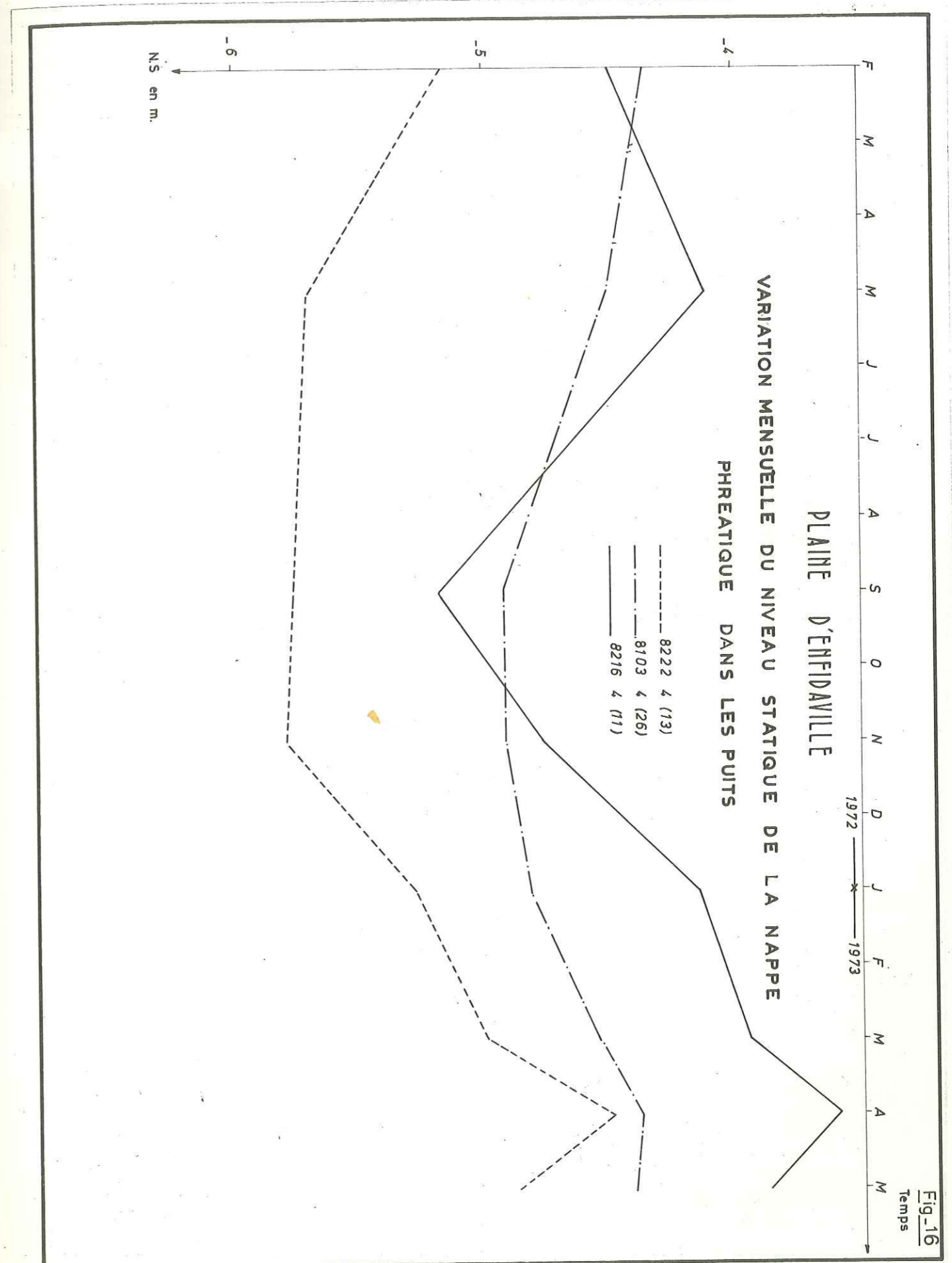
### 6.2.3. FLUCTUATIONS DU NIVEAU DE LA NAPPE PHREATIQUE

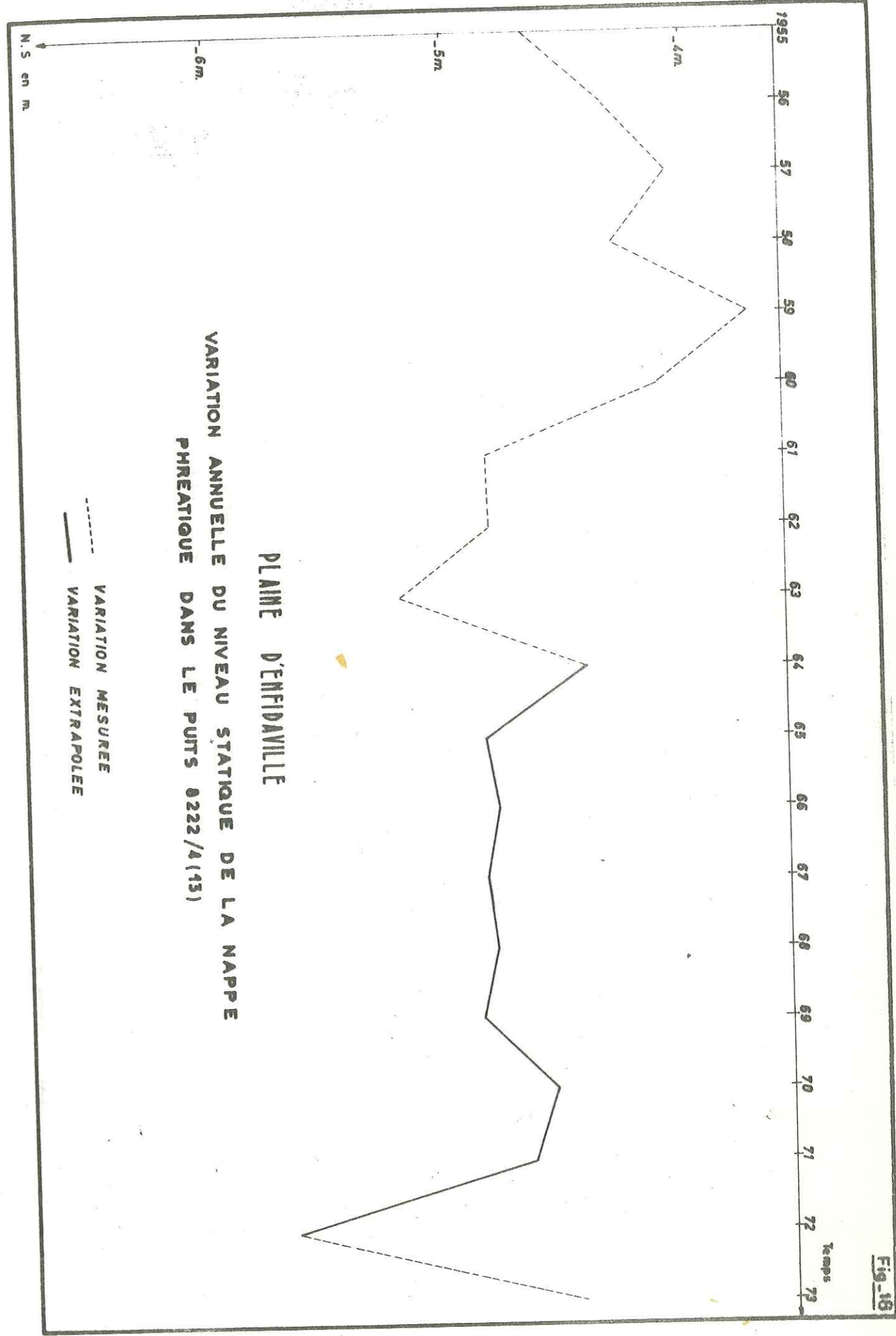
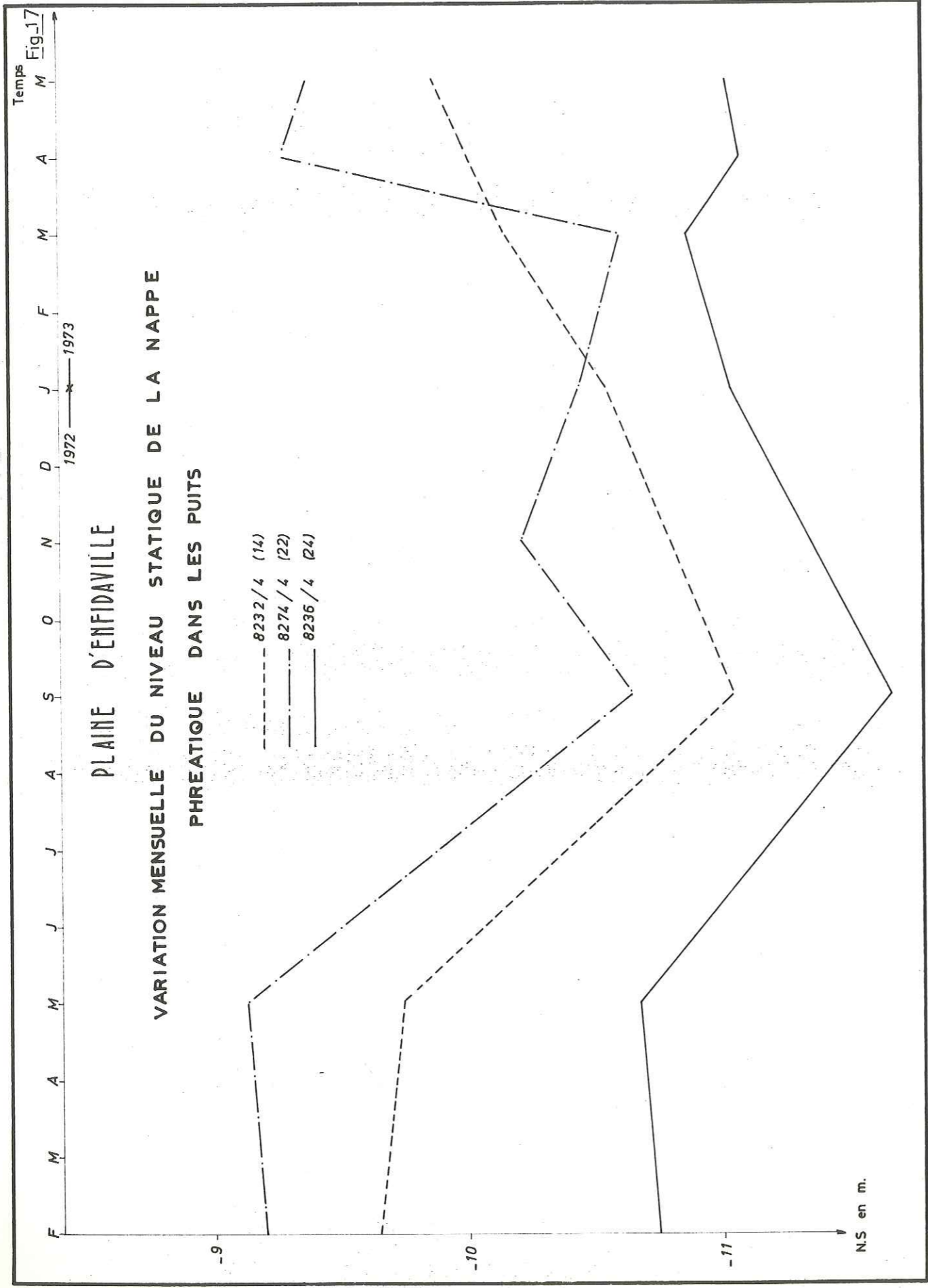
La moyenne arithmétique de la variation du plan d'eau de la nappe phréatique entre Novembre 1972 (Basses eaux) et Mai 1973 (Hautes eaux), obtenue sur 167 puits de surface est de : 40 cm.

Cependant cette variation n'est pas uniforme.

- Les variations les plus faibles sont localisées dans la zone de Kondar. La variation moyenne est de 18 cm.

- Les variations les plus fortes ont été enregistrées dans les zones de Chott Meriem et d'Enfidaville. La variation moyenne est de 50 cm.





- Les variations moyennes se trouvent dans la zone de Sidi Bou Ali - Menzel Dar Bel Ouar.

La carte d'équibattement qui fait l'objet de la planche 11 a été établie à partir des valeurs de la variation du plan d'eau de la nappe phréatique. Cette carte nous montre la forte variation du plan d'eau dans la zone d'Enfidaville où elle atteint par endroits 100 cm. Dans la région de Chott Meriem, la variation du plan d'eau atteint 60 cm. A Sidi Bou Ali et Menzel Dar Bel Ouar, la variation du plan d'eau ne dépasse pas les 50 cm.

La variation mensuelle du niveau statique de la nappe phréatique représentée sur les figures 16 et 17, montre un niveau bas bien marqué au mois de septembre qui correspond aux basses eaux de la nappe et un pic bien marqué aussi au mois de Mai qui correspond aux hautes eaux de la nappe.

La variation annuelle du niveau statique de la nappe phréatique est tributaire de la variation pluviométrique de la région. Si l'on compare la variation annuelle de la pluviométrie à celle du niveau statique de la nappe phréatique nous remarquons une corrélation presque parfaite entre les deux graphiques (Fig. 3 et 18). En effet les années de forte pluviosité : 1958-59 1963-64 et 1972-73 correspondent aux pics de variations du niveau statique de la nappe phréatique en Avril de 1959, de 1964 et de Mai 1973.

L'étude des fluctuations du niveau statique de la nappe phréatique nous a permis :

- de mettre en évidence la relation existant entre la variation du plan d'eau de la nappe et la variation de la pluviométrie (Comparaison des figures 3 et 18).

- de déceler une bonne corrélation entre la transmissivité et les variations du plan d'eau de la nappe à partir de la carte d'Equibattement (Pl. 11).

#### 6.2.4. LES RESSOURCES REGULATRICES

C'est le volume d'eau qui passe au cours d'une année au dessus du niveau le plus bas de la nappe. Il joue donc le rôle de régulateur du débit de toute la nappe. Ce volume est donné par :

$$V_r = A \cdot h \cdot m_e$$

A : Superficie de la plaine d'Enfidaville elle est égale à  $1000 \text{ Km}^2 = 1000 \cdot 10^6 \text{ m}^2$  (les sebkhas non comprises)

h : Valeur de la variation du plan d'eau  
h = 40 cm.

$m_e$  : Valeur de la porosité efficace de l'aquifère.  $m_e = 3 \cdot 10^{-2} = 3 \%$

$$V_r = 12 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an.}$$

#### 6.2.5. LES RESERVES PERMANENTES

C'est le volume d'eau emmagasinée au-dessous de la zone de fluctuations de la surface de la nappe phréatique. Il comprend 2 parties :

- le volume d'eau de la nappe superficielle non affectée par les fluctuations.
- le volume d'eau de la nappe profonde.

La puissance moyenne de la nappe superficielle d'après la profondeur des niveaux aquifères rencontrés lors de l'exécution des sondages de

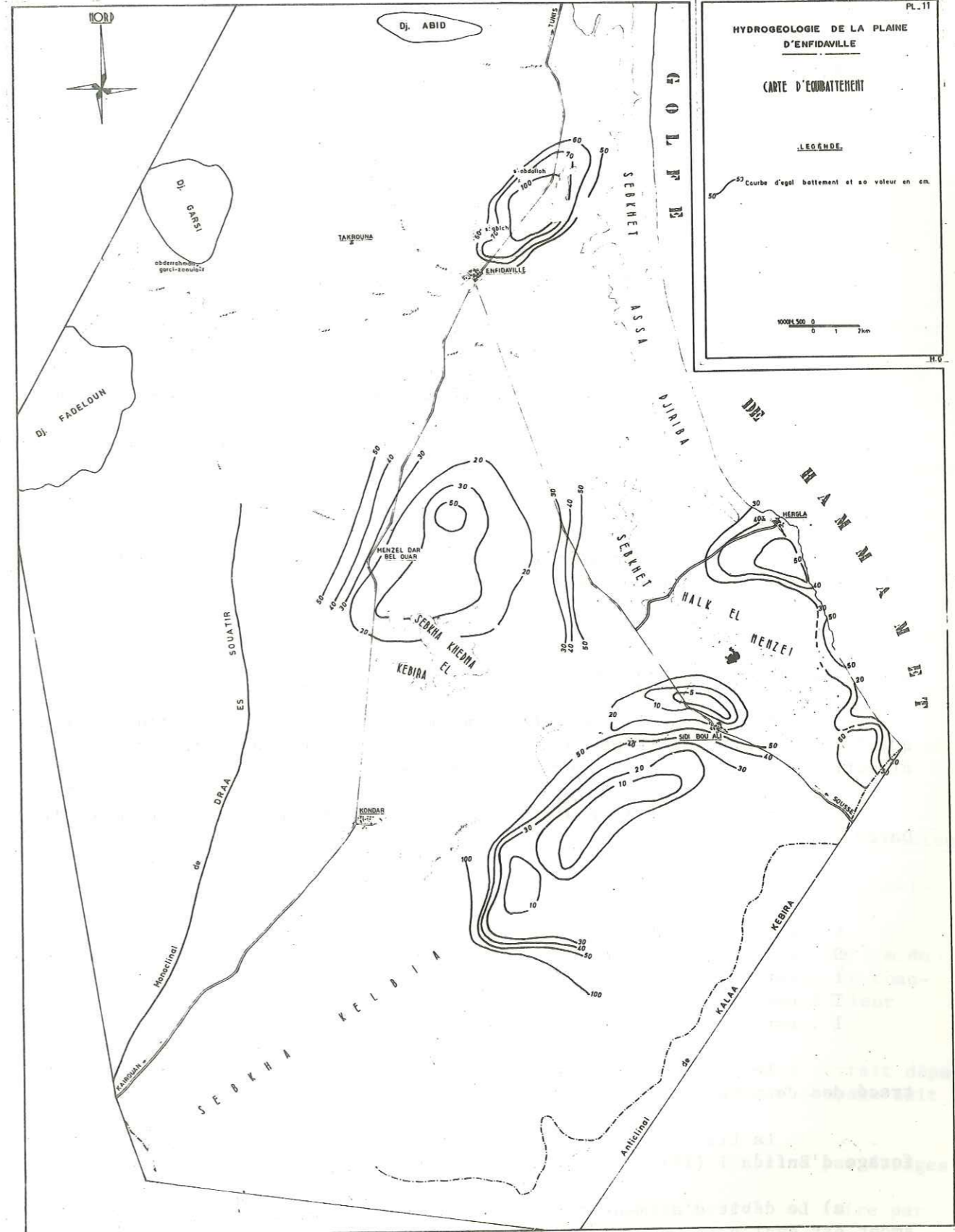


HYDROGEOLOGIE DE LA PLAINE D'ENFIDAVILLE

CARTE D'EQUILIBRE

LEGENDE

— Courbe d'egal battement et sa valeur en cm.



de reconnaissance est de 20 m.

a) Le volume d'eau intéressant la nappe superficielle :

$V_1 = A \cdot h_1 \cdot m_e$

A : Superficie de la plaine.  $A = 1000 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ .  
 $h_1$ : Epaisseur de la nappe non affectée par les fluctuations de la nappe.  
 $h_1 = h - 0,40 = 20 - 0,40 = 19,60$  .  
 $m_e$ : porosité efficace de l'aquifère.  
 $m_e = 3 \cdot 10^{-2}$  .

$V_1 = 588 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  .

b) Le volume intéressant la nappe profonde :

$V_2 = A_2 \cdot h_2 \cdot S$

$A_2$ : Superficie intéressant la nappe profonde où elle est la plus intéressante à exploiter.  $A = 300 \cdot 10^6 \text{ m}^2$  .  
 $h_2$ : Puissance moyenne de la nappe profonde.  
 $h_2 = 30 \text{ m}$ .  
S : Coefficient d'emménagement de l'aquifère  
 $S = 1,5 \cdot 10^{-3}$ .

$V_2 = 13,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  .

Les réserves permanentes d'eaux souterraines de la plaine d'Enfidaville seraient donc égales à :

$V_p = V_1 + V_2$  d'où  $V_p = 600 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

6.2.6. LES RESERVES DYNAMIQUES

C'est le débit de l'écoulement souterrain qui correspond à la quantité d'eau qui passe par une section de l'horizon aquifère, normale à la direction du mouvement des eaux souterraines.

Le débit de l'écoulement souterrain est donné par la formule de Darcy :

$Q = K \cdot S \cdot i$   
 $= T \cdot l \cdot i$

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

Le gradient hydraulique i est donné de façon précise d'après le tracé des deux cartes piézométriques.

La transmissivité est déterminée par l'essai de pompage sur le forage d'Enfida 1 (11152/4) qui a intéressé la nappe phréatique superficielle.

a) Le débit d'alimentation de la nappe phréatique à travers la section amont est égal à :

$Q_{am} = T \cdot l_1 \cdot i$

T : la transmissivité égale à  $9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .  
 $l_1$  : la longueur de la section amont  
 $l_1 = 50 \text{ Km} = 50 \cdot 10^3 \text{ m}$ .  
i : le gradient hydraulique égal à  $2 \cdot 10^{-3}$ .

$Q_{am} = 900 \text{ l/s}$  soit  $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ .

b) Le débit de la nappe phréatique à travers la section aval est :

$Q_{av} = T \cdot l_2 \cdot i$

T : la transmissivité égale à  $9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .  
 $l_2$  : la longueur de la section aval.  
 $l_2 = 30 \text{ Km} = 30 \cdot 10^3 \text{ m}$ .  
i : le gradient hydraulique égal à  $2 \cdot 10^{-3}$ .

$Q_{av} = 540 \text{ l/s}$  soit  $18 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ .

6 - 3 C O N C L U S I O N

Si nous considérons l'exploitation actuelle qui est égale à  $7 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ , nous pouvons dire qu'elle est largement satisfaite par les réserves régulatrices qui sont égales à  $12 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ . Mais il faut noter que ces  $12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  correspondent à une année à forte pluviosité, c'est pourquoi nous pensons que le débit exploitable des nappes devrait être de l'ordre de 300 l/s qui correspond à  $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ .

D'autre part nous notons qu'il existe actuellement un nombre important de puits inutilisés (400 puits environ) qui pourraient être équipés dans un proche avenir et augmenteraient sensiblement l'exploitation actuelle. Cette exploitation risque de dépasser les  $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  soit 600 l/s c'est à dire le double de ce que nous considérons comme débit optimal d'exploitation.

Le tableau de l'exploitation de la nappe profonde par forages montre un accroissement de l'exploitation de 1971 à 1972, elle passe de 80 l/s environ en 1971 à 90 l/s environ en 1972. Cet accroissement est légèrement supérieur à 10 % .

Si l'on ajoute à l'accroissement de l'exploitation par forages l'augmentation probable de l'exploitation par puits de surface nous remarquons qu'il faudrait prévoir un débit d'exploitation limite des eaux souterraines de la plaine d'Enfidaville.

Ce débit d'exploitation limite doit être dans tous les cas inférieur à 900 l/s soit  $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ , sinon les conséquences qui en découleraient seraient très graves et altèreraient sérieusement la qualité des eaux souterraines de la plaine d'Enfidaville.

En effet les  $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  entraîneraient un abaissement de 1 m du niveau piézométrique de la nappe phréatique ce qui se traduirait par un changement du sens de l'écoulement des eaux souterraines, entraînant ainsi leur pollution par les eaux salées des sebkhas voisins.

En aucun cas ce débit d'exploitation supplémentaire ne devrait dépasser le chiffre de 500 l/s et ceci sous la réserve expresse que le pompage soit réalisé dans les zones favorables :

- 1) La zone d'Aïn Garsi : où l'exploitation devrait se faire par forages.
- 2) La zone de Sidi Fathallah : où l'exploitation devrait se faire par puits de surface.

7. ESSAI DE BILAN HYDROLOGIQUE

Le calcul du bilan hydrologique est fait pour l'année moyenne type, car les années 1971-72 et 1972-73 sont des années à pluviosité exceptionnelle.

L'équation classique d'un bilan hydrologique s'écrit :

$P = E + R + I$  où P est la pluviométrie moyenne annuelle en mm,  
 E est l'évapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm,  
 I est l'infiltration moyenne annuelle en mm,  
 R est le ruissellement moyen annuel en mm.

7 - 1 PLUVIOMETRIE

Elle est mesurée dans les nombreuses stations de la plaine d'Enfidaville, Elle est égale à 370 mm pour les 70 dernières années.

7 - 2 EVAPOTRANSPIRATION

Comme nous l'avons vu plus haut la formule de Coutagne paraît la mieux adaptée à notre région et :

$E = P - \lambda P^2$  où E et P sont exprimés en mètres.

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

T = 19,2°C, c'est la température moyenne annuelle pour 50 années de mesures à la station météorologique d'Enfidaville

P = 370 mm, la pluviométrie moyenne annuelle.

$E = 333 \text{ mm}$

7 - 3 RUISSÈLEMENT

La détermination du ruissellement est déduite de la formule :

$R = \frac{P^3}{3}$  du B.I.R.H, établie par Berkaloff - Tixeront en 1961.

R : est le ruissellement moyen annuel exprimé en mètres.  
P : est la pluviométrie moyenne annuelle exprimée en m.

Pour la détermination de la formule qui donne le ruissellement moyen annuel, Berkaloff et Tixeront ont fait le raisonnement suivant :

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

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

vers zéro.

Soit R : le ruissellement exprimé en mètres de la tranche d'eau annuelle écoulee uniformément répartie sur la superficie du bassin considéré.

P : la pluviométrie annuelle moyenne en mètres.

E : l'évapotranspiration potentielle en m/an.

La courbe la plus simple qui satisfait ces conditions est une courbe hyperbolique de formule :

$R = \sqrt[n]{P^n + E^n} - E$  (1)

Quelle valeur choisir pour le coefficient n ? Berkaloff et Tixeront admettent que le coefficient doit être déterminé par ajustement avec les résultats d'observations des bassins tunisiens connus. Il semble que pour la Tunisie, la meilleure valeur soit n = 3.

La formule (1) devient alors :  $R = \sqrt[3]{P^3 + E^3} - E$  (2)

L'évapotranspiration potentielle a été calculée pour la Tunisie d'après la formule de Thornthwaite par Préciozi (1954), elle donne un ordre de grandeur de E qui varie de 0,800 m à 1,200 suivant la situation du bassin envisagé, ou 1 mètre en moyenne.

Il est à remarquer qu'en développant l'expression (2) en série limitée à ses premiers termes, on obtient :

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

$\theta$  étant un coefficient compris entre zéro et un.

En s'en tenant au premier terme du développement, on approxime :

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

L'erreur en résultant est inférieure à 10 % pour les bassins à pluviométrie inférieure à 600 mm. Autrement dit elle est inférieure à celle résultant d'une imprécision de 4 % sur la hauteur moyenne des précipitations prise en considération.

Pour Enfidaville, on a  $E \approx 1 \text{ m}$ . d'où  $R = \frac{P^3}{3}$

Application numérique :

$P = 370 \text{ mm} = 0,370 \text{ m}$  d'où  $R = 17 \text{ mm}$ .

7 - 4 INFILTRATION

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

$P = E + R + I$

par sa valeur, nous obtenons la valeur de l'infiltration :

$P = 370 \text{ mm}$   
 $E = 333 \text{ mm}$  d'où  $I = 20 \text{ mm}$   
 $R = 17 \text{ mm}$

Les 20 mm de l'infiltration (déduite de l'équation du bilan)

représente 5,4 % de la tranche d'eau annuelle précipitée uniformément sur la superficie de la plaine d'Enfidaville.

En 1933, L. Yankovitch a entrepris l'étude de l'infiltration par l'emploi des cases lysimétriques. Ses expériences ont duré de 1933-34 à 1955; elles ont été effectuées en grande partie dans les jardins du Service Botanique et Agronomique de Tunisie (l'actuel I.N.R.A.T) à l'Ariana la proche banlieue nord de Tunis, quelques expériences seulement ont été effectuées à Béja située au nord ouest de la Tunisie constituant la région agricole la plus importante du pays.

Les mesures de l'infiltration ont intéressé des cases lysimétriques où la nature du terrain naturel a été soigneusement reconstituée. La plupart des terrains étaient cultivés.

Dès 1939-40, L. Yankovitch avait présenté les premiers résultats de ses expériences où il a obtenu des valeurs de l'infiltration qui varie de 46 à 3,2 % de la tranche totale des précipitations:

- Terrains en jachère : 45,8 % .
- Terrains cultivés en blé continu : 20,8 % .
- Terrains cultivés en blé après fourrage : 15,9 % .
- Terrains cultivés en fourrage: vesce - avoine : 3,2 % .

En 1957, L. Yankovitch a repris ses premiers résultats pour les confirmer en ajoutant que l'infiltration se produit généralement du mois de Novembre jusqu'au mois de Mars.

Nous pensons que les conditions climatiques de l'Ariana sont voisines de celles de la plaine d'Enfidaville c'est pourquoi la valeur de 3,2 % de l'infiltration dans les terrains cultivés en fourrage, nous paraît la plus proche de celle déduite du calcul du bilan hydrologique à Enfidaville.

En conclusion, il semble que l'infiltration serait de l'ordre de 4 à 5 % de la tranche totale des précipitations.

### 7 - 5 C O N C L U S I O N

L'essai du bilan hydrologique nous a permis de fixer l'ordre de grandeur des différents facteurs climatiques de la plaine d'Enfidaville. Ainsi nous avons :

$$\begin{aligned}
 P &= 370 \pm 15 \text{ mm} \\
 E &= 333 \pm 30 \text{ mm} \\
 R &= 17 \pm 2 \text{ mm} \\
 I &= 20 \pm 5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nous retrouvons là un résultat de la valeur de l'infiltration qui est à rapprocher de celui que nous avait fourni l'étude des teneurs isotopiques à savoir que la recharge des nappes souterraines ne représente qu'une faible partie de la pluviométrie.

### C O N C L U S I O N S   G E N E R A L E S

La plaine d'Enfidaville est une vaste cuvette synclinale située en bordure des massifs crétacés et éocènes de l'Atlas Tunisien, son remplissage est essentiellement mi-pliocène.

L'ensemble des données climatiques (Pluviométrie, Température, Vents, Evapotranspiration) permet d'attribuer à la plaine d'Enfidaville un climat semi-aride à aride en allant du nord au sud.

Les études géologique et géophysique ont permis de mettre en évidence:

- La fermeture N.E et S.O de la Cuvette de Sidi Abich, qui a été confirmée par l'exécution de 4 sondages de reconnaissance (I4890/4, 14891/4, 14926/4 et 14927)
- l'existence d'un ancien Golfe qui occupe un vaste domaine allant d'Enfidaville à la Sebkha Kelbia, ce qui nous a conduit à l'appeler: ancien Golfe d'Enfidaville - Sebkha Kelbia. En gros, cet ancien golfe occupe l'emplacement de la Cuvette de Kondar - Sidi Bou Ali (Fig. 7).
- L'existence d'un seuil hydraulique séparant la zone d'Aïn Garsi de la plaine d'Enfidaville proprement dite.

L'alimentation en eau des nappes souterraines, assurée par un bassin versant peu pluvieux, de plus de 1000 Km<sup>2</sup>, est moyenne à faible. Elle s'effectue par l'infiltration directe des eaux météoriques et l'injection d'une partie des crues des oueds dans les formations quaternaires et mio-pliocènes (Sable, Sable fin et Cailloutis) qui constituent les aquifères de la plaine.

Les analyses du tritium effectuées montrent d'ailleurs que la part de recharge des nappes par les eaux récentes est relativement faible voire même très faible.

L'étude piézométrique a permis de préciser la direction et le sens de l'écoulement de la nappe phréatique ainsi que les zones de son alimentation.

L'étude chimique a montré que les eaux souterraines de la plaine sont dans leur ensemble chlorurées sodiques, localement sulfatées sodiques.

La concentration en sels est largement variable puisqu'elle passe de moins de 1,5 g/l dans les zones d'alimentation à plus de 15 g/l dans le domaine de l'ancien Golfe d'Enfidaville - Sebkha Kelbia.

L'évolution de la concentration en sels est due essentiellement au lessivage des terrains salifères et gypseux, oligocènes et miocènes, et à l'évaporation dans les zones où le niveau du plan d'eau de la nappe phréatique est proche de la surface du sol, dans la zone de Menzel Dar Bel Ouar notamment.

De même les eaux salées de l'ancien Golfe d'Enfidaville - Sebkha Kelbia contribuent encore avec les eaux salées des Sebkhas : Kelbia, Halk el Menzel et Assa Djiriba à l'accroissement de la concentration en sels des eaux souterraines de la plaine, qui est également importante au voisinage de la mer.

Le calcul des ressources en eaux souterraines de la plaine a permis de déterminer les ressources régulatrices qui sont égales à 12.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/an et les réserves permanentes qui s'évaluent à 600.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

Le calcul des débits de l'écoulement souterrain à travers deux sections amont et aval a montré la faiblesse de l'alimentation de la plaine

en amont, ainsi que la part importante de ce débit d'alimentation qui se perd par évaporation.

Compte-tenu de l'exploitation actuelle des nappes de  $7.10^6$  m<sup>3</sup>/an et de son augmentation probable et des débits disponibles nous avons montré que la limite absolue du débit d'exploitation était de 900 l/s. Il paraît indispensable de limiter les prélèvements supplémentaires à 500 l/s.

L'essai du bilan hydrologique à partir des résultats obtenus pour la pluviométrie, l'évapotranspiration et le ruissellement nous conduit à dire que l'infiltration se situe entre 4 et 5 % de la tranche totale des précipitations, ce qui est en bonne coïncidence avec les résultats obtenus par L. Yankovitch sur les cases lysimétriques.

Du point de vue pratique, l'évaluation des ressources exploitables qui se résument aux réserves régulatrices et qui sont faibles, doit nous rendre prudents sur les possibilités d'exploitation future des eaux souterraines de la plaine d'Enfidaville qui est appelée à jouer un rôle plus important dans la vie économique de la région et du pays. C'est pourquoi, il nous paraît indispensable de procéder à la recharge artificielle des nappes à partir des eaux de crues des oueds en régularisant le cours de ces derniers ou à partir de barrages construits sur les oueds importants de la région.

Du point de vue plus général, les méthodes géologiques et géophysiques (Méthode électrique par Sondages Electriques) d'investigation du sous-sol nous ont permis de préciser la nature, l'épaisseur et la structure du remplissage mio-plio-quadernaire de la plaine d'Enfidaville, mais l'essai du bilan hydrologique qui nous a permis de fixer l'ordre de grandeur de l'infiltration, de l'évapotranspiration et du ruissellement, n'est pas encore assez précis pour établir des valeurs exactes.

Pour une meilleure connaissance du bilan hydrologique dans les pays semi-arides à arides, il nous paraît donc indispensable de préciser les données sur l'infiltration, le ruissellement et l'évapotranspiration par :

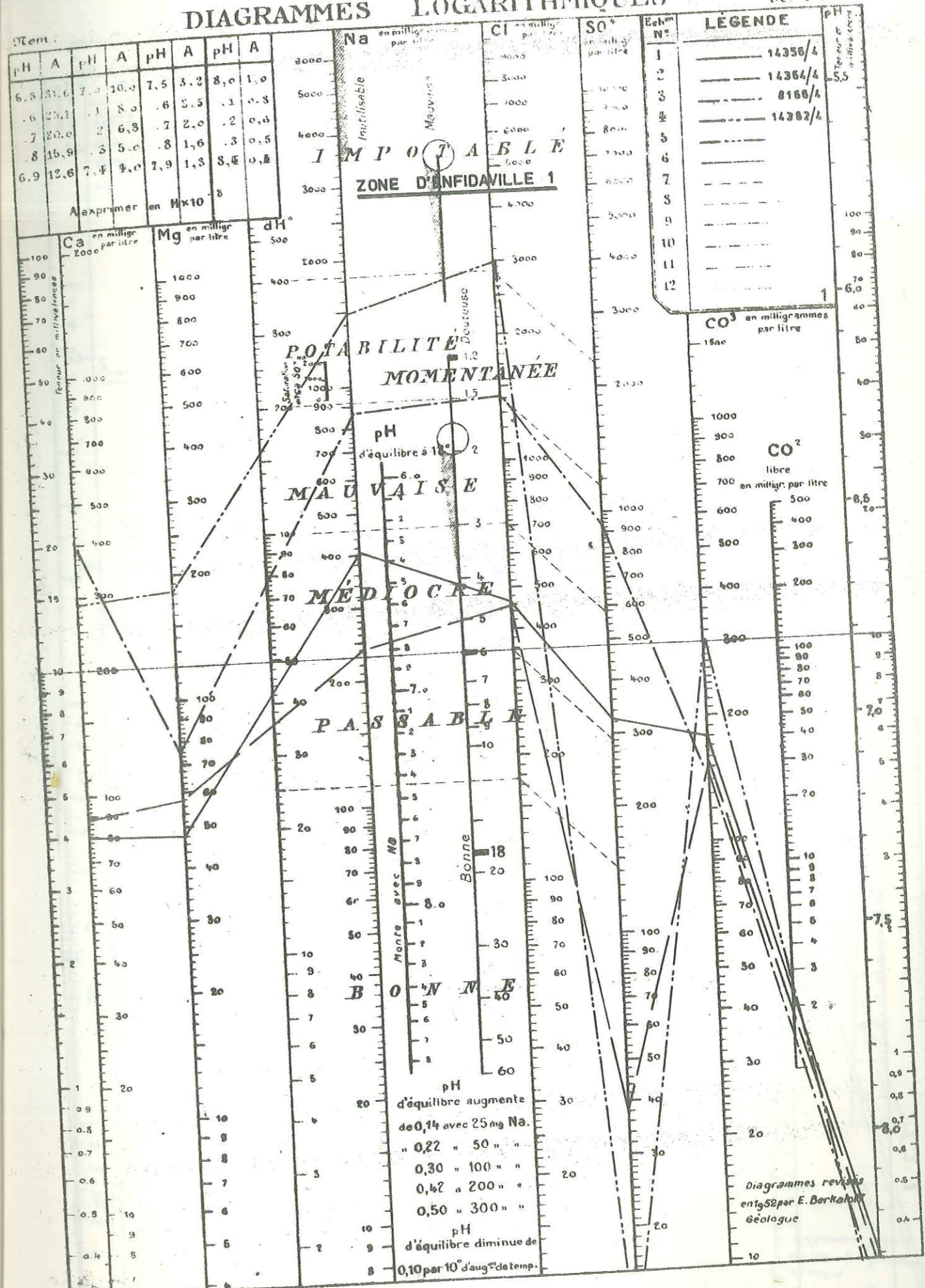
- des mesures précises du ruissellement,
- l'emploi des cases lysimétriques,
- des mesures isotopiques systématiques.

Mais l'emploi conjuguée de toutes les méthodes géologiques, géophysiques et géochimiques restera indispensable chaque fois que l'on voudra mieux connaître l'hydrogéologie d'une région déterminée.

#### A N N E X E

- Diagrammes logarithmiques
- Relevés piézométriques de la nappe phréatique de la plaine d'Enfidaville
- Résultats des mesures du R.S. et de la conductivité
- Résultats des analyses chimiques des eaux.

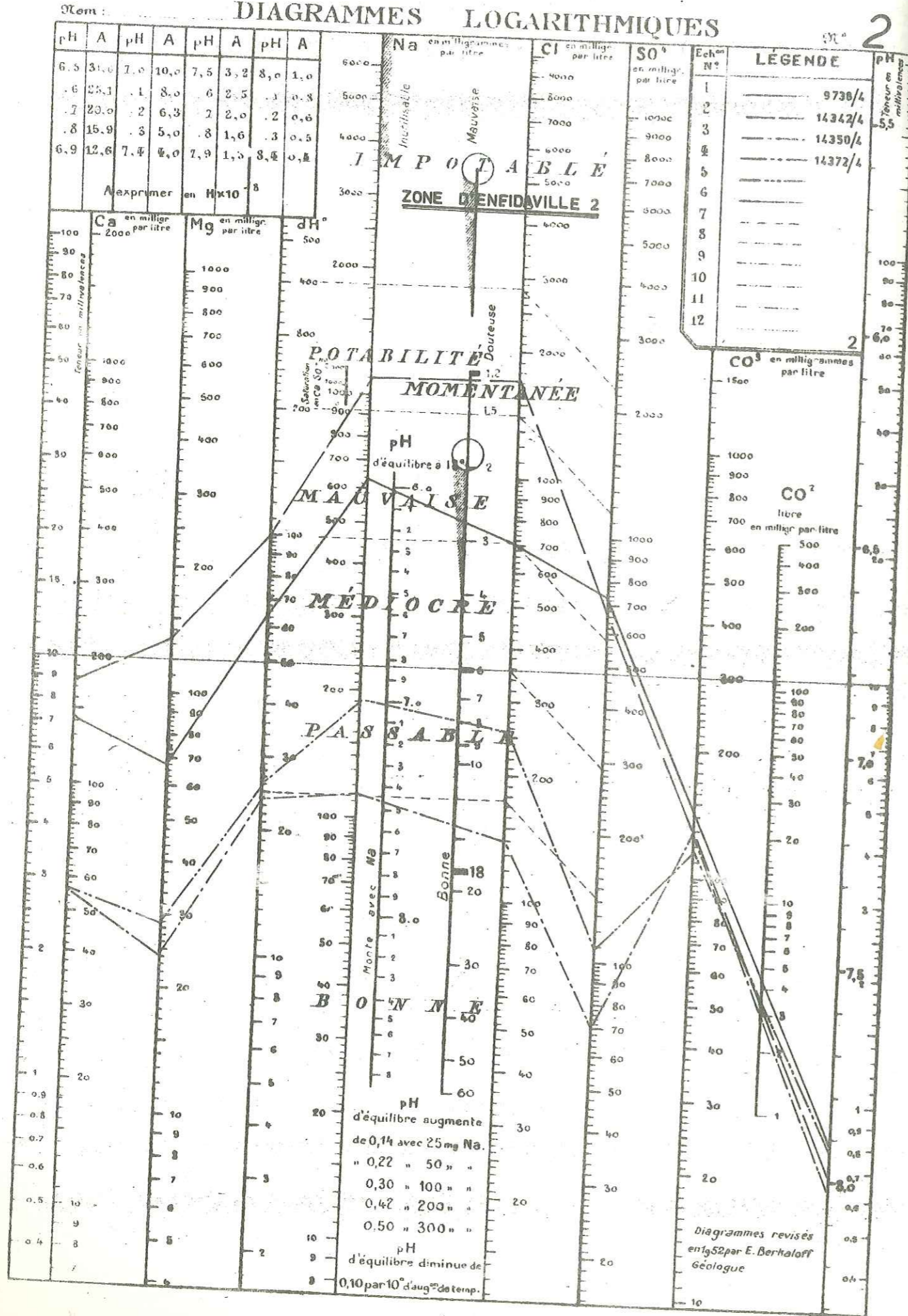
# DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



Diagrammes revus en 1952 par E. Bertalan Géologue

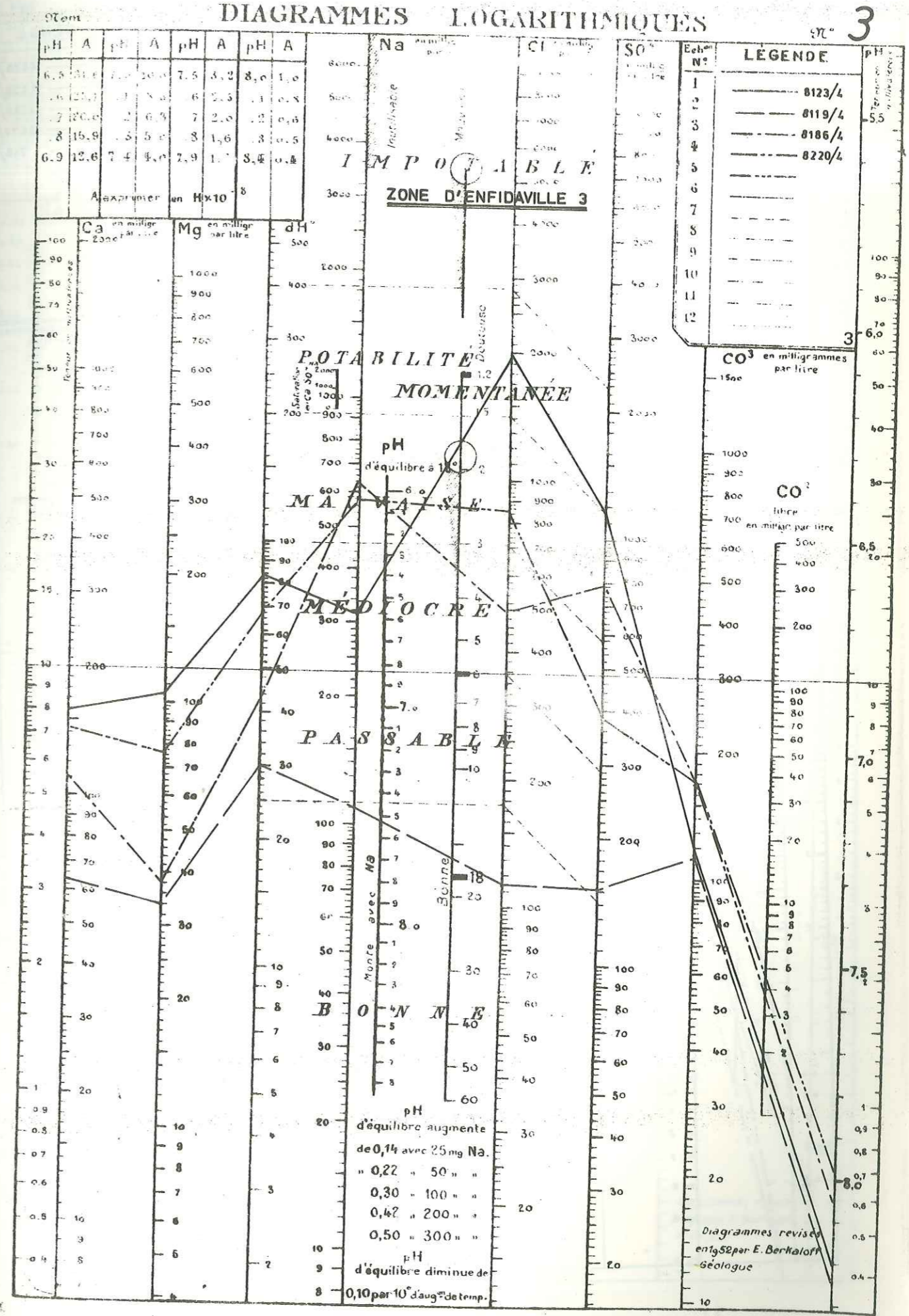
DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES

2



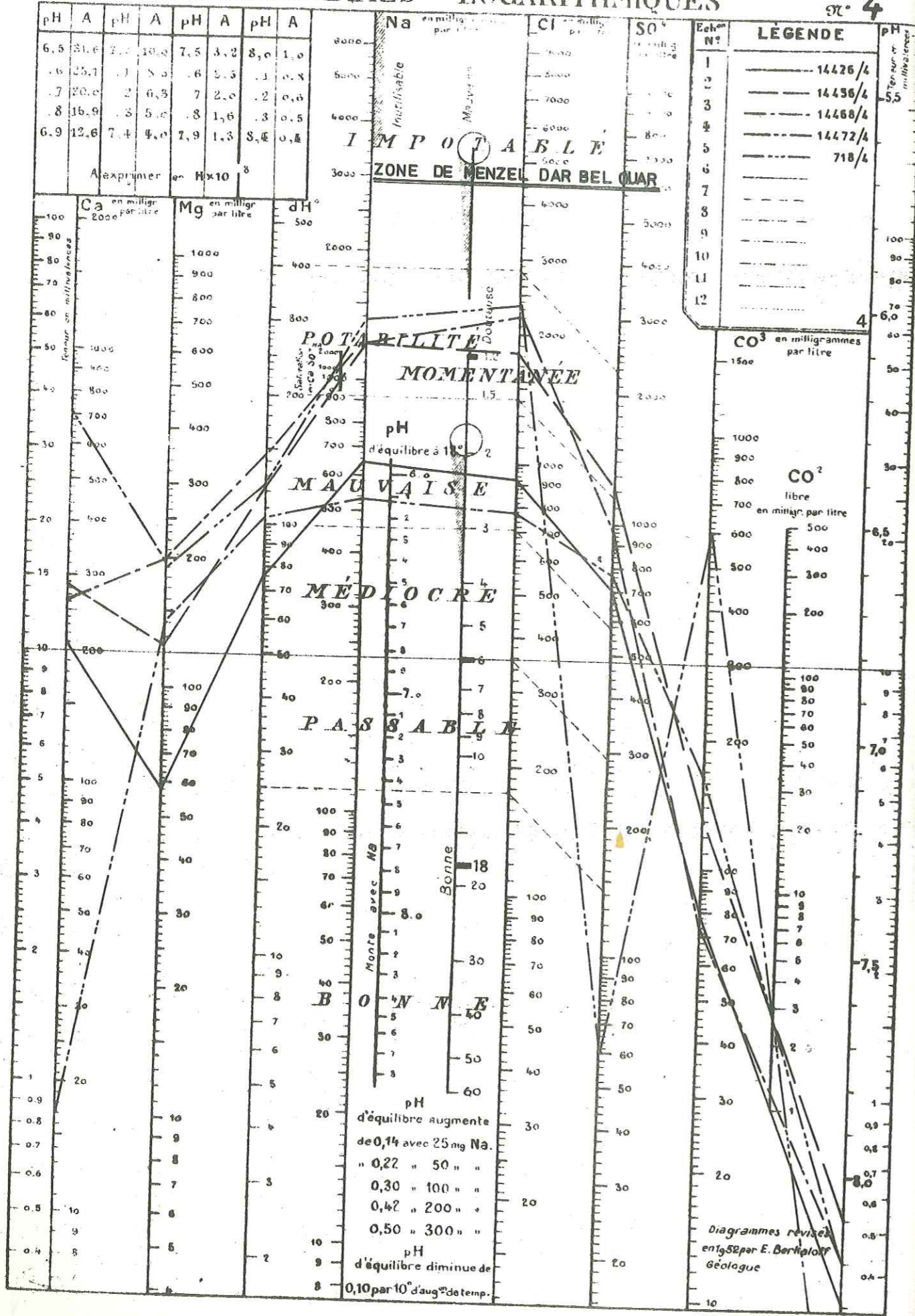
DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES

3



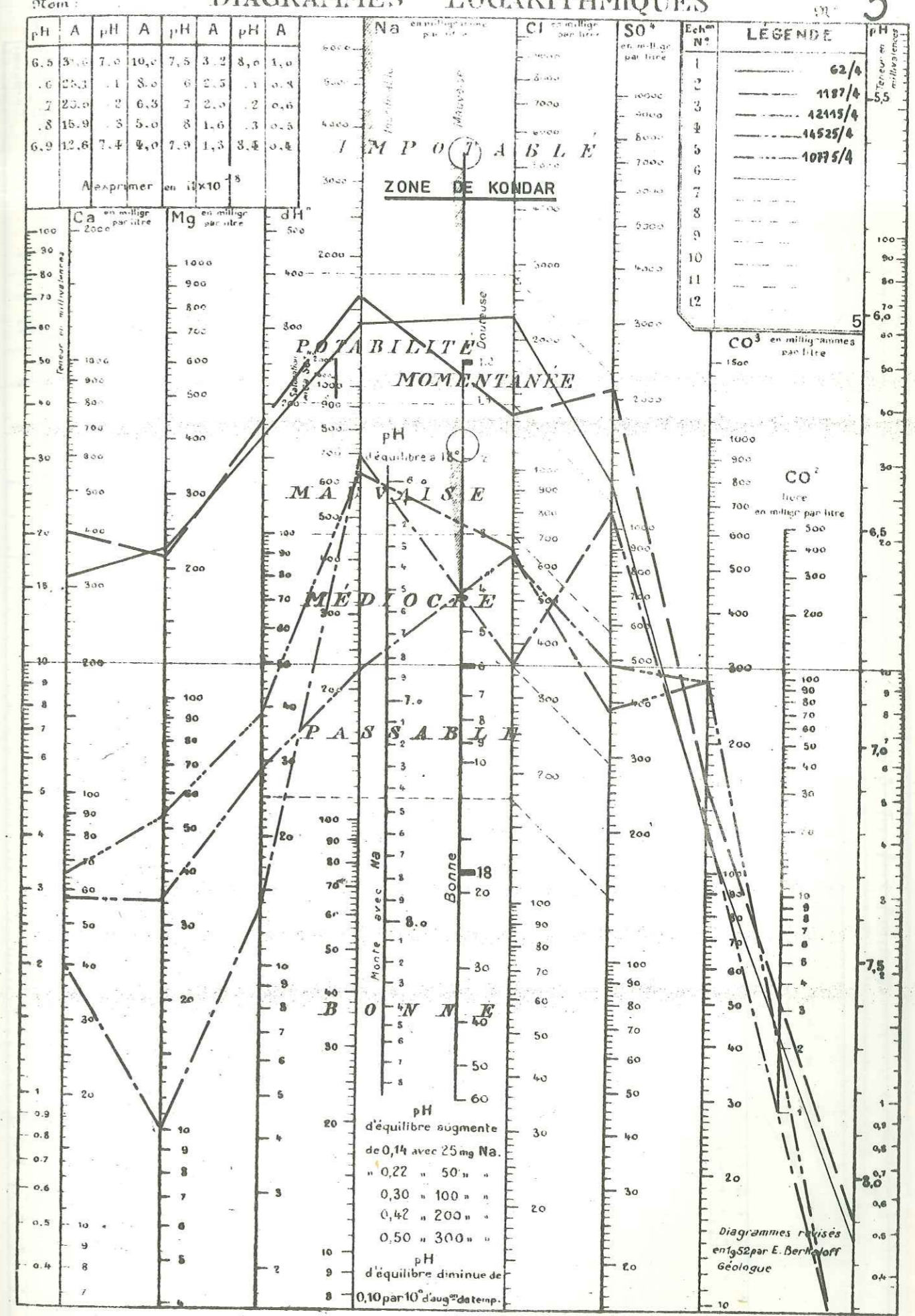
DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES

№ 4

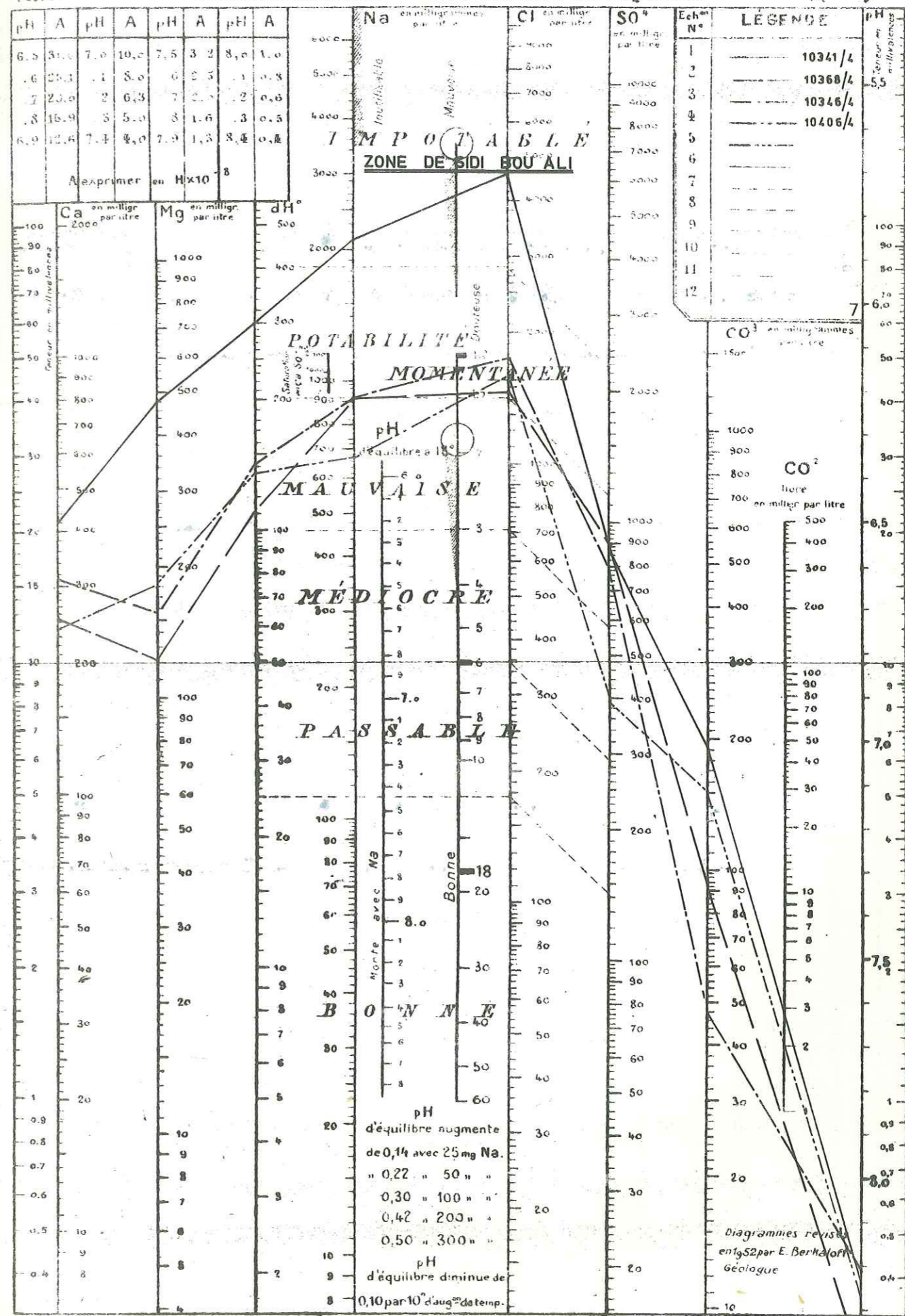
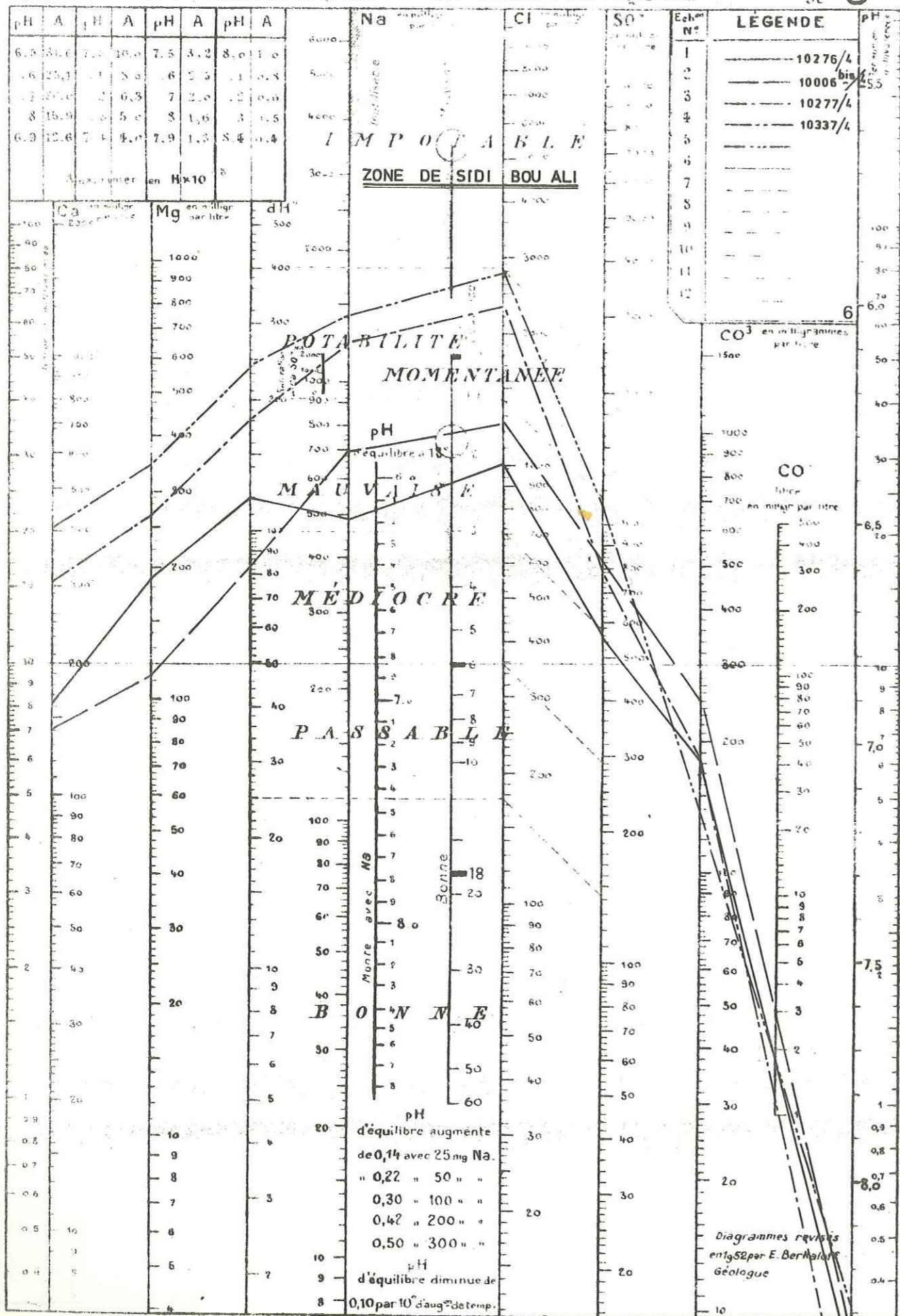


DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES

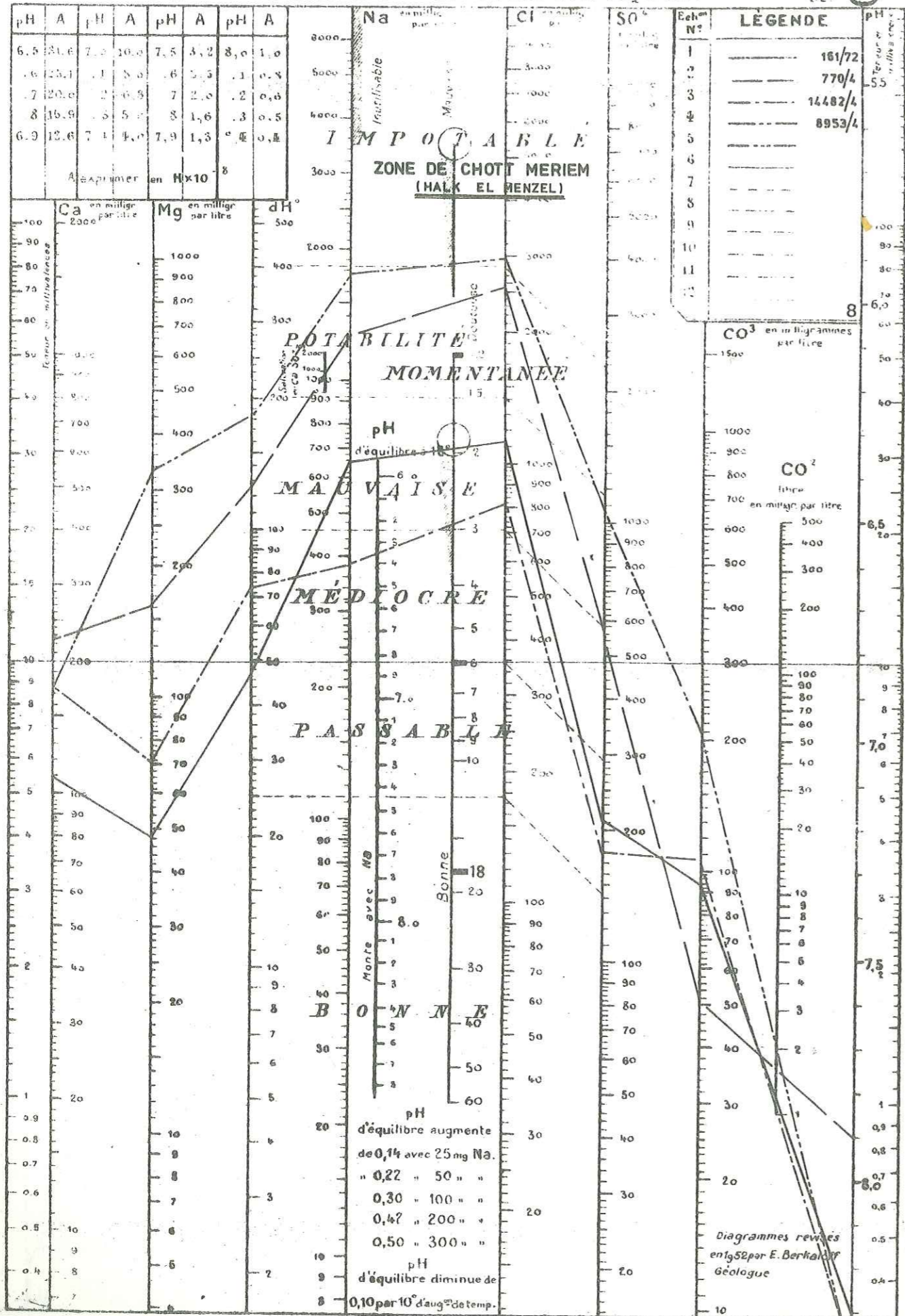
№ 5



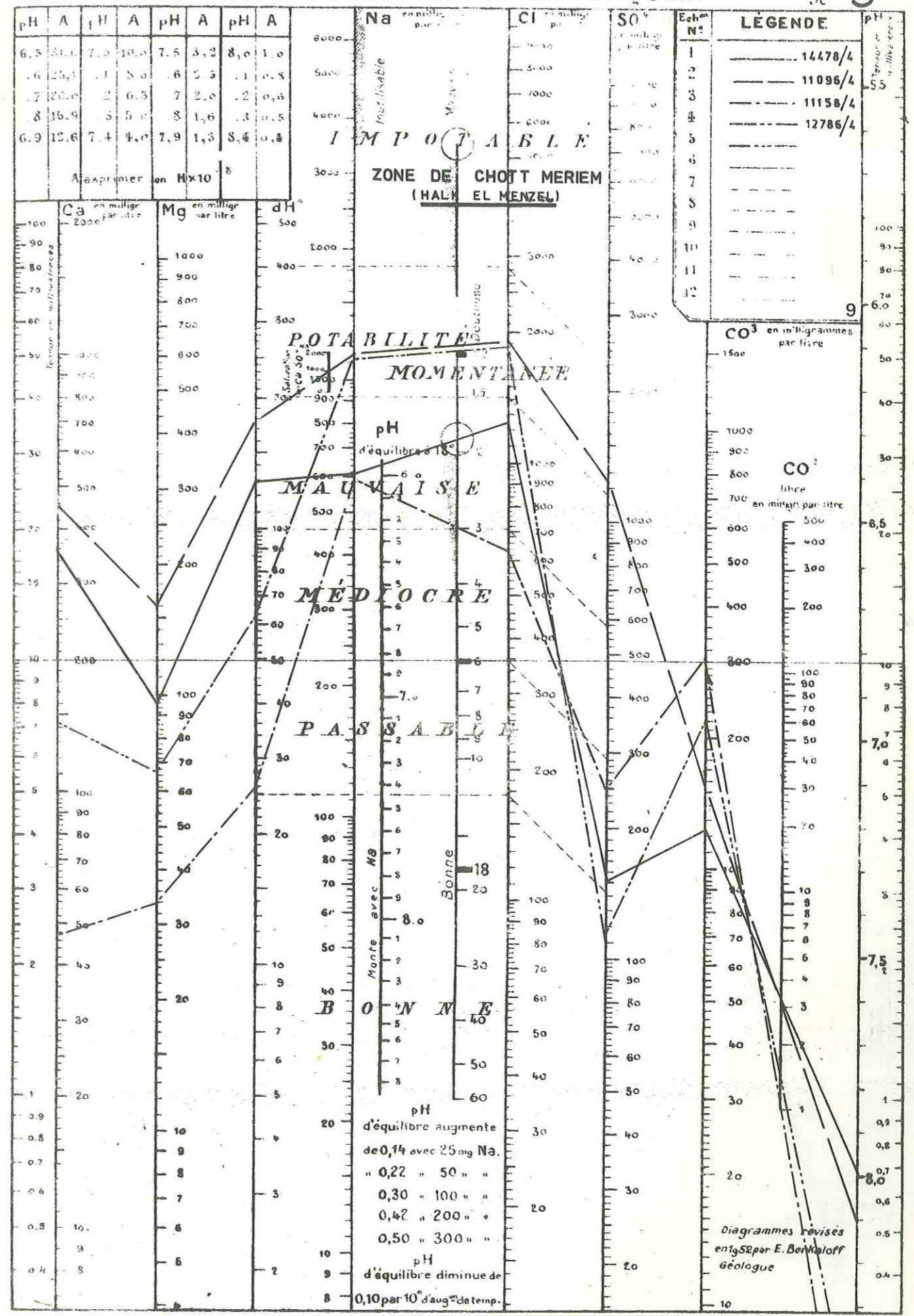


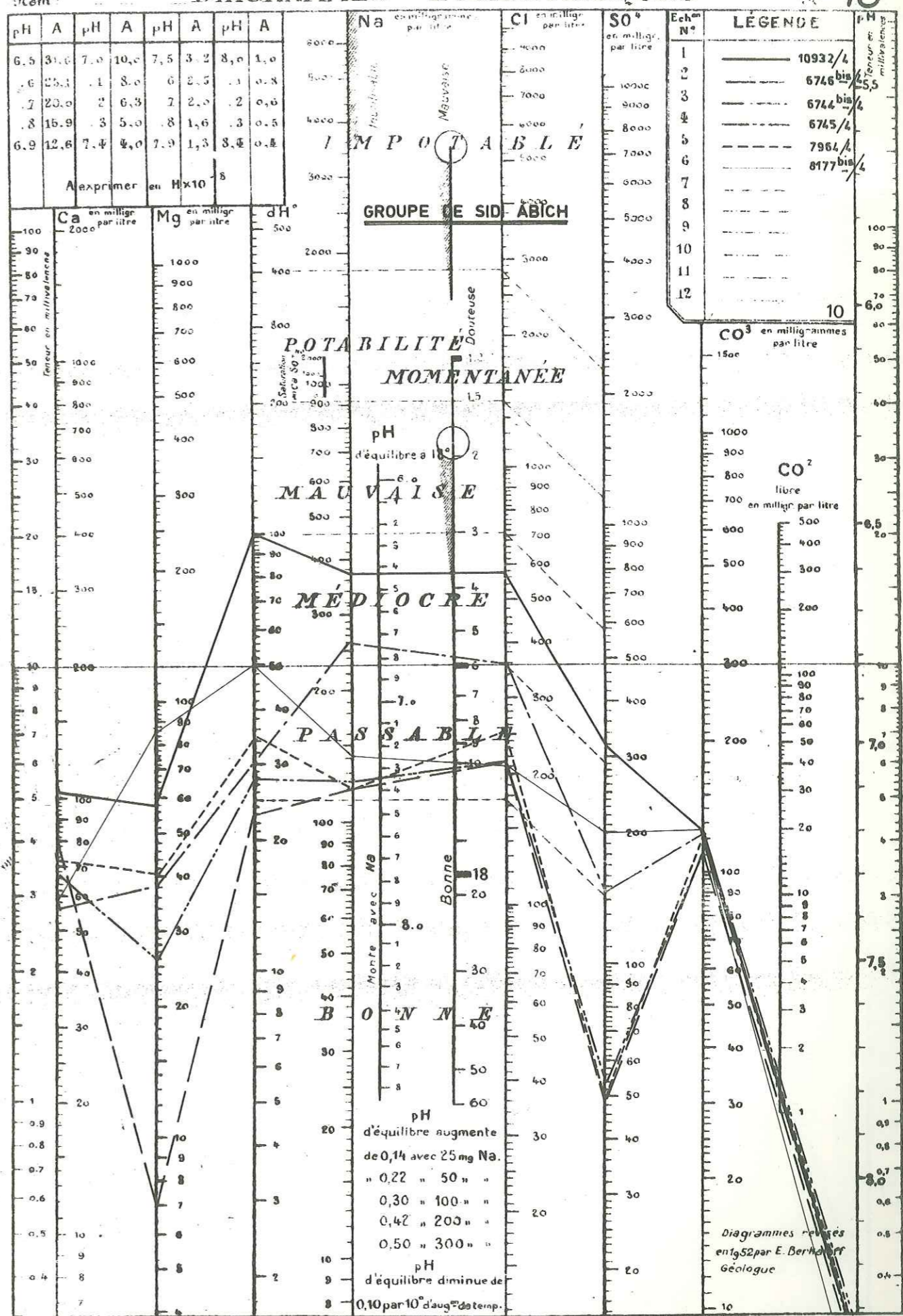


DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES



DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES

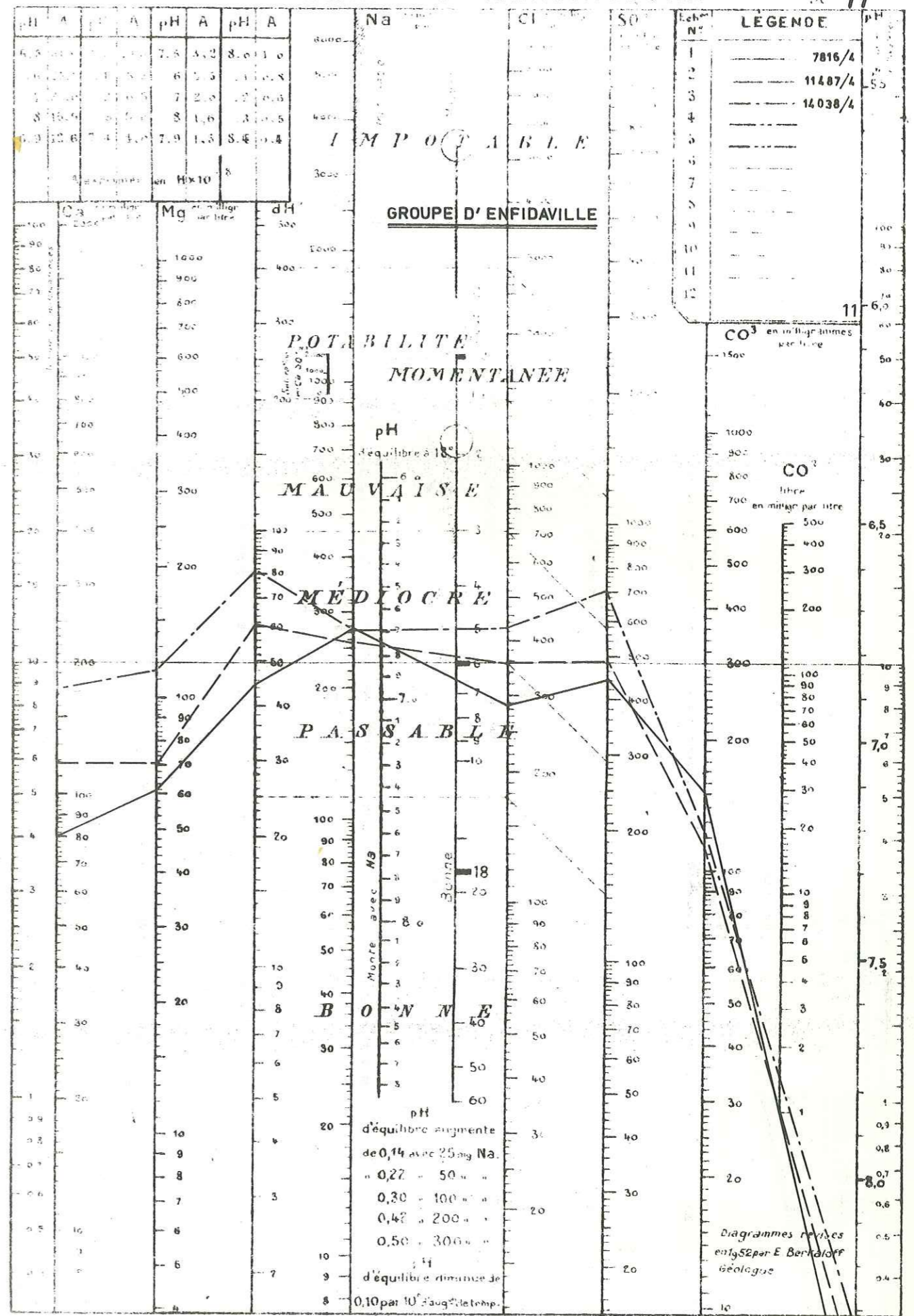




pH	A	pH	A	pH	A	pH	A
6.5	31.0	7.0	10.0	7.5	3.2	8.0	1.0
6.6	25.1	7.1	8.0	7.6	2.5	8.1	0.8
6.7	20.0	7.2	6.3	7.7	2.0	8.2	0.6
6.8	15.9	7.3	5.0	7.8	1.6	8.3	0.5
6.9	12.8	7.4	4.0	7.9	1.3	8.4	0.4

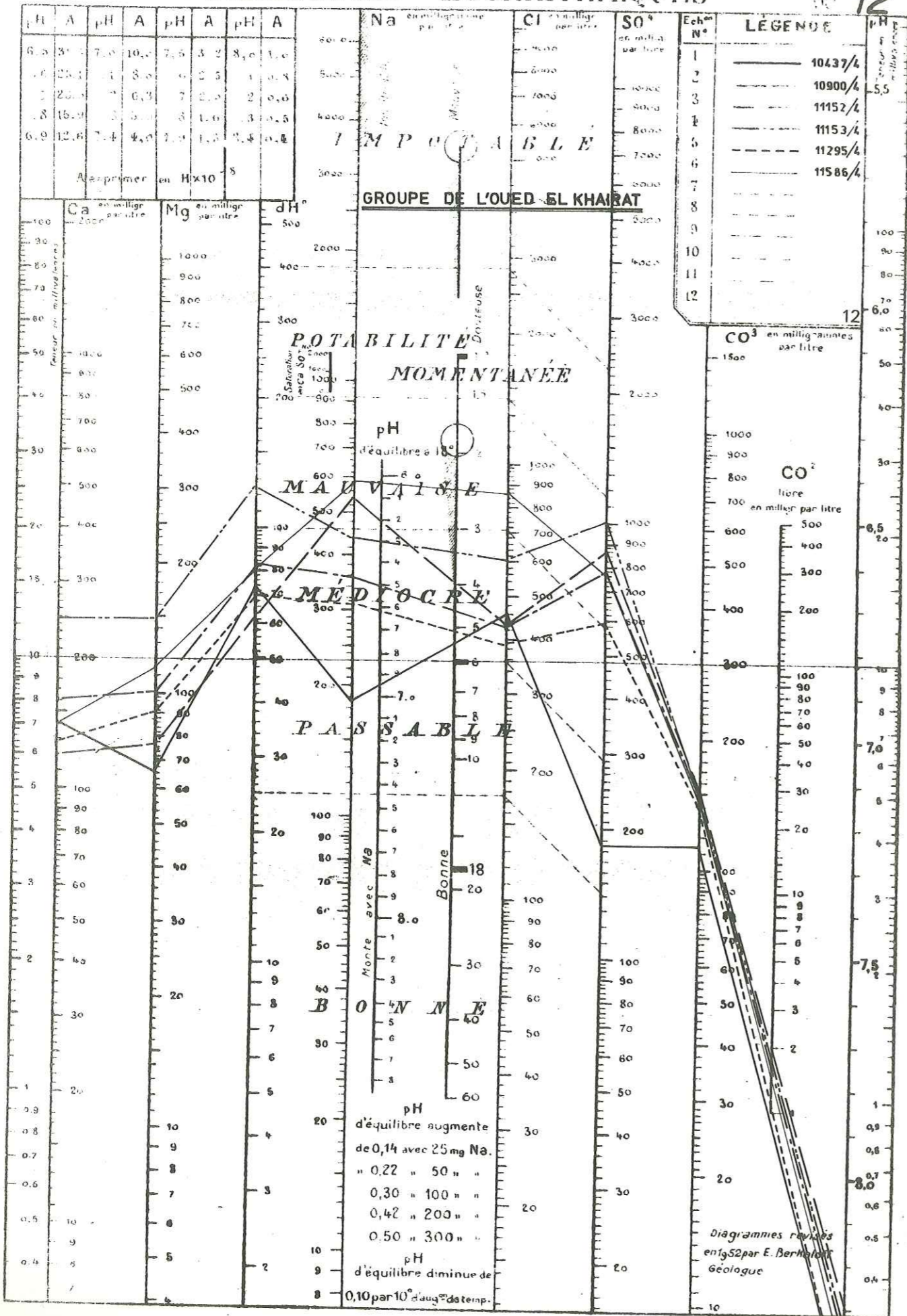
A exprimer en Hx10<sup>-8</sup>

Diagrammes relevés en 1952 par E. Bernhart, Géologue



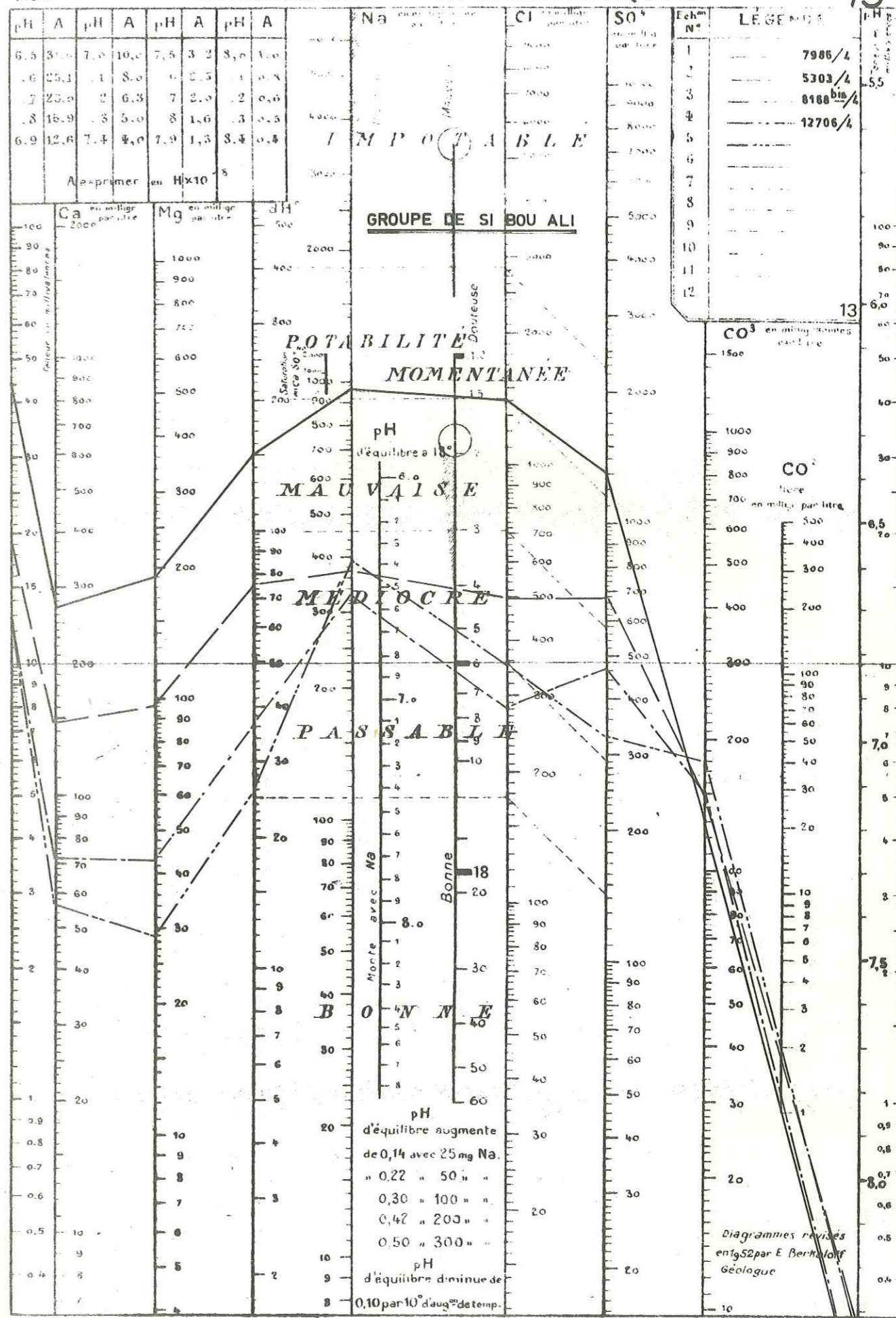
DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES

12



DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES

13



RELEVES PIEZOMETRIQUES

DE LA NAPPE PHREATIQUE DE LA PLAINE D'ENFIDAVILLE

ORDRE	N° R.I.K.H	COTE en m.	Novembre 1972 en m.		Mai 1973 en m.		Fluctuations de la nappe en cm.
			Hm	N.P	Hm	N.P	
1	7991/4	10,163	8,00	2,163	7,48	2,663	52
2	8120/4	38,531	35,53	3,001	35,25	3,281	28
3	14363/4	12,000	-	-	5,58	6,420	-
4	8049/4	5,322	4,09	1,132	3,46	1,862	63
5	8011/4	5,752	4,22	1,532	3,58	1,172	64
6	7988/4	6,280	5,00	1,280	4,43	1,850	57
7	14356/4	5,435	3,77	1,665	3,08	1,355	69
8	164/4	8,148	6,10	2,048	5,23	2,918	87
9	14382/4	8,120	5,50	2,620	4,85	3,270	65
10	7976/4	5,274	3,70	1,574	3,08	2,194	62
11	8216/4	6,342	4,97	1,372	3,88	2,462	109
12	14343/4	35,259	17,25	18,009	16,88	18,269	37
13	8222/4	29,710	5,80	23,910	4,88	24,830	92
14	8232/4	13,360	10,80	2,560	9,88	3,480	92
15	8184/4	16,582	14,10	2,482	13,08	3,502	102
16	8218/4	41,180	24,63	16,550	23,73	17,450	90
17	8241/4	25,446	21,25	3,196	20,65	4,796	60
18	14342/4	19,337	15,60	3,737	14,78	4,557	82
19	8244/4	17,305	12,60	4,705	11,73	6,575	87
20	8249/4	12,876	9,45	3,426	8,46	4,416	99
21	8267/4	9,963	6,15	3,813	5,46	4,503	69
22	8274/4	13,369	10,21	3,159	9,38	3,989	83
23	8253/4	17,917	13,62	3,297	13,00	4,917	62
24	8236/4	15,615	11,35	4,265	11,03	4,585	32
25	8268/4	9,963	8,50	1,463	8,68	1,283	-
26	8109/4	8,786	4,92	3,866	4,41	4,376	51
27	8579/4	7,635	3,93	3,705	3,76	3,875	17
28	8123/4	8,891	6,05	2,766	4,63	4,270	-
29	13144/4	13,596	8,22	5,376	8,13	5,470	-
30	2301/4	26,795	18,25	8,545	18,50	8,295	-
31	14358/4	31,595	25,35	6,245	25,32	6,275	03
32	8158/4	38,318	25,33	12,988	25,35	12,968	-
33	2291/4	36,693	24,95	11,743	24,78	11,913	17
34	14360/4	34,000	21,10	12,900	20,95	13,050	15

S I D I B O U A L I

35	7201/4	47,908	27,19	20,718	26,93	20,978	26
36	2295/4	22,207	13,10	9,107	-	-	-
37	698/4	-	16,85	-	16,58	-	27
38	4594/4	7,189	-	-	2,11	5,079	-
39	10451/4	-	10,07	-	9,72	-	35
40	10452/4	16,597	12,70	3,897	12,68	3,917	02
41	10457/4	9,801	5,99	3,811	5,78	4,021	21
42	1027/4	6,131	3,88	2,251	3,35	2,781	53
43	12400/4	10,065	7,65	2,415	7,38	2,685	27
44	10448/4	9,019	5,70	3,299	4,91	4,109	79
45	12403/4	12,904	7,93	3,974	7,66	4,244	27
46	722/4	18,000	-	-	7,50	10,500	-
47	8048/4	21,231	16,65	4,581	16,45	4,781	20

48	I2398/4	17,843	13,25	4,593	13,10	4,743	15
49	I0441/4	14,802	-	-	5,53	9,272	-
50	I2397/4	14,802	9,56	5,242	9,28	5,522	28
51	I2727/4	10,992	3,65	7,342	2,98	8,012	77
52	4533/4	10,873	4,45	6,423	4,10	6,773	35
53	2272/4	13,346	7,33	5,016	7,03	6,316	30
54	I4422/4	13,346	-	-	5,70	7,646	-
55	8007/4	13,526	7,28	6,246	6,96	6,566	32
56	I4409/4	15,000	-	-	9,90	5,100	-
57	I4410/4	-	12,55	-	12,30	-	25
58	I4411/4	18,000	-	-	8,95	9,050	-
59	8548/4	18,000	-	-	-	-	-
60	I4408/4	15,000	-	-	8,78	6,220	-
61	8043/4	15,000	9,75	5,250	9,48	5,520	27
62	2206/4	14,608	3,98	10,628	3,78	10,828	20
63	I0718/4	22,013	11,12	10,893	10,71	11,303	41
64	719/4	20,541	9,90	10,641	9,82	10,721	08
65	I2719/4	35,287	23,37	11,917	23,43	11,857	-
66	I2721/4	16,05	12,84	3,210	12,16	3,990	68
67	2280/4	22,270	9,95	11,320	9,88	11,390	07
68	I2725/4	20,060	9,95	10,510	9,88	10,680	17
69	8042/4	22,275	11,65	10,625	11,46	10,815	19
70	I2724/4	18,999	8,55	10,449	8,30	10,699	25
71	9172/4	16,258	6,31	9,948	6,06	10,198	25
72	I4417/4	15,160	-	-	4,13	11,030	-
73	8033/4	14,437	4,97	9,467	4,70	9,737	27
74	4465/4	52,000	22,60	29,400	18,23	33,770	-
75	703/4	25,384	12,72	12,664	12,58	12,804	14
76	720/4	72,000	52,88	19,120	52,85	19,12	03
77	2219/4	19,217	7,33	11,887	6,90	12,317	43
78	65/49	22,000	-	-	8,85	13,15	-
79	I2683/4	16,152	8,60	7,552	8,20	7,952	40
80	I4412/4	25,000	-	-	9,00	16,000	-
81	2263/4	25,000	-	-	12,56	12,440	-
82	I2682/4	25,000	-	-	14,60	10,400	-
83	I4431/4	-	20,22	-	19,23	-	99
84	I2404/4	5,994	3,64	2,354	2,78	2,114	-
85	I2409/4	6,000	-	-	4,48	1,52	-
86	I0560/4	-	5,92	-	5,08	-	84
87	I2056/4	5,990	3,83	2,160	2,75	3,240	08
88	I0363/4	7,189	5,20	1,989	4,50	2,689	70
89	I0556/4	8,444	6,18	1,264	5,50	2,944	68
90	I0346/4	7,789	5,08	2,709	4,58	3,209	50
91	I2399/4	11,000	-	-	9,98	1,02	-
92	I0393/4	15,864	12,70	3,164	12,56	3,304	14
93	I0391/4	30,302	27,27	3,032	27,23	3,072	04
94	I0400/4	23,768	20,08	3,688	20,03	3,738	05
95	I0350/4	54,000	-	-	32,03	21,970	-
96	I2407/4	-	-	-	2,48	-	-
97	I2406/4	50,000	-	-	44,33	5,67	-

CHOTT MERIEM (Halk el Menzel)

98	I2431/4	44,756	40,75	4,006	40,85	3,906	-
99	7863/4	30,008	11,45	18,558	11,23	18,778	22
I00	I2428/4	8,016	7,80	1,216	7,33	0,686	-
I01	I0724/4	13,005	12,71	1,295	12,23	0,775	48
I02	7862/4	22,000	21,25	0,750	20,94	1,060	21

I03	I0885/4	3,020	2,85	0,170	2,63	0,39	22
I04	I0887/4	18,348	17,08	1,268	16,83	1,518	25
I05	I0886/4	28,176	26,60	1,576	26,55	1,626	05
I06	7921/4	35,000	29,50	5,50	29,45	5,55	05
I07	I0843/4	46,000	41,55	4,50	42,60	4,40	-
I08	I2423/4	50,000	49,38	0,62	50,08	-	-
I09	7920/4	21,610	19,75	1,860	19,33	2,240	42
I10	III55/4	24,188	22,30	1,888	22,25	1,938	05
III	I2417/4	21,249	19,30	1,949	19,23	2,019	07
II2	87/50	19,184	17,38	1,804	16,74	2,444	64
II3	8175/4	8,429	7,73	0,699	7,18	1,249	55
II4	I0888/4	7,329	6,75	0,579	6,13	1,199	62
II5	III57/4	13,970	12,12	1,850	11,23	2,740	89
II6	I2418/4	33,000	26,17	6,83	25,97	7,030	20
II7	7919/4	30,000	28,39	1,590	28,00	2,000	39
II8	7922/4	20,000	15,18	4,820	14,58	5,000	60
II9	I0894/4	4,354	3,70	0,654	3,43	0,924	27
I20	7923/4	20,000	15,40	4,60	14,83	5,17	57
I21	8370/4	30,000	25,00	5,00	25,10	4,90	-
I22	I0833/4	8,308	8,18	0,623	7,68	1,128	50
I23	8953/4	7,771	6,63	1,141	6,03	1,741	60
I24	I0834/4	6,610	5,83	0,780	5,28	1,330	55
I25	I0835/4	5,775	5,15	0,625	4,73	1,045	42
I26	I0892/4	15,962	6,93	8,932	6,48	9,482	45
I27	I0849/4	10,385	9,36	1,025	9,13	1,255	23
I28	I0939/4	7,809	7,20	0,609	6,83	0,979	37
I29	I0940/4	8,795	8,25	0,545	7,78	1,015	47
I30	758/4	9,972	9,10	0,872	8,63	0,342	47
I31	II090/4	8,286	6,90	1,386	6,58	1,706	32
I32	II091/4	7,173	5,92	1,253	5,58	1,593	34
I33	I0948/4	8,427	6,82	1,607	6,18	2,247	64
I34	II095/4	13,837	12,05	1,787	11,53	2,307	57
I35	3476/4	16,942	14,85	2,093	14,28	1,662	57
I36	3475/4	19,989	19,00	0,989	18,43	1,559	57
I37	3477/4	17,919	16,93	0,989	15,83	2,089	II0
I38	I2123/4	20,332	16,77	3,562	15,09	5,242	I68
I39	I2122/4	15,981	12,19	3,791	11,09	4,891	II0
I40	I0943/4	7,048	6,25	1,798	5,38	1,668	97
I41	I0945/4	6,697	6,77	-	4,13	2,567	-
I42	757/4	9,298	7,95	1,348	7,38	1,818	57
I43	II080/4	3,000	2,20	0,80	2,03	1,000	I7
I44	II087/4	9,132	7,75	1,382	7,38	1,752	37
I45	II083/4	6,342	5,32	1,022	4,08	1,462	44
I46	735/4	9,814	8,43	1,484	7,98	1,834	45
I47	II089/4	10,046	9,00	1,046	8,66	1,386	34

S I D I B O U A L I

I48	I0270/4	-	-	-	32,14	-	-
I49	I0274/4	45,000	-	-	17,83	27,170	-
I50	I0278/4	-	-	-	20,83	-	-
I51	I006bis/4	19,335	15,60	3,735	15,48	3,855	I2
I52	I0395/4	10,000	-	-	5,48	4,52	-
I53	I2410/4	10,000	8,60	1,40	8,06	2,000	54
I54	I0330/4	10,000	-	-	4,63	5,37	-
I55	I0283/4	10,000	-	-	4,28	5,720	-
I56	I0262/4	10,000	-	-	5,88	4,120	-

I57	4589/4	-	10,83	-	10,60	-	23
I58	I0243/4	25,000	21,53	3,470	21,35	3,650	I8
I60	I0328/4	17,484	13,35	4,134	13,16	4,324	I9
I61	I2413/4	18,429	14,35	4,079	14,20	4,229	I5
I62	I0408/4	20,000	-	-	16,14	3,86	-
I63	I0414/4	20,000	-	-	19,93	-	-
I64	I0661/4	28,697	22,75	5,947	22,63	6,067	I2
I65	89/49	30,000	16,70	13,300	16,93	13,070	-
I66	I0638/4	20,894	14,70	6,194	14,52	5,274	I8
I67	I0646/4	27,344	19,10	8,244	19,09	8,254	01
I68	I0631/4	32,939	20,10	12,839	19,93	12,009	I7
I69	I0629/4	33,245	16,80	16,345	16,82	15,425	I2
I70	4562/4	27,912	13,58	13,332	13,48	14,432	10
I71	I0588/4	20,161	7,23	12,831	6,90	13,261	32
I72	4555/4	25,973	11,55	14,423	11,40	14,573	I5
I73	I0580/4	19,884	6,43	13,454	5,90	13,984	47
I74	4554/4	16,675	3,70	12,975	3,10	13,575	60
I75	2217/4	23,950	9,80	13,150	9,28	14,670	52
I76	2218/4	20,000	10,55	9,450	10,28	9,720	27

S E B K H A K E L B I A  
(Kondar)

I77	2221/4	27,172	10,77	16,402	10,76	16,402	01
I78	I2113/4	28,679	11,68	16,699	11,60	17,079	08
I79	I2114/4	33,418	16,05	17,368	15,93	17,488	88
I80	I2116/4	41,312	23,70	17,612	23,64	17,572	06
I81	I2118/4	47,638	29,70	17,938	29,70	17,938	00
I82	I2119/4	55,617	37,45	18,167	37,44	18,168	01
I83	I2120/4	60,376	23,20	37,176	24,19	36,186	-
I84	II89/4	76,381	58,94	17,441	58,57	17,811	37
I85	5329/4	63,003	45,37	17,633	44,74	18,263	63
I86	2242/4	48,762	31,35	17,412	31,30	17,462	05
I87	II86/4	42,896	24,20	18,696	24,29	18,606	-
I88	I2115/4	38,869	21,22	17,649	21,14	17,729	08
I89	I4522/4	38,284	21,85	16,434	21,74	16,544	II
I90	I0759/4	41,729	26,03	15,699	25,89	15,839	I4
I91	2239/4	45,646	29,75	15,996	29,54	16,106	21
I92	3385/4	43,217	27,48	15,737	27,39	15,827	09
I93	I0527/4	35,424	20,85	14,574	20,89	14,534	-
I94	I4527/4	37,409	-	-	40,44	-	-
I95	7008/4	95,148	76,21	18,936	76,18	18,966	03

H E R G L A

(Sidi Bou Ali)

H1	!	4577/4	!	9.398	!	8.48	!	0.918	!	8.21	!	1.188	!	27
H2	!	4578/4	!	8.951	!	9.02	!	-	!	8.72	!	-	!	30
H3	!	2340/4	!	10.000	!	8.85	!	1.115	!	8.38	!	1.62	!	47
H4	!	4586/4	!	7.797	!	7.22	!	0.577	!	6.93	!	0.867	!	29
H5	!	12394/4	!	10.000	!	3.79	!	6.210	!	2.88	!	7.120	!	91
H6	!	12059/4	!	20.000	!	-	!	-	!	16.13	!	3.87	!	-
H8	!	10116/4	!	23.121	!	22.65	!	0.471	!	22.34	!	0.781	!	31
H7	!	36/49	!	9.582	!	9.40	!	0.182	!	9.21	!	0.372	!	19
H9	!	10137/4	!	10.000	!	-	!	-	!	9.33	!	0.670	!	-
H10	!	12391/4	!	1.351	!	1.27	!	0.081	!	1.16	!	0.181	!	11

(Halk el Menzel)

H11	!	10680/4	!	11.548	!	11.35	!	0.198	!	11.28	!	0.268	!	07
H12	!	10695/4	!	5.296	!	4.88	!	0.416	!	4.33	!	0.966	!	55
H13	!	767/4	!	6.468	!	5.98	!	0.488	!	5.48	!	0.988	!	50
H14	!	735/4	!	6.243	!	7.65	!	-	!	7.25	!	-	!	40
H15	!	768/4	!	5.330	!	4.95	!	0.380	!	4.43	!	0.900	!	52
H16	!	12432/4	!	10.000	!	4.65	!	5.350	!	4.08	!	5.920	!	57
H17	!	763/4	!	13.885	!	13.62	!	0.265	!	13.28	!	0.605	!	34
H18	!	5249/4	!	2.836	!	2.62	!	0.216	!	2.48	!	0.356	!	14



RESULTATS DES MESURES DU R.S ET DE LA CONDUCTIVITE

N° ORDRE	N° BIRH	MAI-JUIN 1972		MAI 1973		SEPTEMBRE 1973	
		R.S g/l	Conduct. mmho/cm	R.S g/l	Conduct. mmho/cm	R.S g/l	Conduct. mmho/cm
I	799I/4	3,38	4,90	3,70	5,41	3,45	5,24
2	8I20/4	1,10	2,00	1,43	2,31	1,80	2,94
3	I4363/4	2,18	3,75	2,60	3,94	2,22	3,62
4	8049/4	-	-	2,07	4,58	2,90	4,46
5	80II/4	2,86	4,40	1,88	2,98	1,90	3,02
6	7988/4	3,14	5,00	2,85	4,36	2,88	4,41
7	Voir Rele-	1,44	2,49	1,56	2,55	1,48	2,46
8	vé Piézo-	1,36	2,10	1,36	2,20	1,38	2,30
9	étrique.	6,14	8,30	4,75	6,70	6,10	8,61
10		3,46	4,82	3,35	4,98	2,90	4,47
11		-	-	2,97	4,47	3,10	4,74
12		2,32	3,30	2,20	3,42	2,13	3,38
13		2,10	3,10	1,88	2,98	2,45	3,88
14		5,32	6,20	4,55	6,38	4,20	6,17
15		5,44	7,10	4,55	2,87	4,10	5,67
16		-	-	1,78	6,48	1,71	2,83
17		4,52	6,20	4,57	8,52	4,30	6,32
18		3,92	6,90	6,20	8,52	5,50	7,93
19		3,78	4,89	3,60	5,32	3,00	4,58
20		6,10	7,78	4,95	7,02	5,40	7,73
21		14,34	10,75	14,40	19,00	17,00	21,94
22		4,50	5,65	3,70	5,42	3,85	5,87
23		2,84	4,00	2,35	3,62	2,70	4,23
24		-	-	3,45	5,10	3,35	5,14
25		4,32	6,40	6,86	8,08	5,70	8,13
26		7,86	11,50	7,30	9,90	7,05	9,76
27		21,36	10,86	19,00	25,10	21,50	30,17
28		2,76	4,00	0,88	1,49	1,50	2,48
29		6,28	8,20	5,55	7,76	5,00	7,25
30		2,54	3,40	2,25	3,51	2,18	3,45
31		0,92	1,92	0,69	1,20	0,84	1,49
32		4,96	6,90	4,90	6,92	4,80	6,86
33		3,78	4,28	3,25	4,78	3,03	4,63
34		7,30	7,30	3,30	4,85	4,90	7,00
35		4,36	6,80	2,15	3,58	3,95	5,84
36		2,44	3,22	3,30	5,26	3,25	4,89
37		3,36	4,55	2,80	4,52	2,80	4,32
38		7,48	8,90	5,90	5,90	5,22	8,76
39		13,02	16,00	13,00	17,70	17,00	22,06
40		5,66	7,90	4,90	4,90	6,80	9,53
41		2,76	4,20	2,00	3,34	1,60	2,65
42		2,08	3,85	1,82	3,15	2,12	3,36
43		6,50	9,29	4,90	7,37	5,50	7,90
44		26,48	27,00	21,00	26,8		40,21
45		8,50	14,30	7,00	7,00	16,00	19,56
46		1,54		0,55	1,05	1,44	2,39
47		2,46		2,30	3,89	2,42	3,83
48		5,15		3,30	5,26	3,35	5,10

49	:	:	6,72	:	8,90	:	5,30	:	8,00	:	5,22	:	7,65
50	:	:	11,46	:	10,62	:	11,20	:	15,90	:	16,60	:	20,65
51	:	:	4,00	:	7,49	:	3,90	:	5,89	:	3,09	:	4,69
52	:	:	13,16	:	10,62	:	14,00	:	18,80	:	18,00	:	22,82
53	:	:	2,84	:	4,55	:	2,60	:	4,42	:	-	:	-
54	:	:	3,24	:	4,10	:	3,50	:	5,47	:	3,90	:	5,84
55	:	:	1,62	:	2,68	:	1,45	:	2,52	:	1,52	:	2,48
56	:	:	14,88	:	18,00	:	12,90	:	17,50	:	17,50	:	21,74
57	:	:	20,14	:	23,30	:	18,00	:	22,50	:	-	:	29,34
58	:	:	21,84	:	23,30	:	20,50	:	26,50	:	-	:	29,89
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
60	:	:	13,96	:	17,50	:	13,60	:	18,10	:	16,00	:	21,19
61	:	:	5,08	:	8,00	:	4,55	:	6,94	:	5,00	:	7,19
62	:	:	2,64	:	9,95	:	1,40	:	2,39	:	5,65	:	8,02
63	:	:	0,88	:	1,65	:	0,87	:	1,54	:	0,64	:	1,17
64	:	:	8,18	:	12,60	:	0,90	:	12,40	:	10,80	:	14,67
65	:	:	2,36	:	3,90	:	2,20	:	3,68	:	2,27	:	3,59
66	:	:	2,30	:	3,50	:	2,20	:	3,60	:	2,20	:	3,50
67	:	:	5,80	:	8,50	:	2,00	:	3,36	:	5,15	:	7,44
68	:	:	5,60	:	7,90	:	5,00	:	7,47	:	4,55	:	6,62
69	:	:	3,88	:	5,75	:	3,30	:	5,26	:	2,95	:	4,57
70	:	:	6,44	:	10,40	:	5,90	:	8,52	:	5,70	:	8,12
71	:	:	1,58	:	2,27	:	1,32	:	2,26	:	1,52	:	2,50
72	:	:	5,04	:	7,10	:	3,90	:	5,89	:	4,90	:	7,04
73	:	:	5,18	:	7,40	:	4,10	:	6,31	:	5,15	:	7,34
74	:	:	1,48	:	2,12	:	0,80	:	1,42	:	1,28	:	2,15
75	:	:	14,84	:	10,84	:	17,20	:	22,50	:	19,00	:	26,08
76	:	:	4,98	:	8,10	:	4,90	:	7,37	:	4,90	:	7,04
77	:	:	14,36	:	10,75	:	6,00	:	8,95	:	11,80	:	15,76
78	:	:	14,20	:	10,75	:	15,20	:	20,60	:	18,00	:	22,82
79	:	:	19,90	:	23,70	:	22,00	:	27,80	:	22,00	:	32,06
80	:	:	19,80	:	23,50	:	11,60	:	16,30	:	23,00	:	33,15
81	:	:	1,40	:	26,00	:	2,60	:	4,21	:	2,65	:	4,11
82	:	:	-	:	-	:	17,90	:	22,20	:	18,00	:	22,82
83	:	:	6,06	:	9,47	:	5,20	:	7,89	:	6,00	:	8,52
84	:	:	-	:	-	:	20,70	:	26,30	:	21,00	:	30,43
85	:	:	5,68	:	8,30	:	29,00	:	35,10	:	-	:	51,74
86	:	:	-	:	-	:	5,10	:	7,68	:	5,15	:	7,44
87	:	:	5,64	:	9,70	:	5,80	:	8,42	:	4,60	:	6,88
88	:	:	6,44	:	10,00	:	5,80	:	8,42	:	6,20	:	8,80
89	:	:	-	:	-	:	4,30	:	6,73	:	-	:	-
90	:	:	3,88	:	6,60	:	5,80	:	8,73	:	6,10	:	8,60
91	:	:	-	:	-	:	15,50	:	21,00	:	-	:	-
92	:	:	6,00	:	9,20	:	5,50	:	8,21	:	5,50	:	7,95
93	:	:	2,18	:	3,30	:	2,00	:	3,47	:	2,50	:	2,50
94	:	:	2,66	:	4,20	:	3,10	:	5,05	:	3,35	:	3,35
95	:	:	-	:	-	:	3,80	:	5,26	:	3,40	:	3,40
96	:	:	-	:	-	:	-	:	-	:	-	:	-
97	:	:	3,38	:	5,30	:	2,60	:	4,21	:	2,85	:	2,85
98	:	:	2,34	:	4,20	:	2,17	:	3,83	:	2,40	:	3,84
99	:	:	-	:	-	:	2,45	:	4,37	:	2,75	:	4,25
100	:	:	2,28	:	4,00	:	2,35	:	4,15	:	2,60	:	4,12
101	:	:	3,22	:	5,20	:	2,88	:	4,89	:	3,35	:	5,10
102	:	:	1,00	:	2,15	:	3,70	:	6,18	:	4,30	:	6,30
103	:	:	2,04	:	3,55	:	1,75	:	3,09	:	2,42	:	3,84

104	5,18	8,15	4,70	7,66	4,35	6,30
105	3,72	6,30	3,05	5,16	3,85	5,75
106	2,58	4,30	2,17	3,84	2,50	3,95
107	1,46	2,60	1,38	2,56	1,64	2,70
108	1,26	2,40	1,13	2,13	1,34	2,25
109	1,28	2,40	1,23	2,29	1,35	2,26
110	1,30	2,40	1,19	2,23	1,40	2,33
111	2,68	4,70	4,28	4,04	2,45	3,30
112	2,72	4,90	2,70	4,68	3,00	4,60
113	7,00	10,50	9,50	13,60	13,60	17,39
114	3,78	6,10	0,32	0,543	0,61	0,62
115	2,24	3,65	1,30	2,40	0,90	1,58
116	1,86	3,25	1,59	2,94	1,77	2,92
117	1,88	3,45	1,70	3,09	1,82	3,10
118	4,38	7,00	4,40	7,13	5,00	7,20
119	10,50	16,40	6,80	10,64	15,00	19,02
120	1,58	3,00	1,31	2,43	1,52	2,50
121	0,96	2,00	0,98	1,89	0,91	1,59
122	6,12	9,40	4,45	7,24	5,00	7,20
123	6,70	10,04	5,10	8,20	3,90	5,80
124	-	-	13,60	18,10	17,30	21,95
125	8,28	13,50	9,70	13,80	13,00	16,30
126	8,22	13,50	10,20	14,70	12,50	15,76
127	4,06	5,80	3,35	5,69	3,56	5,35
128	5,34	8,18	4,25	6,92	5,00	7,20
129	4,66	8,00	3,90	6,48	4,00	5,90
130	6,40	10,00	6,60	10,12	7,20	10,80
131	2,56	4,27	2,90	5,00	4,15	6,10
132	1,90	3,40	2,05	3,62	1,86	3,03
133	6,78	12,00	6,45	10,01	11,50	14,67
134	2,44	4,30	1,76	3,19	2,30	3,65
135	4,42	6,80	3,60	6,06	3,15	6,10
136	2,12	3,80	1,85	3,46	2,18	3,47
137	2,00	3,45	3,05	5,22	6,30	8,80
138	-	7,60	3,80	5,53	3,25	4,93
139	-	9,60	6,10	8,52	4,95	7,10
140	6,28	10,00	11,00	15,50	6,70	9,20
141	-	12,00	7,20	9,90	7,15	9,80
142	8,62	13,00	6,75	10,53	6,90	9,60
143	10,00	16,00	-	-	13,40	17,06
144	6,14	10,00	6,70	10,43	11,60	15,21
145	-	-	10,80	15,00	15,40	18,91
146	-	-	5,30	8,51	6,10	8,60
147	4,82	8,40	4,45	7,24	5,00	7,20
148	2,04	4,05	2,15	3,58	2,22	3,52
149	2,44	3,85	2,40	4,00	2,55	4,01
150	2,44	3,85	2,80	4,52	2,93	4,50
151	2,76	5,00	5,20	7,89	-	-
152	-	-	4,90	7,37	5,05	7,24
153	-	-	6,70	9,68	11,50	14,45
154	6,34	8,70	2,60	4,21	2,55	4,01
155	8,40	10,07	3,90	6,10	3,50	5,28
156	3,36	5,40	4,90	7,37	5,00	7,14
157	3,20	4,50	2,90	4,73	2,80	4,35
158	-	-	3,90	5,89	3,95	5,87
159	-	-	2,20	3,68	2,33	3,67
160	-	-	4,50	6,84	4,05	5,97

161			0,68	1,26	0,68	1,24
162	2,94	4,45	2,00	3,47	2,22	3,52
163	1,18	2,65	1,19	2,21	1,24	2,09
164			1,29	2,21	1,21	2,05
165		3,20	3,55	5,68	3,70	5,62
166	4,54	5,49	2,80	4,63	3,15	4,74
167	2,28	3,25	2,80	4,52	2,27	3,58
168			3,40	5,37	3,55	5,34
169						
170	4,00	7,10	4,30	6,73	4,55	6,65
171	6,48	8,70	5,20	7,89	5,80	8,22
172	8,80	10,22	9,50	13,60	12,00	15,21
173			4,30	6,73	5,00	7,14
174	5,88	10,05	5,30	8,00	6,55	9,19
175	7,01	9,30	5,10	7,68	5,36	7,63
176	9,38	10,22	10,00	14,50	12,60	16,30
177	3,86	6,00	5,53	5,53	3,75	5,57
178	1,68	2,75	1,49	2,93	3,00	4,60
179	6,90	10,00	6,00	8,92	6,50	9,10
180	1,24	2,30	5,38	8,16	6,50	9,10
181	2,42	4,05	1,85	3,57	2,25	3,55
182	1,64	2,95	1,45	2,87	1,66	2,74
183	0,36	0,90	0,62	0,62	0,47	0,67
184	2,40	3,70	1,76	3,53	2,15	3,38
185	3,24	4,50	3,313	5,27	2,07	3,32
186	5,48	9,20	5,94	8,87	6,30	8,90
187	3,42	4,50	2,50	4,44	3,25	4,94
188	2,04	3,35	1,70	3,22	1,99	3,18
189			4,60	7,20	4,90	7,04
190	0,96	2,00	0,86	1,83	0,94	1,64
191	0,66	1,75	0,76	1,67	0,94	1,64
192	1,16	2,45	1,13	2,29	1,60	2,64
193	3,40	5,40	3,35	5,58	3,65	5,48
194	2,52	3,44	1,77	3,47	2,35	3,72
195	0,90	1,66	0,78	1,72	0,91	1,60
H1	10,12	10,26	6,40	10,11	14,00	17,17
H2	9,46	10,26	6,00	9,48	12,20	15,43
H3	8,60	13,70	6,60	10,42	12,10	15,43
H4	4,60	7,90	3,70	6,13	3,65	5,52
H5	19,92	29,60	5,90	9,37	19,20	25,76
H6			5,60	1,13	0,59	1,07
H7			3,15	5,32	3,35	5,08
H8			2,75	4,78	3,10	4,69
H9			3,35	5,64	3,85	5,77
H10	43,36	42,40	18,80	24,20		47,28
H11	2,50	4,30	2,35	4,15	2,40	3,82
H12	8,18	13,50	10,80	15,00	13,20	16,52
H13	2,82	5,00	2,55	4,47	3,45	4,76
H14	6,44	10,00	6,00	9,48	6,40	9,00
H15	5,08	8,30	6,25	9,79	6,30	8,90
H16	6,06	9,50	5,80	9,26	6,50	9,10
H17	4,64	8,30	4,50	7,34	5,30	7,63
H18	13,0	18,00	6,25	9,79	à sec	-

R E S U L T A T S D E S A N A L Y S E S D E S E A U X  
(Forages Exploités. Juin 1972)  
(En mg/l et en méq/l)

N° BIRH	Ca		Mg		Na		SO <sub>4</sub>		Cl		CO <sub>3</sub>		R.S Résist		ph		Dh		rSO <sub>4</sub>		rCl						
	mg	meq	mg	meq	mg	meq	mg	meq	mg	meq	mg	meq	°D.F	°D.F	°D.F	°D.F	°D.F	°D.F	°D.F	°D.F							
I0932/4	I045	2	I58	I4	I85	I373	I16	I2	I309	I6	I4	I568	I16	I29	I4	I30	I1620	I380	I8	I40	I50	I25	I0	I93	I0	I40	
6746b/4	I80	I4	I0	I7	I0	I58	I20	I5	I20	I49	I1	I02	I213	I16	I12	I13	I75	I600	I735	I8	I40	I23	I-	I-	I0	I17	
6744b/4	I56	I2	I8	I38	I3	I8	I259	I12	I6	I44	I13	I0	I355	I10	I24	I4	I4	I060	I540	I8	I40	I30	I1	I3	I0	I30	
6745/4	I68	I3	I4	I26	I2	I6	I23	I5	I40	I54	I1	I2	I213	I16	I17	I13	I90	I620	I820	I8	I40	I28	I0	I64	I0	I18	
7964/4	I72	I3	I6	I41	I3	I4	I20	I5	I20	I49	I1	I02	I257	I7	I25	I20	I14	I00	I680	I780	I8	I40	I35	I0	I95	I0	I14
8I77b/4	I60	I3	I0	I86	I7	I5	I43	I6	I20	I98	I4	I2	I213	I6	I00	I26	I14	I20	I920	I625	I8	I65	I51	I2	I40	I0	I69
7816/4	I80	I4	I0	I62	I5	I5	I276	I12	I445	I9	I30	I285	I8	I50	I5	I00	I300	I475	I8	I60	I46	I-	I-	I09	I1	I22	
I1487/4	I20	I6	I0	I72	I6	I00	I256	I11	I2	I486	I0	I0	I355	I10	I4	I3	I80	I500	I455	I8	I50	I60	I-	I-	I00	I1	I00
I4038	I176	I8	I11	I5	I9	I60	I27	I11	I8	I707	I14	I7	I426	I12	I29	I4	I30	I860	I315	I8	I40	I92	I-	I-	I09	I1	I22
I0437/4	I44	I7	I2	I67	I5	I60	I186	I8	I0	I85	I3	I85	I462	I13	I4	I3	I80	I1200	I475	I8	I55	I64	I0	I78	I0	I29	
I0900/4	I20	I6	I0	I77	I6	I40	I529	I23	I86	I18	I426	I12	I426	I12	I7	I4	I90	I2220	I300	I8	I30	I62	I0	I06	I1	I50	
I1152/4	I160	I8	I0	I01	I8	I40	I359	I15	I6	I779	I16	I2	I426	I12	I38	I4	I60	I2000	I322	I8	I40	I82	I0	I02	I1	I35	
I1153/4	I248	I12	I4	I49	I12	I4	I442	I19	I2	I020	I0	I604	I17	I47	I4	I90	I2700	I253	I8	I40	I24	I0	I00	I1	I00	I1	I22
I1295/4	I28	I6	I4	I91	I7	I60	I313	I13	I6	I597	I12	I4	I302	I8	I38	I4	I60	I1700	I358	I8	I50	I70	I0	I19	I1	I46	
I1586/4	I42	I7	I1	I11	I5	I9	I60	I587	I25	I5	I758	I15	I8	I852	I24	I35	I4	I50	I2620	I235	I8	I50	I83	I1	I28	I0	I66
5303/4	I44	I7	I2	I96	I8	I00	I368	I16	I680	I4	I2	I497	I14	I08	I3	I60	I1920	I322	I8	I40	I76	I0	I15	I1	I00	I1	I00
7986/4	I272	I13	I6	I92	I16	I94	I9	I41	I28	I26	I7	I42040	I155	I23	I4	I0	I4360	I155	I8	I45	I48	I0	I18	I0	I67	I1	I00
8I68b/4	I72	I3	I6	I43	I3	I60	I329	I14	I2	I46	I19	I60	I284	I8	I00	I38	I4	I60	I240	I488	I8	I72	I36	I0	I00	I1	I20
I2706/4	I56	I2	I8	I29	I2	I4	I396	I17	I2	I326	I6	I80	I355	I10	I0	I80	I6	I00	I280	I465	I8	I42	I26	I0	I86	I0	I68

GRUPE SIDI ABICH

GRUPE D'ENFIDAVILLE

GRUPE D'OUED EL KHAIRAT

GRUPE SIDI BOU ALI

R E S U L T A T S   D E S   A N A L Y S E S   C H I M I Q U E S   D E S   E A U X  
(Puits de Surface Février Juin 1972)  
(En mg/l et en méq/l)

N° BIRH	Ca	Mg	Na	SO <sub>4</sub>	Cl	CO <sub>3</sub>	R.S.	Résist	ph	Dh	rMg	rSO <sub>4</sub>
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg/l	ohm, cm			rCa	rCl
ENFIDAVILLE												
14356/4	80.4	48.4	406	17.65	326.6	80.4	6213	00	182.6	07	1440	402
14364/4	88.4	4.40	58.4	83	240	10.43	38.0	79	462	13	00	156
8166/4	400	20.00	77.6	42	863	37.50	922	19	201	42	04	00
14382/4	288	14.40	182	15.15	148	464.50	-	298	284	00	300	10
14371/4	80.4	4.00	29.2	41	117	5.10	134	2.79	241	6.80	108	3.60
8019/4	128	6.40	62	5.08	615	26.80	787	16.40	603	17.00	174	5.80
39/4	128	6.40	58	4.83	396	17.20	365	7.60	586	16.50	188	6.60
9262/4	136	6.80	62	5.08	425	18.50	576	12.00	586	16.50	150	5.00
4246/4	416	20.80	346	28.90	192	083.50	257	353.50	220	162.00	444	14.80
8178/4	80.4	4.00	58	4.83	251	10.90	691	14.38	319	9.00	216	6.48
8254/4	256	12.80	163	13.60	534	23.20	122	925.60	149	142.00	150	5.00
8258/4	480	24.00	240	20.00	555	24.10	153	632.00	198	856.00	120	4.00
8123/4	160	8.00	106	8.85	316	13.75	115	224.00	497	14.00	222	7.40
8119/4	64	3.20	34	2.83	110	4.18	152	3.17	114	3.80	600	600
8186/4	112	5.60	38	3.17	639	27.80	787	16.40	497	14.00	171	5.70
8220/4	114	5.70	77	6.42	575	25.00	387	8.06	852	24.00	171	5.70
9738/4	142	7.10	67	5.58	628	7.30	733	15.25	710	20.00	144	4.80
14342/4	76	8.80	134	11.15	109	947.75	659	13.72	704	48.00	129	4.30
14350/4	56	2.80	24	2.00	115	5.00	70	1.45	142	4.00	129	4.30
14372/4	56	2.80	29	2.41	191	8.30	107	2.23	256	7.22	117	3.90

119

SIDI BOU ALI

14448/4	256	12.80	173	14.40	844	36.70	518	10.8	170	4.48	174	5.80
10251/4	224	11.20	132	11.00	104	48.00	480	10	205	9.56	189	6.30
10262/4	160	8.00	134	11.15	890	38.70	326	6.78	156	44	270	9.00
10238/4	432	21.60	278	23.20	173	175.40	422	8.78	355	100	300	10.0
10276/4	168	8.40	192	16.00	490	21.15	538	11.2	102	29	180	6.00
10006 <sup>b</sup> /4	144	7.20	115	9.60	699	30.20	211	4.40	127	36	246	8.20
10277/4	304	15.20	269	22.40	122	553.20	768	16	241	68	180	6.00
10337/4	416	20.80	346	28.80	142	662.00	1075	22	276	78	135	4.50
10341/4	432	21.60	480	40.00	127	92.50	845	17.5	461	130	192	6.40
10368/4	256	12.80	125	10.40	908	39.50	883	18.4	149	42	90	3.00
10346/4	304	15.20	154	12.80	908	39.50	768	16	177	50	48	1.60
10406/4	240	12.00	182	15.15	667	29.00	384	8.00	156	44	150	5.00
10414/4	128	6.40	77	6.40	246	10.70	1152	24	532	15	177	5.90
14403/4	336	16.80	250	20.40	766	33.30	365	7.60	198	56	156	5.20
10674/4	225	11.25	48	4.00	851	37.00	538	11.2	142	40	108	3.60
10120/4	248	12.40	86	7.15	345	15.00	77	1.60	110	31	75	2.50
10645/4	80	4.00	82	6.83	353	15.35	250	5.20	426	12	240	8.00
4554/4	592	29.60	346	28.80	342	714.00	2573	53.5	479	135	114	3.80
4565/4	128	6.40	96	8.00	123	153.50	164	3.42	156	44	621	20.6
14398/4	544	27.20	278	23.20	123	153.50	1504	31.4	241	68	153	5.10
12409/4	624	31.20	240	20.00	110	448.00	564	11.7	305	86	114	3.80
14528/4	608	30.40	240	20.00	142	662.00	799	16.6	333	94	75	2.50
12724/4	512	25.60	259	21.60	157	668.50	939	19.5	326	92	93	3.10
14418/4	528	26.40	182	15.15	130	056.50	803	16.7	269	76	147	4.90
10704/4	336	16.80	86	7.15	811	35.30	754	15.7	134	9	159	5.30
2263/4	192	9.60	29	2.41	261	11.70	95	1.97	568	16	168	5.60
10456/4	320	16.00	137	11.40	667	29.00	688	14.3	134	9	117	3.90
14435/4	304	15.20	137	11.40	478	20.70	548	11.4	149	42	117	3.90
12403/4	912	45.60	355	29.60	172	575.00	915	19	433	122	222	7.40
2347/4	224	11.20	154	12.80	158	769.00	643	13.4	269	76	129	4.30
4586/4	304	15.20	134	11.15	196	52.00	606	12.6	213	60	174	5.80
14432/4	352	17.60	211	17.55	154	167.00	834	18.6	284	80	186	6.20
14426/4	208	10.40	58	4.83	650	28.20	700	14.5	923	26	78	2.60
14456/4	288	14.40	125	10.40	121	954.00	1022	21.1	184	52	129	4.30
14468/4	266	13.30	202	16.85	121	954.00	956	19.8	230	62	78	2.60
14472/4	176	8.80	144	12.00	518	22.50	754	15.7	781	22	159	5.30
718/4	176	8.80	192	15.95	392	60.50	62	1.29	234	66	570	19

120

CHOTT MERIEM (Halk el Menzel)

10841/4 : 512:25.6:154:12.8:811:35.3:1152:24 :1633:45.50:129:4.30:4060 :172:8 :192:0.50:0.52 :  
10947/4 : 131265.6:547:45.5:2852124 :2573:53 :6035:170 :258:8.60:13580:094:7.80:555:0.69:0.31 :  
14478/4 : 352:17.6:96 :8 :615:26.7:154 :3 :1243:35 :126:4.20:2560 :234:8 :128:0.45:0.08 :  
11096/4 : 448:22.4:163:13.5:1156:50 :1267:26 :1917:54 :159:5.30:4920 :150:8.10:180:0.60:0.49 :  
11158/4 : 48 :2.4 :34 :2.84:594:25.8:250 :5 :639 :18 :312:10.4:1820 :333:9 :26 :1.18:0.29 :  
12786/4 : 144:7.20:67 :5.6 :111648.5:115 :2 :1246:52 :222:7.4 :3920 :147:8.8 :64 :0.77:0.04 :  
14487/4 : 40 :2.00:14 :1.16:297:12.9:115 :2 :254 :7.22 :249:8.3 :980 :574:9 :16 :0.58:0.33 :  
14496/4 : 800:40 :480:40 :1127:49 :614 :12 :3550:100 :120:4 :7520 :087:8.4 :400:1 :0.12 :  
14507/4 : 32 :1.60:77 :6.4 :123153.5:653 :13 :1633:46 :312:10.4:3840 :158:9 :40 :4 :0.29 :  
14511/4 : 336:16.8:154:12.8:123153.5:890 :18 :2059:56.70:150:5 :4940 :126:8.2 :148:0.76:0.32 :  
161/72 : 108:5.4 :48 :4 :656:28.5:214 :5 :1136:32 :93 :3.1 :2300 :237:8.3 :47 :0.74:0.14 :  
770/4 : 224:11.2:163:13.5:127755.5:540 :11 :2485:70 :51 :1.70:4960 :140:7.9 :124:1.21:0.16 :  
14482/4 : 176:8.80:72 :6 :381:16.5:180 :4 :817 :23 :106:3.53:1800 :310:8.4 :124:0.67:0.16 :  
8953/4 : 176:8.80:336:28 :1771:77 :1059:22 :2982:84 :210:7 :6700 :099:8.4 :184:3.17:0.26 :

KONDAR (Sebkha Kelbia)

62/4 : 320:16 :221:18.4:139760.7:1267:26 :2272:64 :126:4.2 :5540 :122:8.1 :172:1.15:0.41 :  
1187/4 : 400:20 :211:17.6:1265:55 :2112:44 :1349:38 :162:5.4 :5640 :135:8.1 :188:0.88:1.15 :  
12115/4 : 40 :2 :10 :0.83:692:30 :1084:22 :355 :10 :135:4.5 :2040 :265:8.6 :14 :0.41:2.26 :  
14525/4 : 56 :2.80:34 :2.83:720:31.1:499 :10 :639 :18 :300:10 :2100 :270:8.5 :28 :1.01:0.57 :  
10775/4 : 64 :3.20:53 :4.42:628:27.1:384 :8 :653 :18.4 :279:9.3 :2180 :287:8.5 :19 :1.38:0.43 :

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

M. SOUTIF