Ressources en eau des aquifères profonds en régions semi-arides : hydrogéologie du bassin versant de la rivière Zerqa : bilan d'exploitation de la plaine de Baqa (Jordanie)

Abdul Aziz Woshah

▶ **To cite this version:**

Abdul Aziz Woshah. Ressources en eau des aquifères profonds en régions semi-arides : hydrogéologie du bassin versant de la rivière Zerqa : bilan d'exploitation de la plaine de Baqa (Jordanie). Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1978. Français. NNT : . tel-00756641

HAL Id: tel-00756641

https://theses.hal.science/tel-00756641

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.

Double
205.142
1978
107

N° d'ordre :

205142
1978
107

THESE

B.U. DE GRENOBLE
D 052 062939 3

présentée à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR INGENIEUR

par

WOSHAH ABDUL AZIZ
Ingénieur de l'E.N.S.G.

RESSOURCES EN EAUX DES AQUIFERES PROFONDS EN REGIONS SEMI-ARIDES

– HYDROGEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ZERQA
– BILAN D'EXPLOITATION DE LA PLAINE DE BAQA

(JORDANIE)

BIBLIOTHÈQUE
GRENOBLE
INTERUNIVERSITAIRE

Soutenue le 11 septembre 1978 devant la Commission d'Examen

R. BARBIER	Professeur à l'USMG et à l'ENSH	Président
G. CASTANY	Conseiller de Direction du Service Géologique National	Examinateur
R. MICHEL	Professeur à l'USMG et à l'ENSH	Examinateur
J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'USMG, Directeur de la thèse	Rapporteur

205142
1978
167

N° d'ordre :

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR INGENIEUR

par

WOSHAH ABDUL AZIZ
Ingénieur de l'E.N.S.G.

RESSOURCE EN EAUX DES AQUIFERES PROFONDS EN REGIONS SEMI-ARIDES

– **HYDROGEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE ZERQA**

– **BILAN D'EXPLOITATION DE LA PLAINE DE BAQA**

(JORDANIE)

T.78/402

BIBLIOTHÈQUE
GRENOBLE
INTERUNIVERSITAIRE

Soutenue le septembre 1978 devant la Commission d'Examen

R. BARBIER	Professeur à l'USMG et à l'ENSH	Président
G. CASTANY	Conseiller de Direction du Service Géologique National	Examinateur
R. MICHEL	Professeur à l'USMG et à l'ENSH	Examinateur
J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'USMG, Directeur de la thèse	Rapporteur

A mes frères

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

= : = : = : = : = : = : = : = : =

Ce travail qui est le résultat de mes études a été réalisé grâce à l'aide financière et matérielle de la " Natural resources authority " de la Jordanie.

J'exprime ma profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD qui pendant son séjour en Jordanie ainsi qu'à Grenoble n'a ménagé ni son temps, ni ses conseils malgré ses nombreuses occupations et même pendant ses vacances, pour que ce travail puisse voir le jour. Les conseils qu'il m'a prodigué sur le terrain, et aussi les critiques qu'il a bien voulu apporter à mon manuscrit, m'ont été d'un très grand secours.

Ma reconnaissance va également à Monsieur SEBOUL Shawkat qui m'a toujours encouragé pour mener à bien ce travail.

J'exprime ma reconnaissance à Monsieur le Professeur R. BARBIER qui me fait l'honneur de présider le jury.

Je remercie Monsieur le Professeur CASTANY qui a bien voulu accepter de participer au jury et qui connaît tous les problèmes de l'hydrogéologie appliquée ainsi que le Professeur R. MICHEL qui a bien voulu participer au Jury.

Je remercie l'Ambassade de France à Amman qui m'a accordé une bourse pour terminer ce travail.

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

Je remercie Mme MEUGNIOT pour la dactylographie de ce texte pendant les mois de Juillet et Aout.

Je veux enfin exprimer ma gratitude et ma profonde reconnaissance à ma Mère et à mes Frères qui m'ont toujours encouragé tout au long de mes études scolaires et universitaires.

J'exprime ma gratitude et ma profonde reconnaissance à ma Femme qui m'a déchargé de tous les problèmes quotidiens afin que je puisse me consacrer entièrement à la réalisation de ce travail.

A tous, ainsi qu'à mes deux filles DANA et SHIRIN je dédie cet ouvrage.

CHAPITRE I

I - INTRODUCTION

1-1- REGION DE BAQA

1-2- REGION DE JERASH

1-3- REGION DE SALT

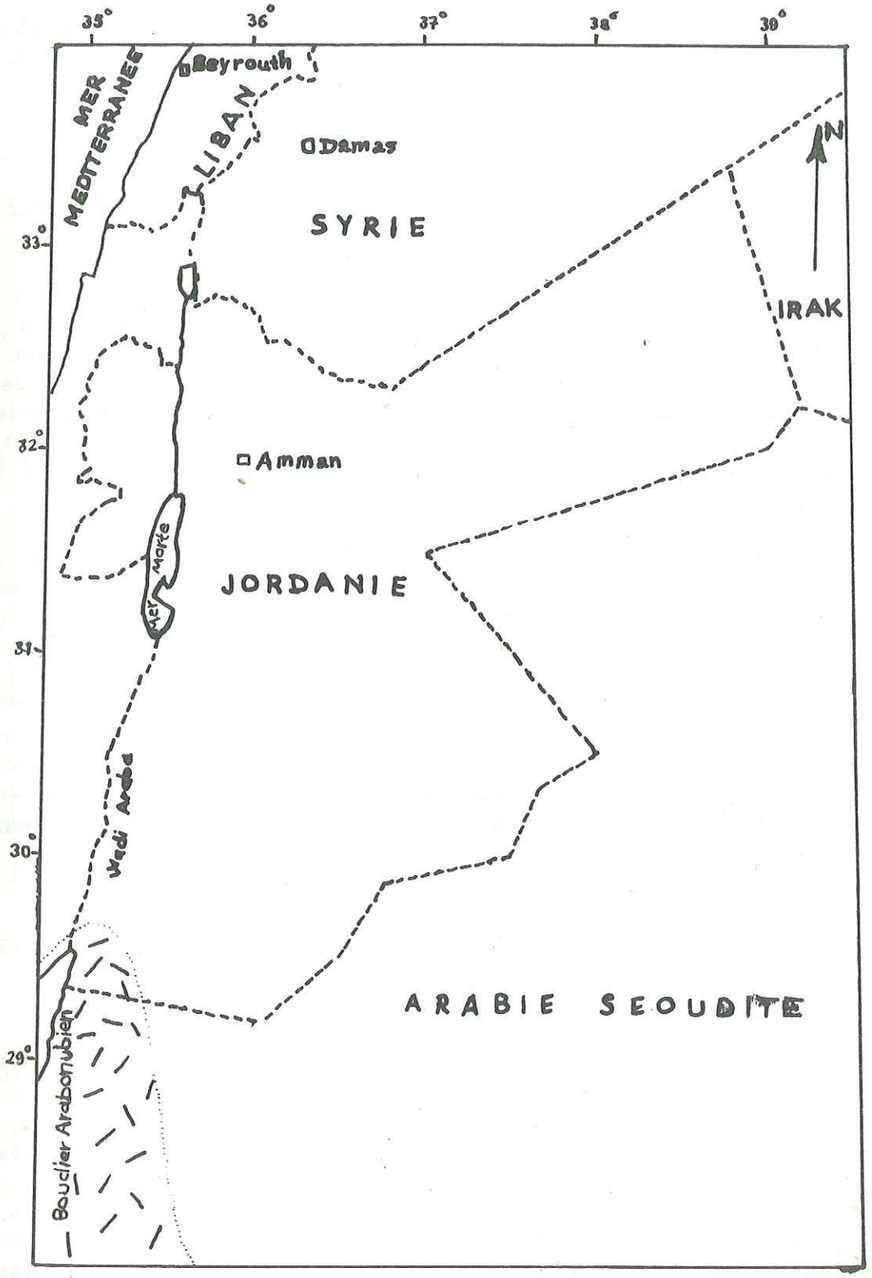


FIG 1-1 CARTE DE LOCALISATION

I - INTRODUCTION

La Jordanie est comprise entre les latitudes 20°1/2 N et 33°N et les longitudes 35°E et 39° 1/2 E avec une superficie de 94500 Km2. Ce pays est délimité

- au Nord par la Syrie
- au Nord-Est par l'Irak
- à l'Ouest par l'Arabie Séoudite
- au Sud et au Sud-Est par le Golfe d'Akaba et l'Arabie Séoudite (Fig. 1-1)

La partie nord du pays, où se trouve la région qui fait l'objet de notre étude, comporte un plateau dont l'altitude varie de 550 à 1000 mètres. Ce plateau a été découpé par un graben ou zone d'effondrement de direction Nord-Sud et de 100 m de profondeur environ. Ce graben est une partie de la zone faillée le long de la ligne de partage de l'Asie et de l'Afrique continentales, qui comporte la vallée du Jourdain. Cette vallée commence au lac de Tiberiade au nord et se termine à la Mer Morte au Sud, avec des altitudes allant de -200 à - 400 m.

A l'Est de la vallée du Jourdain on trouve un plateau qui montre une inclinaison lente vers l'Est. Ce plateau comporte un escarpement qui présente un pendage vers l'Ouest et qui est découpé par quatre torrents pérennes qui drainent l'escarpement vers le Mer Morte et onze ruisseaux qui drainent l'escarpement vers le Jourdain.

La région qui fait l'objet de cette étude tire son nom de la rivière Zerqa, qui la traverse de l'Est à l'Ouest. D'une façon générale, cette région est située au Nord-Ouest de la Jordanie septentrionale et à l'Est de la vallée du Jourdain (Fig. 1-2). On a divisé le secteur étudié en trois régions :

1 - Région de Baqa
2 - Région de Jerash
3 - Région de Salt

1-1 - REGION DE BAQA

Cette région est située à 16 Km au Nord-Ouest d'Amman et comporte la partie la plus intéressante de la région étudiée car elle est très près de la ville d'Amman et riche en eaux souterraines propres.

La région de Baqa représente une longueur de IO Km et sa largeur varie de 5 à 8 Km, pour une superficie de 56 Km2. Cette région est entourée par des montagnes qui montrent une inclinaison vers le centre de la région.

L'ensemble des petits oueds qui se trouvent au Nord-Est de cette région, forment l'oued Salehie tandis que l'ensemble des oueds au Sud-Est forment l'oued Um Edananir Les deux principaux oueds drainent la région dont l'altitude varie de 570 à 720 m vers la rivière Zerqa.

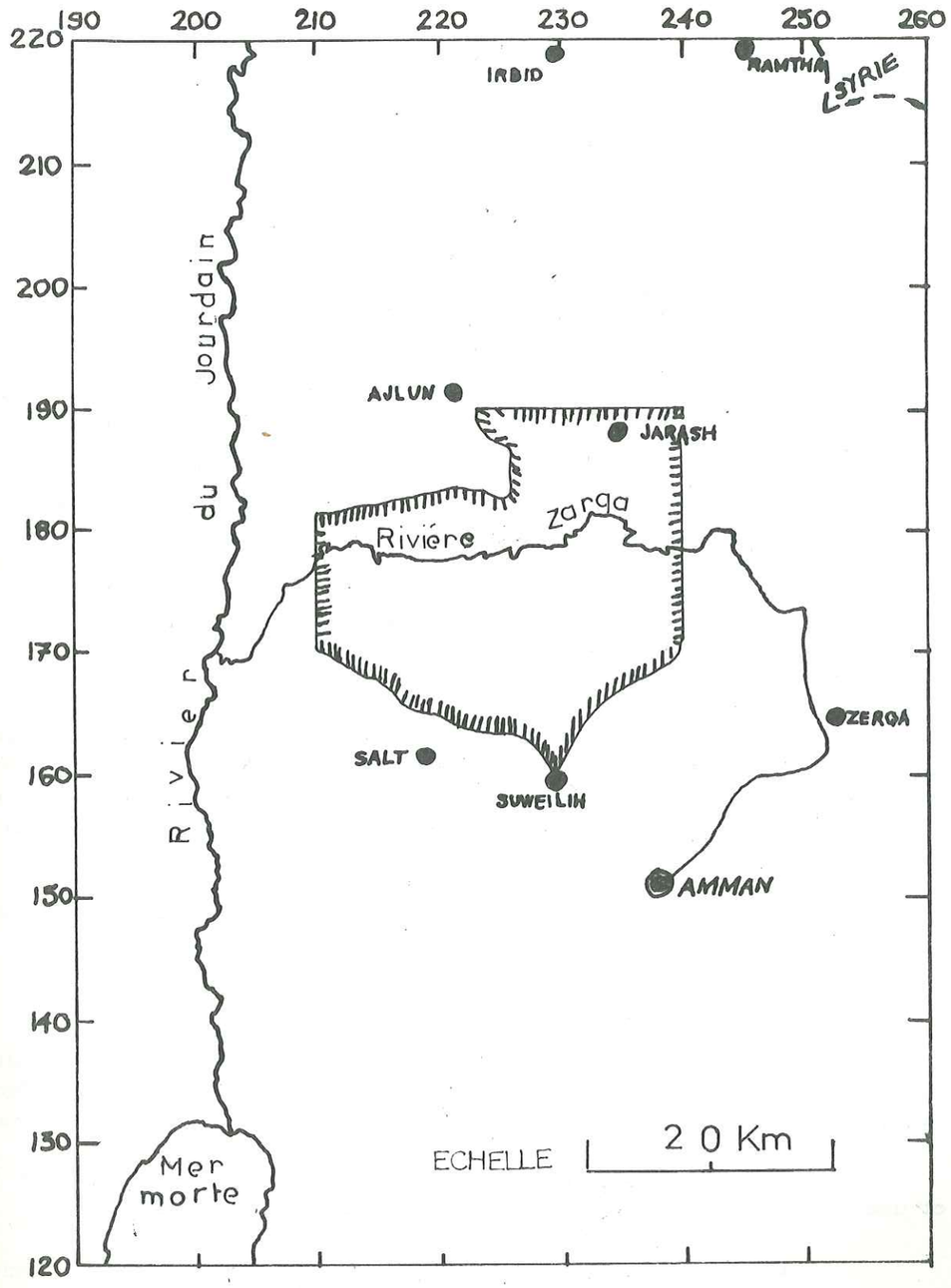


Fig 1_2 Localisation de la Region étudiée

Il existe trois villages dans cette région (Mubis Abou Nsaire et Ain El Basha) avec 5000 habitants et un camp de réfugiés qui a environ 100 000 habitants.

2500 Daname (1-Donam = 1000 m2) de terrains de culture de la région sont irrigués par les eaux de pompage de 13 puits et les eaux de quelques sources. Le reste des terrains de culture est arrosé par la pluie.

Le sol de cette région est de type rouge et considéré parmi les sols méditerranéens par Barker (1969) . les précipitations annuelles dépassent 300 mm.

1-2 - REGION DE JERASH

Cette région est située entre la rivière Zerqa au sud (4 Km à l'Est du Pont Neuf) et à 5 Km au Nord de la ville de Jerash. La région présente une longueur de 12 à25 Km et une largeur de 3 à 11 Km pour une superficie de 265 Km2.

Dans cette région l'altitude varie entre 150 m près du barrage du roi Talal au Sud-Ouest et 1000 m près du village Dibbine au Nord-Ouest. Cette région est drainée par l'ensemble des oueds vers la rivière Zarqa.

Il existe dans la région de Jerash plusieurs villages et deux camps de réfugiés avec environ 100 000 habitants.

500 Doname (1000m2) de terrains de cultures sont irrigués par les eaux de pompage de 12 puits dans la partie Nord-Ouest de la région de Jerash et de 5 puits dans la partie Nord-Est, plus les eaux de sources et de la rivière Zerqa. Le reste des terrains de culture est arrosé par la pluie.

Les sols de cette région sont de types rouges et sont considérés parmi les sols méditerranéens.

1-3 - REGION DE SALT

A l'Ouest de la région de Baqa se situe la région de Salt qui est comprise entre la rivière Zerqa au Nord, la ville de Salt au Sud, la région de Baqa à l'Est et la chaine montagneuse de Salt à l'Ouest.

Cette région présente une longueur qui varie de 20 à 25 Km et une largeur de 10 à 15 Kms avec une superficie de 329 Km2.

L'altitude dans cette région varie de 600 à 1000 m. L'ensemble des oueds draine cette région d'une part vers la rivière Zerqa et d'autre part vers la vallée du Jourdain.

Tous les terrains de culture dans la région sont arrosés par la pluie sauf quelques cents Donam (1000 m2) qui sont irrigués par les eaux de pompage et les eaux de quelques sources.

C H A P I T R E II

II - SITUATION GEOLOGIQUE

2 -1 - GEOLOGIE GENERALE DE LA JORDANIE

2- 2 - GEOLOGIE DE LA REGION DE LA RIVIERE ZERQA

II - SITUATION GEOLOGIQUE

2-1 - GEOLOGIE GENERALE DE LA JORDANIE

La Jordanie est située en bordure Nord du bouclier Arabonubien, la dégradation de ce bouclier a fourni les matériaux qui ont été à l'origine des sédiments dispersés au cours de l'histoire géologique de ce pays.

La Téthys a envahi le pays à plusieurs reprises venant de l'Ouest et du Nord-Ouest vers le Sud-Est. Il en a résulté la formation de plusieurs séquences régressives et transgressives avec des coupures géologiques bien définies , qui déterminent le caractère essentiel de la sédimentation de cette région.

Un graben ou zone d'effondrement coupe le pays, le long de l' Wadi araba,de la Mer Morte et de la vallée du Jourdain.

Ce graben est considéré comme la suite des grabens de l'Afrique de l'Est. Une zone d'instabilité ou d'extension a existé approximativement le long du graben actuel depuis le Précambrien (Bender -1967-) et jusqu'au au Mésozoïque. Elle a exercé une influence plus ou moins importante sur la sédimentation selon les périodes géologiques. Ce n'est qu'à l'oligocène que les conditions paléogéographiques dans cette zone ont dépendu essentiellement d'une subsidence de taphrogenèse (Bender, 1968) ou même, seulement durant le Néogène (Neev et Emery 1969). Cette influence est devenue plus récement très importante.

Trois facteurs semblent donc avoir contrôlé la sédimentation et l'histoire géologique de ce pays, à savoir, la présence du bouclier Arabonubien ,de la Téthys et de la géosuture de l' Wadi Araba-Vallée du Jourdain.

Après une étape d'érosion et de formation de sédiments continentaux principalement de grès, la Téthys a transgressé pendant le Cambrien moyen formant des calcaires et des dolomies (Bender 1968). Pendant l'Ordovicien des pulsations de transgressions suivies par des regressions ont eu lieu. Les sédiments sont principalement des grès marins et continentaux formés pendant cette période aux dépends des sédiments sous-jacents.

L'existence du Dévonien, du Carbonifère et du Permien n'est pas encore prouvée. Ces sédiments ont été probablement érodés à la suite de soulèvements qui ont eu lieu pendant ces périodes.

Une autre transgression a eu lieu pendant le Trias après une longue période d'érosion générale et n'a atteint que la partie centrale du pays. Les sédiments de cette période sont littoraux et lagunaires .

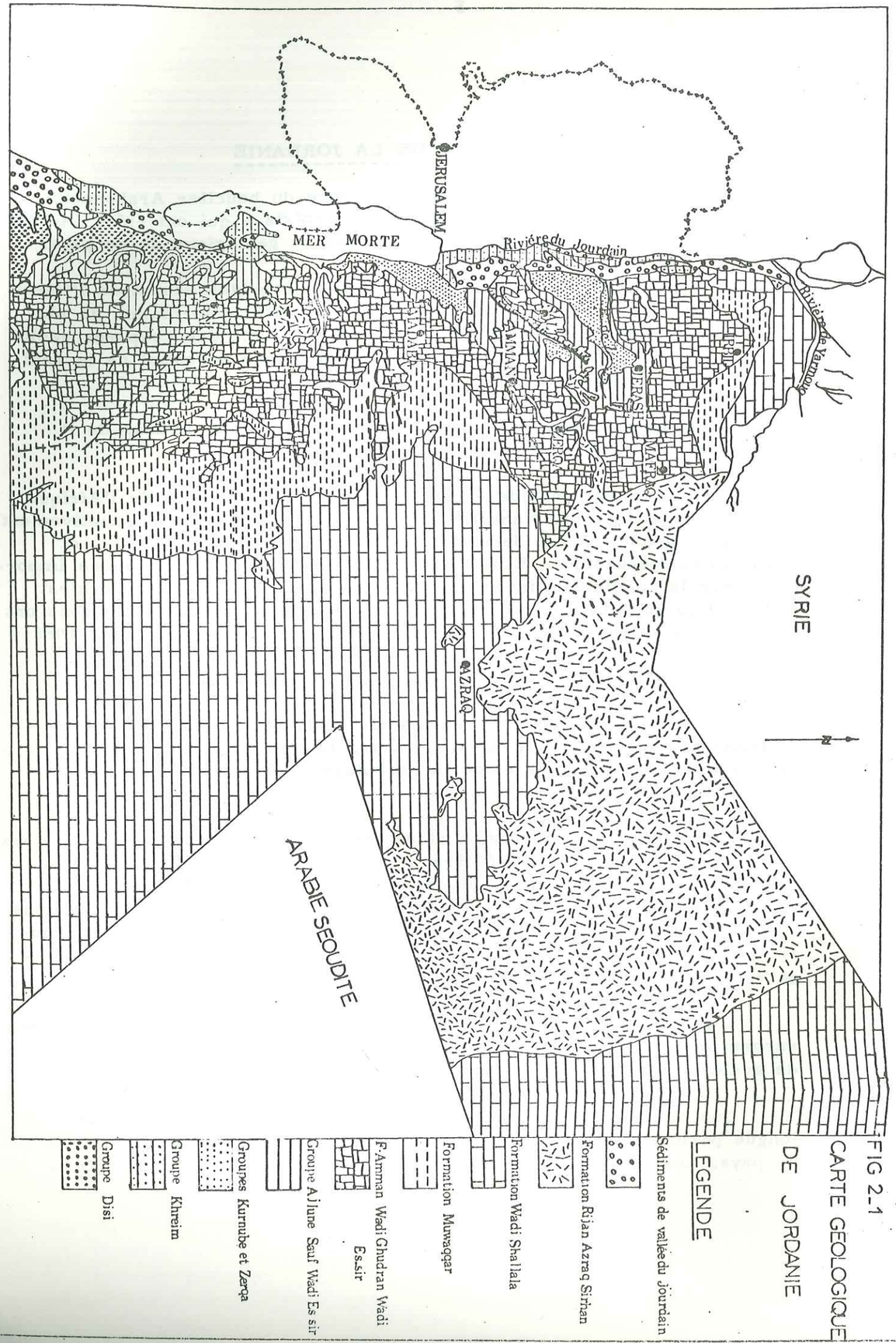


FIG 2-1 CARTE GEOLOGIQUE DE JORDANIE

Une transgression a eu lieu pendant le Jurassique et a suivi les mêmes directions que celle du Trias (Bender 1968). A la fin du Jurassique un nouveau soulèvement s'est produit (Bender 1968) et les sédiments gréseux continentaux et marins du crétacé inférieur sont séparés de ceux du Trias par une discordance angulaire.

Une transgression importante a eu lieu à la fin du Crétacé inférieur (Bender 1968) et a donné lieu à la formation d'une sédimentation de type géosynclinal. En effet, la présence de calcaires à nodules et d'épaisseur extraordinaires de séquence de silex formés durant cette période sont considérés comme des caractères essentiels de sédimentation géosynclinale du type pré-flysch. Pendant le même temps, des sédimentations rapides et des sédimentation de flyschs se produisent dans les parties Nord et Nord-Ouest du géosynclinal de la Téthys (Klemne, 1958). La figure 2-1 montre la carte géologique de la Jordanie.

2-2 - GEOLOGIE DE LA REGION DE LA RIVIERE ZERQA

2-2-1- STRATIGRAPHIE

Les sédiments de la région étudiée consistent essentiellement en grès, silts, dolomies, calcaires-dolomitiques, marnes et calcaires marneux. L'âge de ces sédiments varie du Trias au Crétacé supérieur.

Selon les études paélontologiques et lithologiques qui ont été faites sur les sédiments de notre région, ceux-ci ont été divisés en groupes et chaque groupe divisé en formations. Le tableau N° 2-1 montre ces groupes avec les formations et l'âge de chaque formation. La figure 2-4 montre la séquence lithologique des sédiments.

2-2-1-1- Groupe Zerqa

Quenelle (1951) a nommé les sédiments marins du jurassique et du Trias qui affleurent dans la région de la rivière Zerqa groupe Zerqa. Ces sédiments sont appelés groupe Roman par Wetzell et Morton (1958) qui ont subdivisé ce groupe en formations comme suit :

Formation	Age
Huni	Jurassique moyen
Subeihi	Rhétien -Lias
Zera gypse	Trias supérieur
Calcaire Hisban	Muschelkalk
Humrat Main	Werfenian.

Quenelle 1951 et Burdon (1959) ont corrélé les sédiments marins du groupe Zerqa avec les grès Um Sahm du désert du Sud, mais cette corrélation a été rejetée par Bender (1963) qui a indiqué que les grès Um Sahm sont de l'Ordovicien inférieur ou moyen.

TABLEAU 2_1

Hunting 1965 a utilisé le nom de groupe Zerqa pour ces sédiments. Ce groupe a été divisé en deux formations : formation inférieure Z1(séquence de gypses, grès et grès marneux)et formation supérieure Z2 (grès et grès dolomitiques calcaires-dolomitiques) selon la coupe et le tableau géologique figure 2-2 et le tableau 2-1.

L'affleurement le plus épais de la formation Z1a été rencontré par Lillich et Futpon dans l'oued Main Zerqa tandis que l'affleurement le plus épais de la formation Z2 a été rencontré par Masri dans l'oued Al Azab.

Barker a nommé Z1 la formation Main Zerqa et Z2 la formation Al Azab. La description détaillée de ces formations est la suivante :

2-2-1-1-1- Formation Main Zerqa Z1

Cette formation comporte tous les sédiments du Trias rencontrés par Wullie, Campbell et Lees (1923). La description lithologique de ces sédiments a été faite près de la Mer Morte. Cox (1932) a trouvé des fossiles du Trias inférieur dans ces sédiments à l'oued Main Zerqa. Ces sédiments dans la région étudiée ont été divisés par Huntings en trois termes qui sont, de haut en bas Zc, Zb et Za. L'épaisseur totale de ces sédiments est de 72 mètres.

- Zc : shales noirs de 12 mètres d'épaisseur
- Zb : calcaires massifs, clairs cristallins avec un banc de gypse. L'épaisseur est de 25 m
- Za : Marnes et calcaires marneux. L'épaisseur est de 15 mètres.

Les Myophoria qui indiquent le Trias se trouvent dans les deux termes Za et Zb.

Dans l'oued Main Zarqa, ces sédiments atteignent 196 mètres d'épaisseur. Comme il est indiqué par les forages réalisés dans la région de Baqa, ces sédiments atteignent 950 m d'épaisseur, mais l'épaisseur de la formation Main Zarqa doit dépasser 950 mètres car il y a une variation latérale au sud-est du puits n° 9 dans la région de Baqa comme cela est montré par la figure 2-3).

2-2-1-1-2 La formation Al Azab Z2

Cette formation comporte tous les sédiments du jurassique, décrits en Jordanie par Wetzstein (1859) qui a trouvé quelques fossiles du Jurassique dans la région de la rivière Zerqa. Plusieurs études faites sur les sédiments du Jurassique et leurs fossiles indiquent que les sédiments du Jurassique qui affleurent dans la région de la rivière Zarqa sont du Bajocien-Bathonien (voir tableau N°2-1 et la figure 2-2).

Ces sédiments ont été divisés par Weztel et Morton (1958) en deux formations.

Formation	Age
Huni	Bajocien-Bathonien
Subeihi	Rhétien-Lias

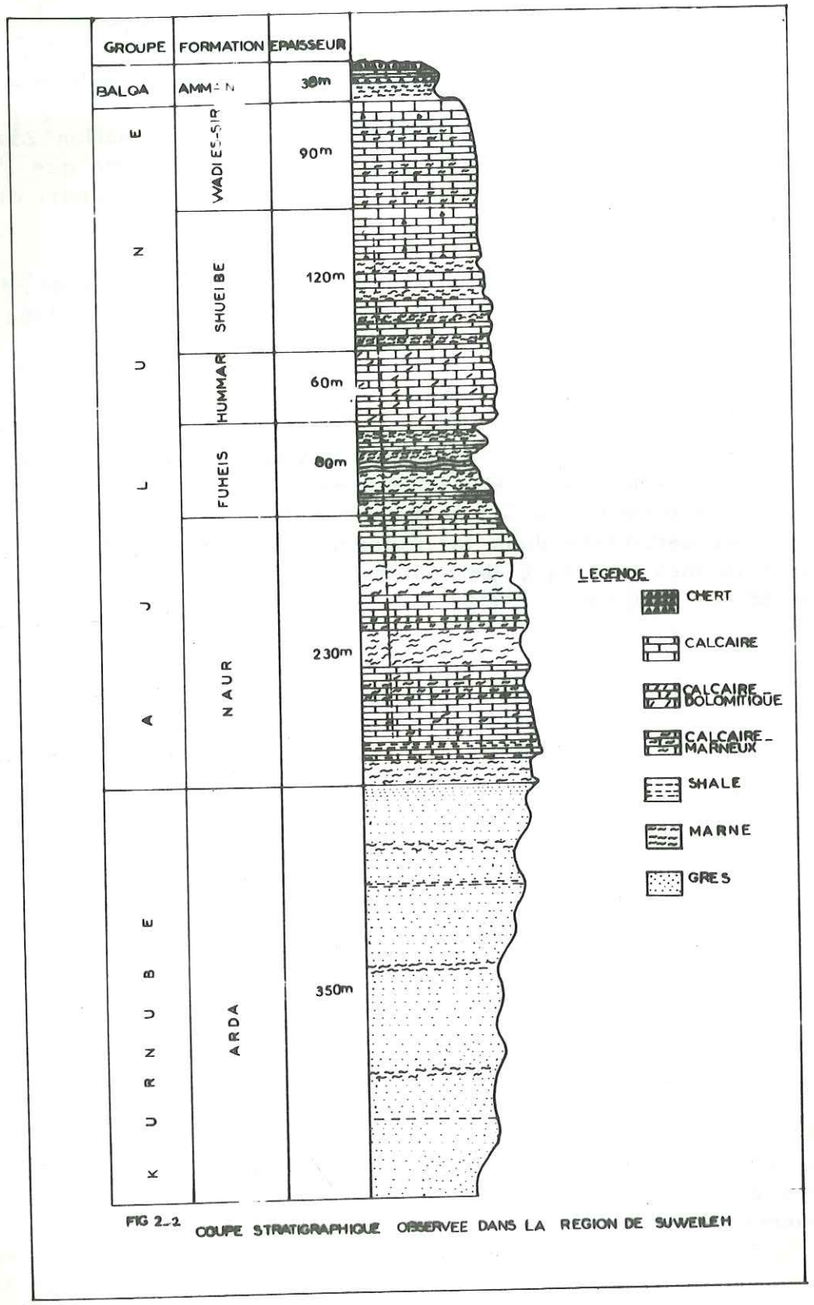


FIG 2-2 COUPE STRATIGRAPHIQUE OBSERVEE DANS LA REGION DE SUWEILEH

Hunting (1965) a divisé la formation Azab Z2 en trois formations de haut en bas comme suit :

$Z2^a$: formation supérieure : l'épaisseur de cette formation varie de 130 à 150 mètres, c'est une succession de shalesmarneux, dolomies et de grés interstratifiés

Z2b : formation moyenne : cette formation consiste en calcaires massifs avec intercalations de veines de calcite. L'épaisseur de cette formation varie de 40 à 50 mètres.

Z2c : formation inférieure : elle consiste en grès massifs friables de couleur variable , shales et calcaires. L'épaisseur de cette formation varie de 100 à 130 mètres.

L'affleurement le plus épais de la formation Azab se trouve dans l'oued El Azab où la succession lithologique est la suivante.

En haut, on trouve en concordance la formation Arda du groupe Kurnube suivie par la séquence suivante :

Epaisseur en mètre	Description lithologique
10	Intercalations de marnes dans les shales
3	Calcaires dolomitiques, de couleur claire , durs, fossilifères.
6	Marnes sableuses
2	Calcaires blancs, durs,
6	Marnes sableuses
10	Dolomies jaunes, dures, denses, cristallines.
3	Grès, à grains moyens
8	Dolomies sableuses dures
4	Marnes-sableuses
3	Calcaires dolomitiques sableux
2	Grès, jaunes, marneux à gros grains
9	Marnes
4	Grès à gros grains
14	Marnes sableuses
20	Calcaires marneux
5	Marnes sableuses
5	Grès à grain moyen
50	Calcaires massifs, durs, en bancs épais cristallins avec des veines de calcite.
10	Calcaires gréseux à grains moyens
10	Calcaires durs en lits minces
10	Shales
10	Grès blancs à gros grains
2	Shalessableux
10	Grès à gros grains
5	Shales sableux
12	Grès à gros grains
10	Calcaires blancs en lits minces
4	Grès, blancs à grains gros à moyens

Epaisseur en m	Description lithologique
2	Shales-sableux
15	Grès blancs a grains moyens
2	Shales
8	Grès blancs à grains moyens
2	Shales
10	Grès blancs à grains moyens

L'épaisseur totale d'affleurement de cette formation à l'oued El Azab est de 300 mètres.

La formation Azab est absente à l'affleurement dans l'oued Main Zerqa où le groupe Kurnube repose directement en discordance sur la formation Main Zerqa.(voir tableau n°2-1) Elle est aussi absente dans quelques forages réalisés dans la région de Baqa. Dans d'autres forages la formation manque comme par exemple dans le forage n° 12. L'épaisseur rencontrée est de 80 mètres. Les figures 3 et 4 montrent les variations latérales de cette formation.

Le contact de cette formation avec la formation Arda du groupe Kurnube est souvent associé à une discordance marquée par un niveau de conglomérats, mais ce n'est pas le cas de la région étudiée.

Dans notre région le contact est marqué par des grès recouverts par un horizon de calcaires-dolomitiques.

2-2-1-2- Le groupe Kurnube

Le nom de groupe Kurnube a été employé pour la première fois en 1933 par Damesin qui a donné ce nom aux grès continentaux du Nubien. Ce nom a été utilisé par Quenelle (1951) et Burdon (1959) Le nom du groupe Kurnube a été adopté par la C.W.A. (Central Water authority) de la Jordanie en 1963 et par Hunting (1965) . Seules des plantes sont rencontrées dans ces sédiments. Edward (1929) a attribué ces sédiments au Néocomien. Watzel et Morton (1958) ont attribué les couches de grès calcaireux qui sont incluses dans les grès du groupe Kurnube à l'Albien. L'âge le plus probable des sédiments du groupe Kurnube est le Crétacé inférieur.

Du point de vue lithologique, ce groupe de sédiments consiste en majorité en grès continentaux. Ces sédiments se caractérisent par des passages latéraux à des argiles et des calcaires-dolomitiques, qui indiquent un effet de l'environnement marin de la zone de dépôt.

Keppie (1963) pendant ses études sur la route de Jerash dans la région de la rivière Zerqa., a divisé ce groupe en trois parties par rapport à la couche de dolomies de 1.5 à 4 mètres d'épaisseur qu'il a considéré comme un horizon marqueur. Ces trois parties sont Kurnube inférieur K1, Kurnube moyen K2 et Kurnube supérieur K3. L'horizon marqueur de dolomie n'affleure pas très bien et est parfois complètement absent comme cela a été montré par les études de subsurface de quelques forages dans la région de Baqa, tandis qu'il devient épais dans les

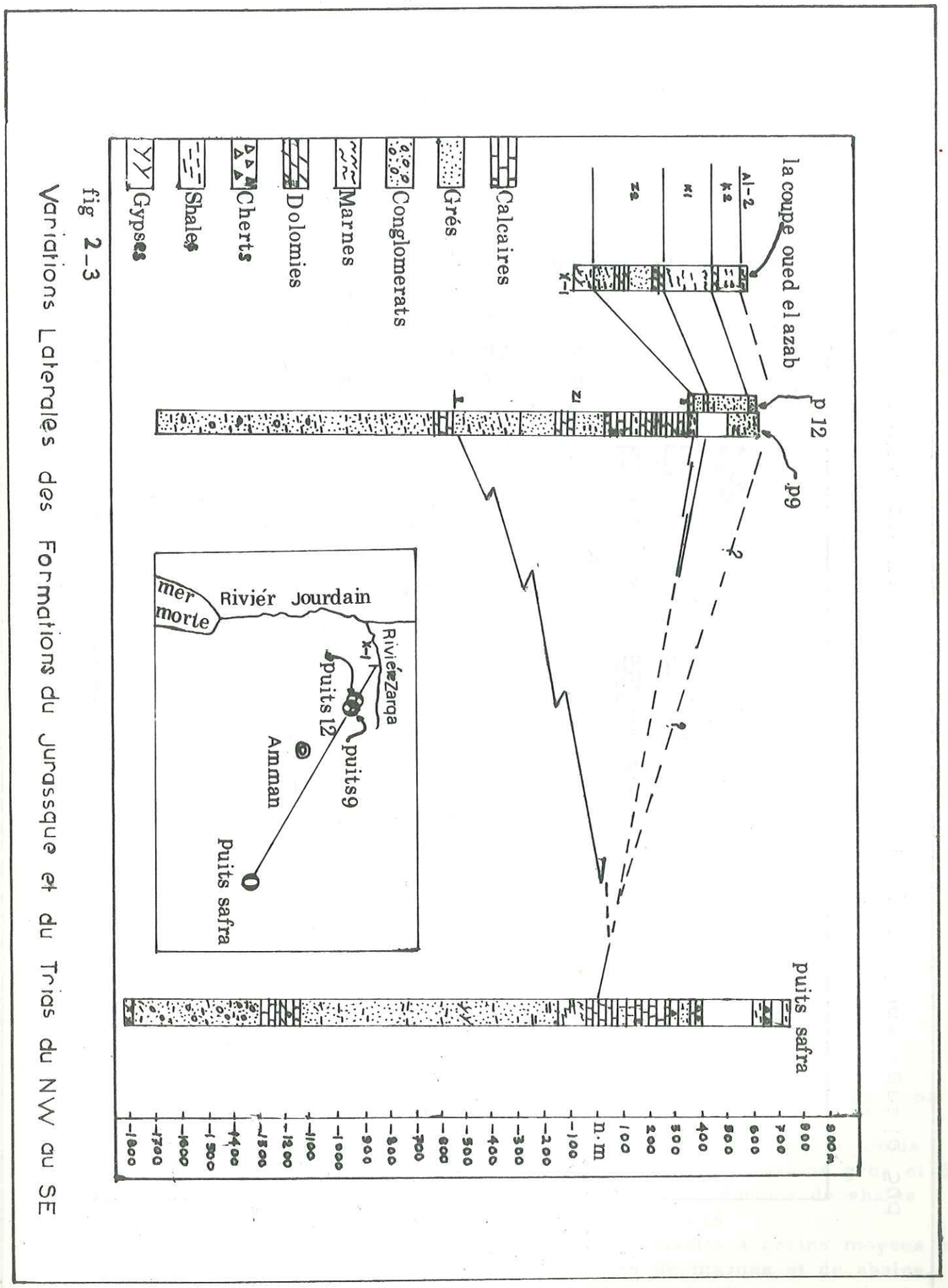


fig 2-3
Variations Laterales des Formations du Jurassique et du Trias du NW au SE

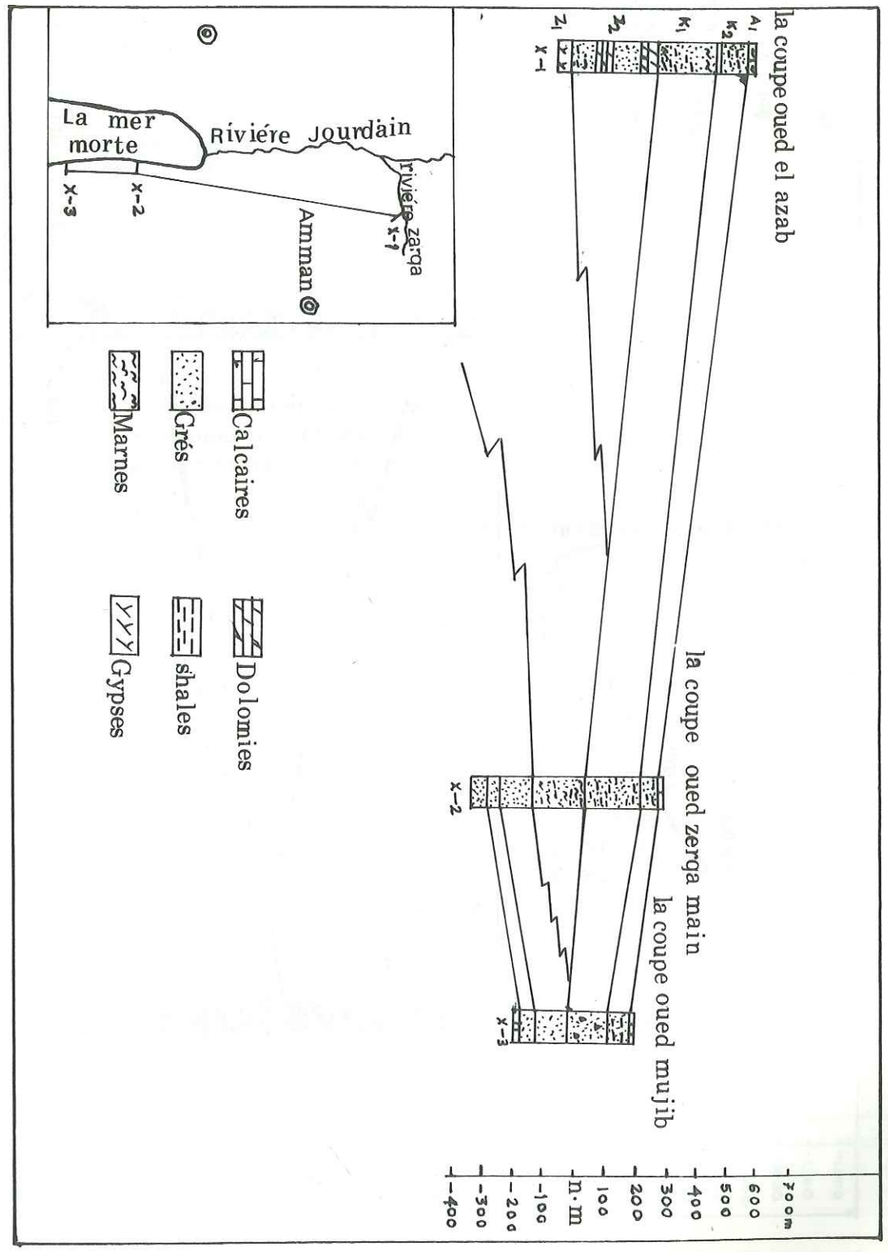


fig 2-4 Variations Laterales des Formations du Jurassique et du Trias Vers le Sud

localités El Majdal et Da Ffali.

Selon les caractéristiques lithologiques des sédiments la G. G. M. (German Geological Mission) à divisé ce groupe en deux formations : la formation supérieure et la formation inférieure. La formation supérieure consiste en grès massifs, blancs, tandis que la formation inférieure consiste en grès de couleurs variées.

La coupe type de ces deux formations a été mesurée près de la route de Arda à 3 km au sud-ouest du village de Subeihi.

Pour notre étude , on admet cette répartition du groupe Kurnube et on appelle la formation supérieure ; subiehi et la formation inférieure : Arda (voir tableau n°2-1 et la figure n° 2-4.

2-2-1-2-1- La formation Arda K1

Cette formation est équivalente aux formations K1 et K2 de Keppie (1964) et aussi aux grès massifs de G. G. M. Elle consiste essentiellement en grès massifs quartzeux, blancs, friables, à grains moyens et en marnes et schistes de couleur variable.

L'épaisseur de cette formation varie de 150 à 200. mètres dans la région étudiée. Les études de subsurface dans la région de Baqa indiquent que cette formation varie de 100-130 m en épaisseur.

Le contact inférieur de la formation Arda est marqué par un horizon épais de schistes et de calcaires dolomitiques comme cela a été indiqué par les échantillons prélevés pendant les sondages dans la région de Baqa.

La coupe type de la formation Arda est la suivante (voir figure n° 2-2).

Epaisseur en mètres	Description lithologique
15	Grès, blancs massifs à grains fins
2	Shale vert
4	Dolomie sableuse
4	Shale vert
20	Grès blancs, massifs à grains gros et moyens
3	Marnes jaunes
25	Grès, calcaires massifs à grains gros et moyens.
5	Grès, calcaires en bancs épais
20	Grès blancs massifs à grains gros et fins
6	Marnes avec intercalations de shales
10	Grès blancs massifs
30	Grès blancs massifs à grains moyens avec intercalations de marnes et de shales.
10	Grès blancs quartzitiques
15	Grès blancs massifs avec des bancs de dolomies
5	Grès blancs et dolomies massives
6	Grès blancs

Epaisseur en mètres	Description lithologique
3	Grès intercalés avec des shales
12	Grès de couleurs variées quartzitiques
3	Marnes jaunes

2-2-1-2-2- La formation Subeihi K2

Cette formation est équivalente à la formation K3 de Keppie et équivalente aussi à l'unité de grès versicolore de G.G.M.

Elle consiste en grès silteux à grains fins à moyens. La séquence comprend des grès versicolores, alternants avec des calcaires, des dolomies et des calcaires marneux et des shales ou grès à grains fins.

La majorité de cette formation est érodée dans la région de Baqa. L'épaisseur de cette formation est d'environ 132 mètres, mesurée à 3 Km au sud-ouest du village Subeihi, tandis que cette épaisseur était de 65 mètres dans le forage n° II dans le secteur de Baqa.

La karstification dans les grès de cette formation est bien visible surtout dans les carrières. Le développement de la karstification est du aux dissolutions dans les joints qui augmentent la largeur et le volume de ces joints.

Le contact inférieur de la formation Subeihi K2 n'est pas bien défini. Il se situe à la base d'une couche mince de grès versicolores surmontée de grès massifs, friables, blancs.

La coupe type de cette formation est la suivante : (voir la figure 2-3).

Epaisseur en mètres	Description lithologique
5	Grès rouges avec des lits minces de sable friable.
8	Sable versicolore, friable, shale vert
16	Grès et sables blancs, quartzeux avec quelques sables.
4	Calcaires dolomitiques sableux durs
20	Sables et grès surtout blancs à grains fins
1	Dolomies sableuses très dures
6	Grès blancs friable à grains fins à moyens montrant une stratification entrecroisée
1	Marnes jaunes
3	Grès blancs, friables, avec stratification entrecroisée
2	Argiles vertes.
15	Grès blancs friables, stratification entrecroisée

Epaisseur en mètres	Description lithologique
15	Grès versicolores, friables en bancs épais
2	Argiles vertes
13	Grès et sables blancs a grains moyens, friables.
1	Argiles à silex
3	Marnes sableuses
4	Grès et sables blancs avec intercalations d'argiles
2	Silt blancs
2	Shales verts avec silts
7	Grès et sables versicolores quartzeux.

2-2-1-3- Le groupe Ajlune

Le nom de groupe Ajlune a été utilisé par Quenelle en 1951 et les autres d'après lui.

Le nom de groupe Ajlune a été adopté par la C.W.A. (Central Water Authority) et Hunttings (1965) puis par N.R.A. (Natural Resources Authority) de la Jordanie. Les sédiments de ce groupe sont du Crétacé moyen.

Ce groupe a été divisé par Wolfort 1959 en sept unités utilisées par Mac Donald Huttings et Masri (1963) ont divisé le groupe Ajlune en cinq formations selon le nom de la localité d'affleurement. Huntings a nommé les cinq formations qui sont les suivantes de haut en bas selon leur âge.

- Formation Naur A 1/2
- Formation Fuhies A 3
- Formation Hummer A 4
- Formation Shueib A 5/6
- Formation Wadi-Essir A7

En général ce groupe comporte une alternance de marnes et de calcaires. Nous allons décrire chaque formation en détail.

2-2-1-3-1- La formation Naur A 1/2

La partie inférieure de cette formation A1 consiste essentiellement en marnes entrelardées d'une couche mince de calcaires marneux tandis que la partie supérieure A2 consiste en calcaires denses, durs avec des calcaires marneux et des marnes. L'épaisseur de cette formation varie de 150 à 230 mètres. Elle représente le Cénomanien inférieur. La coupe type de cette formation est celle de la figure n° 2-5 observée près de Jerash.

2-2-1-3-2- La formation Fuhies A 3

Cette formation consiste en marnes entrelardées de calcaires marneux. L'épaisseur de cette formation varie de 70 à 80 mètres. Elle est du Cénomanien inférieur à Cénomanien moyen. La figure n° 2-2 montre la coupe type de cette formation près de la ville de Suweilih.

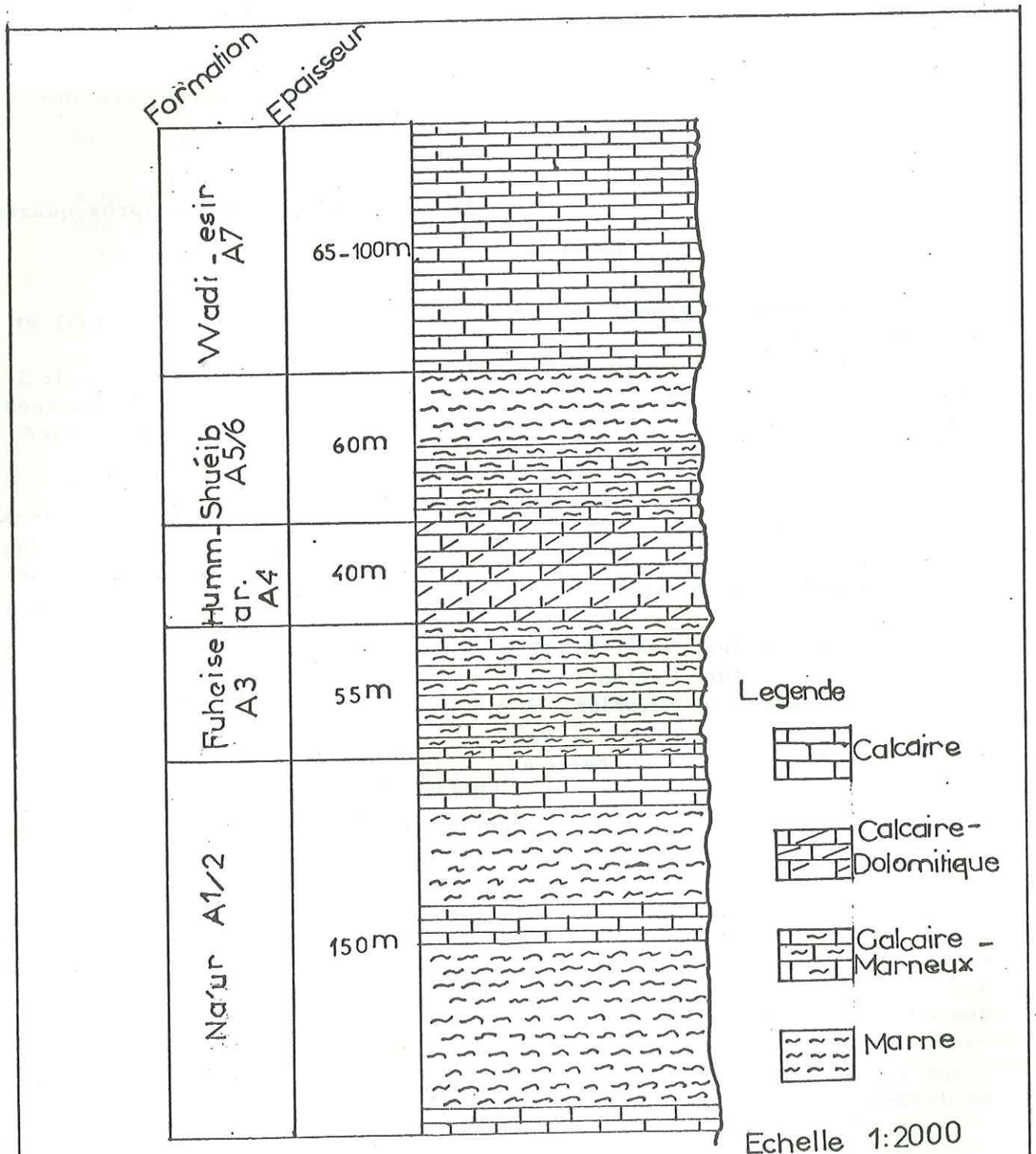


Fig 2-5 Coupe Stratigraphique Du Groupe Ajlune Obsérvée Prés De Jerash

2-2-1-3-3- La formation Hummer A 4

Cette formation consiste essentiellement en calcaires cristallins avec des calcaires dolomitiques très durs, denses. Les calcaires de cette formation sont très fissurés et karstifiés à la surface. L'épaisseur de cette formation varie de 24 à 45 mètres. Elle est du Cénomanien moyen à Cénomanien supérieur.

2-2-1-3-4- La formation Shueib A 5/6

Cette formation consiste en calcaires marneux avec des marnes et quelquefois des argiles. La partie supérieure de cette formation A 6 consiste en marnes, calcaires marneux et calcaires cristallins avec shales. L'épaisseur de cette formation varie de 56 à100 mètres. Elle est du Cénomanien supérieur. La figure 2-2 montre la coupe type de la formation Shueib près de la ville de Suweileh.

2-2-1-3-5- La formation Wadi-Essir A 7

La partie supérieure de cette formation consiste en calcaires massifs porcellaneux avec des nodules de cherts. Les textures karstiques sont développées en surface tandis que la partie inférieure consiste en calcaires cristallins à grains fins et quelquefois en calcaire marneux. L'épaisseur de la formation A 7 varie de 65 à 120 mètres. Elle est du Turonien.

2-2-1-4- Le groupe Belqa

Le nom de groupe Belqa a été employé pour la première fois en 1951 par Quenelle comme pour le groupe Ajlune. Ce terme a été adopté par C. W. A. (Central Water authority) de la Jordanie, par Hunttings (1965) et par N. R. A. plus tard.

Ce groupe a été divisé en 5 formations B5, B4, B3, B2 et B1 de haut en bas. Chaque formation tire son nom de celui de la localité d'affleurement (Masri 1963). Dans notre région seules les formations Ruseifa B1 et la formation Amman B2 affleurent

2-2-1-4-1- La formation Ruseifa B1

Cette formation consiste en craie , marnes crayeuses avec des calcaires et quelques couches de cherts. L'épaisseur de cette formation varie de 10 à 30 mètres. La figure 2-2 montre la coupe type de cette formation

2-2-1-4-2- La formation Amman B2

Cette formation consiste en calcaires et cherts. Son épaisseur varie de 100 à 150 mètres quand elle n'est pas érodée. Dans la région de notre étude, elle se trouve au sommet de quelques montagnes. Les deux formations B1 et B 2 sont du Santonien Campanien. Ces deux formations forment la base du groupe Belqa (voir fig. n° 2-2).

2-2-1-5- Les sédiments récents

Les sédiments récents consistent essentiellement en graviers qui se trouvent au fond des oueds et atteignent une épaisseur de 15 mètres en couverture de sol, en surfaces carbonatées et en alluvions quaternaires. La figure n° 2-6 montre la carte géologique de la région de Baqa.

2-2-2- TECTONIQUE

En général on peut dire que la région de la rivière Zerqa est très compliquée du point de vue tectonique. Cette région a subi des forces de compression pendant le Cénomanien et le Maestrichtien. D'autres forces latérales de compression sont intervenues probablement pendant l'Eocène. Ces forces ont une direction Sud à Sud-Est. A la suite de ces déformations, des plis assymétriques, des séries monoclinales, des flexures, des failles et des joints se sont formés selon une direction générale Nord-Est, Sud-Ouest. Des séries de synclinaux et d'anticlinaux se sont formés localement mais ne sont pas d'une grande importance. Nous allons diviser ces structures en deux termes :

- structures majeures
- structures mineures

2-2-2-1- Structures majeures

Ces structures qui ont une grande importance et une extension régionale sont :

- les anticlinaux
- Les synclinaux
- Les failles

2-2-2-1-1- Les anticlinaux

2- 2-2-1-1-1- L'anticlinal de Salt-Suweilih

Cet anticlinal est la structure la plus intéressante dans la région de notre étude. Cet anticlinal est considéré comme un monoclinal, mais en fait c'est un anticlinal assymétrique car son flanc Nord-Ouest montre un pendage d'environ 6°. Cette structure a une longueur de l'ordre de 130 Km dont 12 Km se trouvent dans la région de Baqa. Cet anticlinal est limité par la rivière de Zerqa au nord et par la zone des failles près de la mer Morte au Sud.
La direction de l'axe de cet anticlinal est Nord-Est Sud-Ouest. Ses deux flancs sont découpés par des failles parallèles et normales à la direction de son axe.

2-2-2-1-1-2- L'anticlinal d'Ajlune

Cet anticlinal est une des structures majeures dans la région étudiée. La direction de son axe est Nord-Est, Sud-Ouest. Le flanc Nord-Ouest de cet anticlinal a une pente faible et découpée par quelques plis et quelques

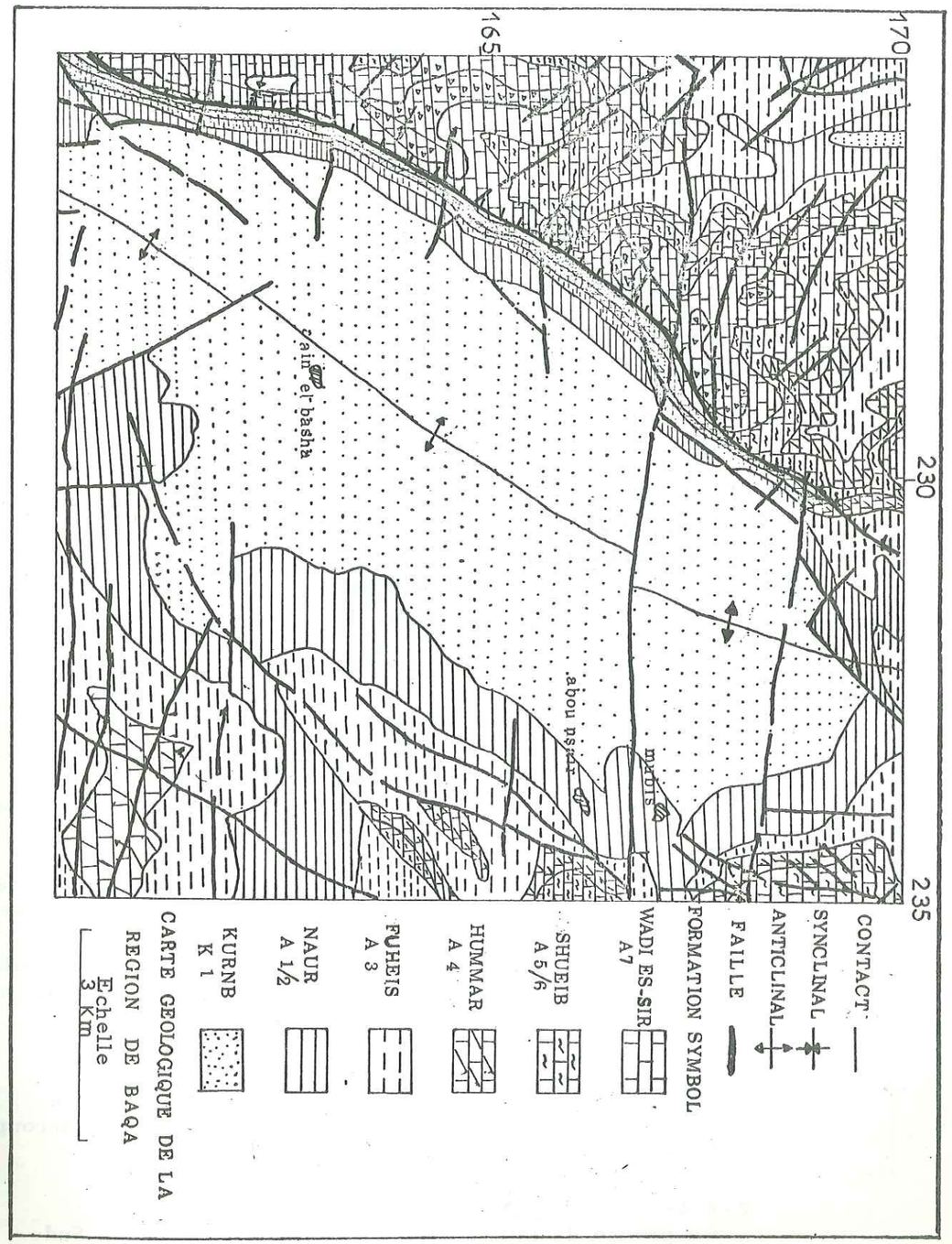


Fig. n° 2-6- CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE BAQA

failles mineures qui sont tous parallèles en général. Les sédiments de cet anticlinal appartiennent au groupe Ajlune et la partie inférieure du groupe Belqa

2-2-2-1-1-3- L'anticlinal d'Um Jauza

L'axe de cet anticlinal est parallèle à l'axe de l'anticlinal Salt-Suweilih c'est-à-dire a une direction Nord-Est - Sud-Ouest. La distance entre les deux axes est d'environ IO Kms.

2-2-2-1-1-4- L'anticlinal Subeihi

L'axe de cet anticlinal est parallèle à la direction de la rivière Zerqa dans notre région soit approximativement une direction Est - Ouest. Cet anticlinal a 9 Km de longueur et 5 Km de largeur.

2-2-2-1-2- Les synclinaux

2-2-2-1-2-1- Synclinal de Salt Suweilih

Ce synclinal est situé entre l'anticlinal de Salt Suweilih et l'anticlinal d'Um Jauza. L'axe de ce synclinal a une direction parallèle à la direction de l'axe de ces deux anticlinaux c'est-à-dire Nord-Est - Sud-Ouest.

2-2-2-1-2-2- Synclinal Daffali

Ce synclinal est symétrique et situé entre les anticlinaux Subeihi et Um Jauza. Le synclinal Daffali plonge vers le Sud-Ouest.

2-2-2-1-2-3- Synclinal d'Oued el Azab

Ce synclinal est situé au coeur de la rivière Zarqa et son axe a une direction Est-Ouest.

2-2-2-1-3- Les failles

Les failles peuvent être divisées en trois groupes selon leur direction :

2-2-2-1-3-1- Le groupe de direction Nord-Sud

Ce groupe de failles est presque parallèle aux structures de la vallée du Jourdain et elles se trouvent dans la partie Ouest de la" région de la rivière Zarqa "
Ces failles sont de type normal et le coté Est de la faille est toujours soulevé (down thrown side). En conséquence on a un système de failles en escaliers

2-2-2-1-3-2- Le groupe Nord-Est - Sud-Ouest

Ce groupe existe dans la partie Sud-Est de la région étudiée .Pendant leur développement ces failles ont découpé l'anticlinal et le synclinal de Salt-Suweilih.

2-2-2-1-3-3- Le groupe de failles Est-Ouest

Ce groupe de failles se trouve à la partie Est et Sud-Est de la région étudiée. Ce groupe a provoqué un décrochement latéral de l'axe de l'anticlinal de Salt-Suweilih et aussi a découpé ses flancs.

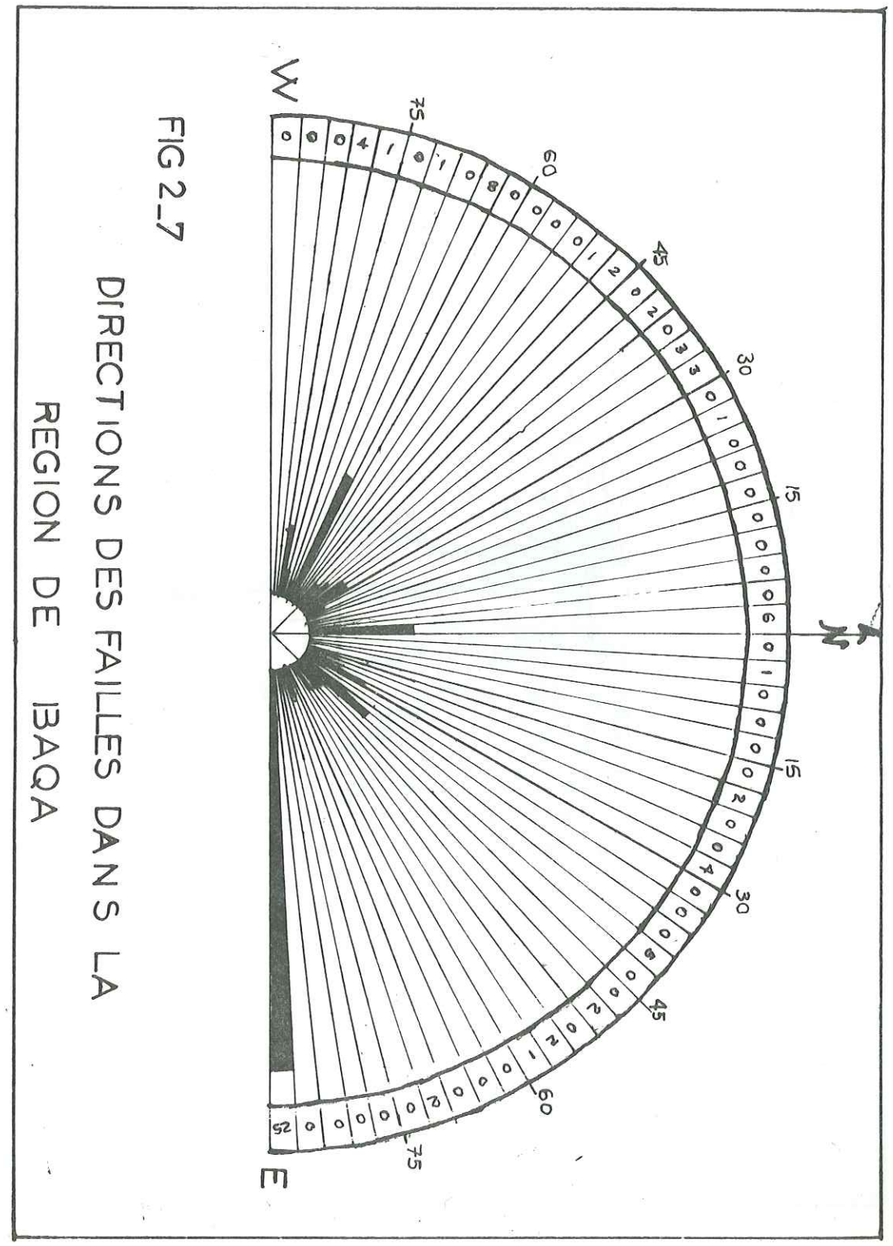


FIG 2_7

DIRECTIONS DES FAILLES DANS LA REGION DE IBAQA

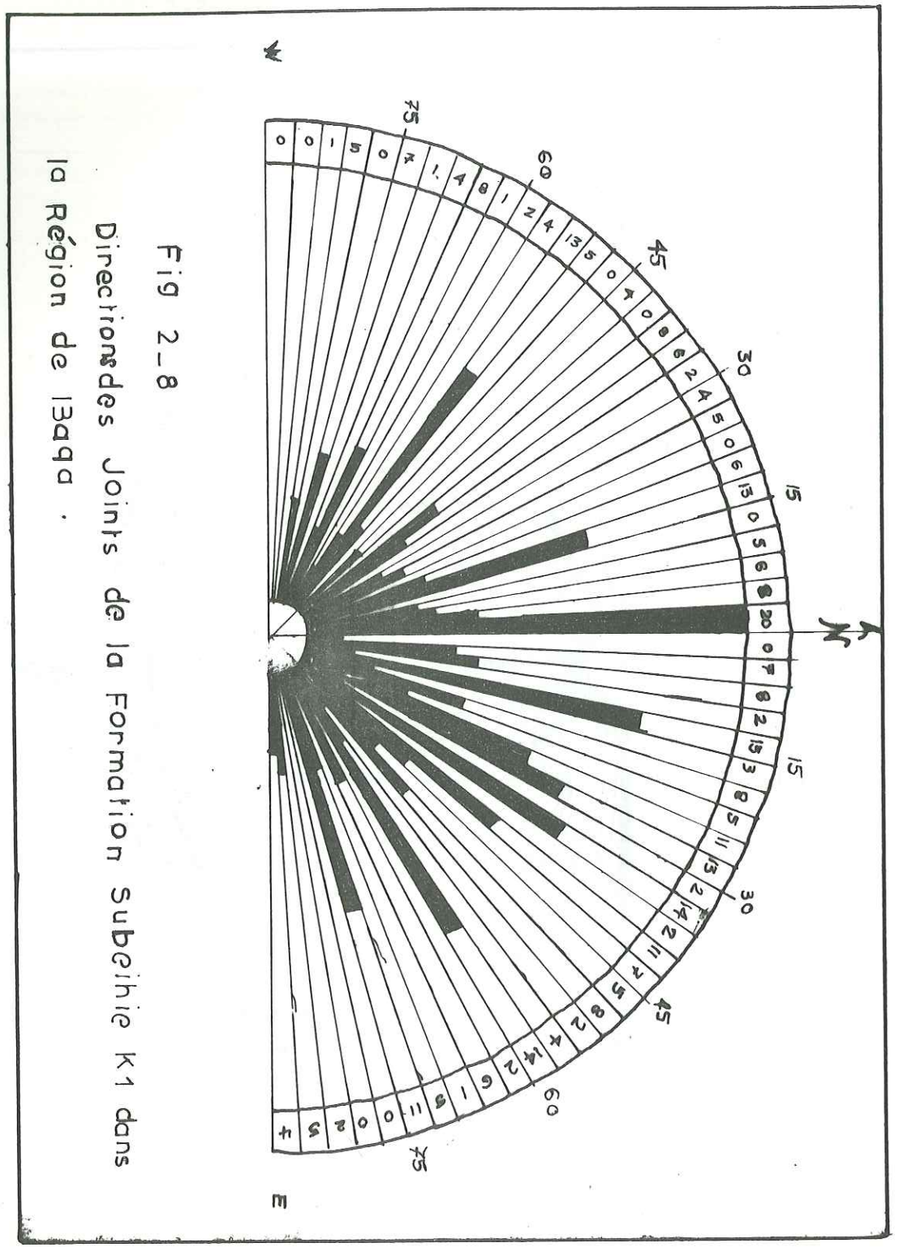


Fig 2_8

Directions des Joints de la Formation Subeihie K1 dans la Région de Baqa .

2-2-2-2- Structures mineures

2-2-2-2-1- Les synclinaux et les anticlinaux

Ces structures existent dans la région étudiée avec une direction Sud-Nord. La majorité de ces structures plongent vers la rivière Zerqa. Leurs longueurs varient de 1 à 5 mètres et la largeur varie de O,5 à 5 mètres.

2-2-2-2-2- Les failles

Dans notre région ces failles ont une direction Sud-Est - Nord Ouest. Leurs jeux sont variables.

2-2-2-2-3- Les joints

Les joints se trouvent dans les différentes roches qui existent dans notre région. Les joints les plus importants se trouvent dans les calcaires, les horizons dolomitiques et les grès du groupe Kurnube.

2-2-2-2-3- Les structures dans la région de Baqa

Dans la région de Baqa, il existe l'anticlinal de Salt-Suweilih, les deux flancs de cet anticlinal sont découpés par des failles, soit parallèles, soit normales à la direction de son axe.

De nombreuses failles normales existent dans la région de Baqa qui provoquent des déplacements d'ampleurs différentes.

La majorité de ces failles ont la direction Est- Ouest et la plu - part sont obliques. La figure n° 2-7 montre leurs directions.

Des joints de distension se trouvent dans les grès avec une direction normale à la direction de la majorité de failles dans la région de Baqa. La figure n° 2-8 montre ces joints et leurs directions.

CHAPITRE III

III- CLIMATOLOGIE

3-1-LE CLIMAT

3-2- LES VENTS

3-3- LES TEMPERATURES

3-4- LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

3-5- L'HUMIDITE RELATIVE

3-6- LES GELEES

3-7- LA NEIGE

3-8- LES PRECIPITATIONS

3-9- LES PRECIPITATIONS DANS LA REGION DE BAQA

3-10- DETERMINATION DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE DANS LA REGION DE BAQA

3-11- DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION DANS LA REGION DE BAQA

3-12- LE RUISSELLEMENT DANS LA REGION DE BAQA

3-13- BILAN HYDROLOGIQUE DANS LA REGION DE BAQA

3-14- DETERMINATION DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE DANS LA REGION DE JERASH ET LA REGION DE SALT

3-15- DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION DANS LA REGION DE JERASH ET LA REGION DE SALT

3-16- RUISSELLEMENT DANS LA REGION DE JERASH ET LA REGION DE SALT

III - CLIMATOLOGIE

3-1- LE CLIMAT

Le climat de la région étudiée est de type méditerranéen mais en réalité l'influence méditerranéenne est modifiée par l'influence de la topographie et de l'altitude.

A l'Est de la région, il y a un passage rapide du climat au type désertique, car l'influence méditerranéenne est remplacée par l'influence climatique du désert de la Jordanie qui s'étend à l'Est de la région étudiée.

3-2- LES VENTS

Les vents dominants sont ceux de l'Ouest, qui ont des vitesses comprises entre 12 Kt et 18 Kt.

En hiver, les vents qui soufflent du Sud-Est sont associés à des nuages de poussières, tandis que les vents de direction SW-NE sont associés avec la pluie.

Les vents du soir et du matin sont légers et variables et les vents sont nuls pendant 20 à 42 % du temps.

En été, les vents de direction SW-NE sont dominants, avec une vitesse de 20 à25 Kt, pendant la nuit et le matin les vents sont légers et variables . La figure n° 3-1 montre la rose des vents dans notre région.

3-3- LES TEMPERATURES

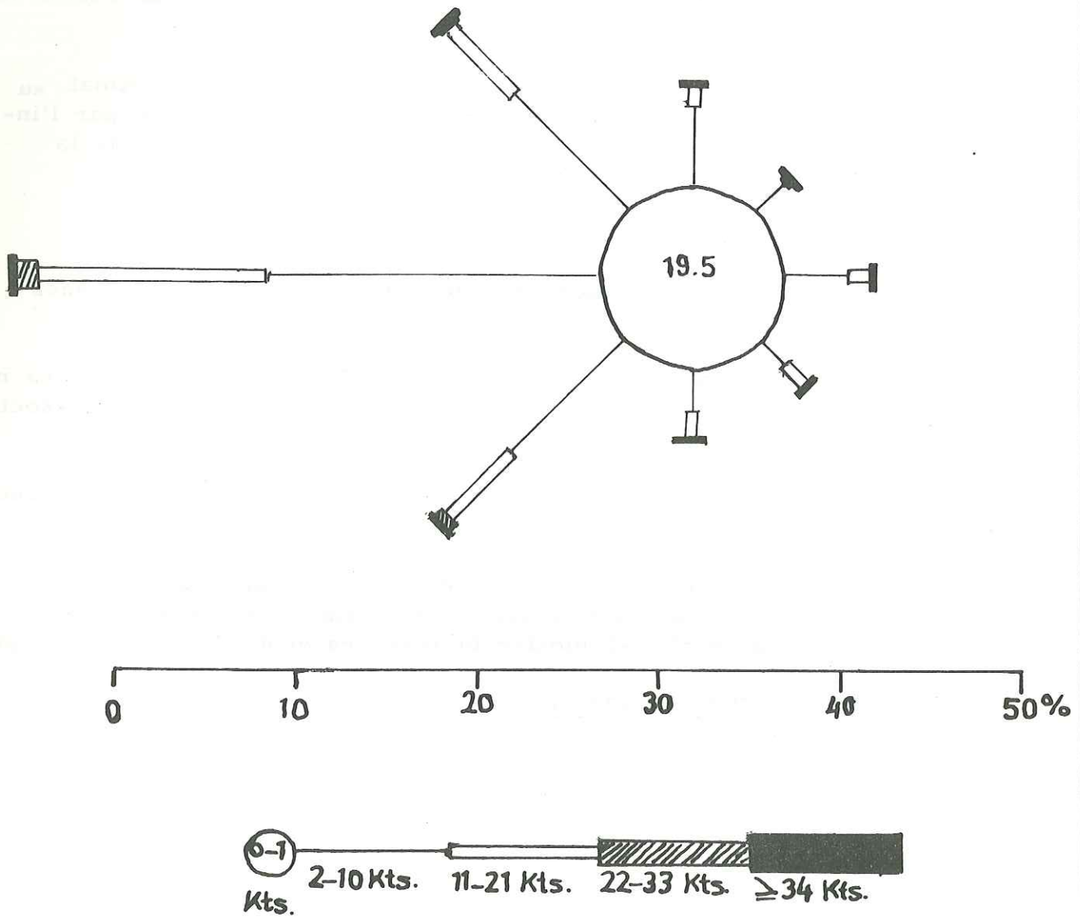
Les études faites par la Météorologie de la Jordanie, indiquent que le gradient de température varie de 0.6°C à 0,9 selon la localité.

La température moyenne normale de l'année est de 17,5°C dans la région étudiée avec une moyenne des températures minimales moyennes mensuelles de 11.38°C. La moyenne des températures maximales mensuelles est de 23,6°C. La moyenne des températures minimales absolues est de 2.35°C. La moyenne des températures maximales absolues est de 35°C. Le tableau n° 3-1 montre les variations des températures au cours de l'année.

Le mois le plus chaud de l'année est le mois d'Aout avec une température moyenne de 25°C, le mois le plus froid de l'année est le mois de Janvier avec une température moyenne de 8°C.

La courbe des températures moyennes mensuelles (fig. n° 3-2) est en forme de cloche à peu près symétrique. Le sommet de la courbe est représenté par les mois de Juillet et d'Aout. La température chute rapidement en automne et monte rapidement au printemps, ce qui donne une légère dissymétrie à la courbe.

fig 3-1



ROSE DES VENTS
DANS LA REGION ETUDIEE

Mois	Moyenne mensuelle	Temp. moyennes Max.	Mini.	Temp. moyennes Journalières Max.	Mini.	Moyenne saisonnière
J	8.2	26.3	-6.1	12.5	3.9	
F	9.3	29.2	-6.5	14.0	4.5	Hiver : 9.73
M	11.7	31.8	-3	17.2	6.2	
A	16.2	36.1	0.0	22.7	9.6	
M	20.9	40.5	4.4	28.0	30.8	Printemps : 20.23
J	28.6	42.8	8.0	13.7	16.3	
J	25.2	41.7	11.6	32.0	18.4	
A	25.6	42.8	12.0	32.6	18.6	Eté : 24.76
S	23.5	40.6	8.9	30.5	16.3	
O	20.7	37.2	6.1	27.5	13.9	
N	15.3	33.0	-3.2	20	9.8	Automne : 15.36
D	10.1	27.2	-4.0	14.7	5.4	

Tableau n° 3-1 - Températures en degrès centigrades au cours de l'année.

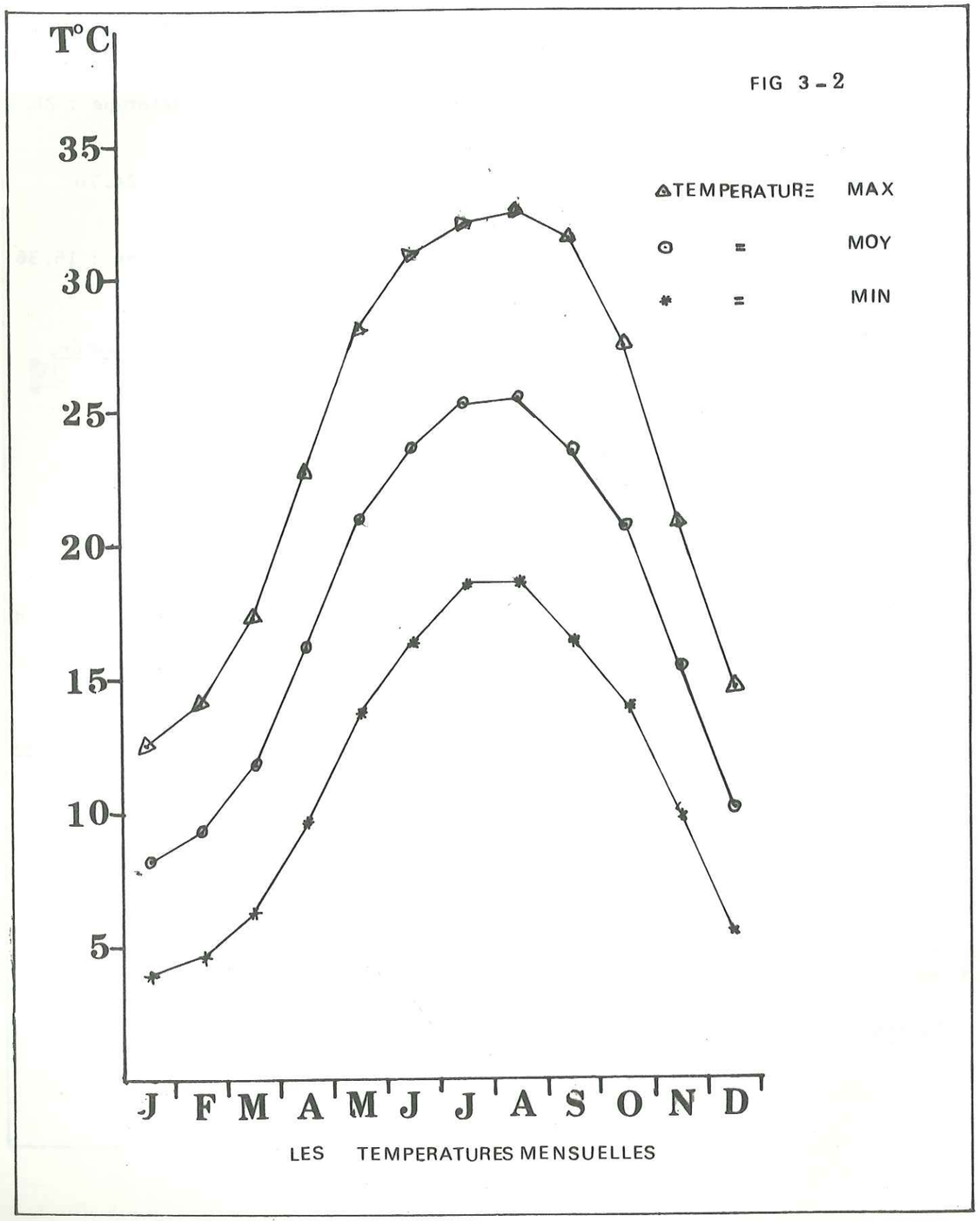
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
926.3	925.2	925.3	924.1	923.7	922.3	920.1	920.6	923.4	926.4	926.8	927.4
925.6				923.36			921.36		926.86		

Tableau n° 3-2 - Pressions atmosphériques au cours de l'année (en millibars)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0600	79	75	67	54	39	37	38	44	52	52	65	77
1200	56	51	45	35	26	25	26	27	29	29	41	52
1800	74	70	66	57	46	45	48	53	57	52	62	70

Tableau n° 3-3 - Humidité relative au cours de l'année

FIG 3 - 2



LES TEMPERATURES MENSUELLES

3-4- LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

La pression atmosphérique dans la région étudiée est en moyenne de 924,3 millibar. Le tableau n° 3-2 montre les variations de la pression atmosphérique au cours de l'année.

La pression	en hiver est d'environ	925.6	mb
"	au printemps	" 923.36	mb
"	en été	" 921.36	mb
"	en automne	" 926.86	mb

La pression atmosphérique est un agent climatique important à l'échelle du macro-climat, car sa distribution commande la répartition des vents, mais elle influe sur la vitesse de l'évaporation de l'eau qui lui est inversement proportionnelle. Les faibles pressions favorisent les dégagements gazeux, et par suite, les échanges entre l'atmosphère et le sol. Enfin, les variations de la pression atmosphérique peuvent influencer les niveaux piézométriques des eaux souterraines.

3-5- L'HUMIDITE RELATIVE

Le tableau n° 3-3 montre l'humidité relative au cours de l'année. L'humidite reste élevée en hiver. En juin et juillet, l'humidité relative atteint une valeur minimum. Ces pourcentages traduisent bien la sècheresse de l'air dans la région et expliquent l'absence quasi totale de nuages, de brumes, de brouillards dans la région. En général dans la région étudiée l'humidité relative varie selon le lieu et la saison.

3-6- LES GELEES

Les gelées dans notre région commencent au mois de Janvier et se continuent jusqu'au mois de Mars.

3-7- LA NEIGE

La neige est abondante sur les montagnes mais on n'a pas de stations de mesure sur les montagnes, alors on considère que chaque 1 cm de neige = 1 mm de pluie.

3-8- LES PRECIPIPATIONS

Dans la région étudiée, la période des précipitations commence au mois d'octobre et se continue jusqu'au mois de mai.

Du fait de la présence en 1966-1967 de stations pluviométriques suffisantes et bien distribuées pour qu'elles couvrent toute la région surtout dans le secteur de Baqa, nous analysons seulement les résultats obtenus d'octobre 1966 à septembre 1967. 6 stations ont été installées dans le secteur de Baqa et 10 dans le reste de la région. Nous étudierons d'abord la région de Baqa puis le reste de la région.

3-9- LES PRECIPITATIONS DANS LA REGION DE BAQA

A partir des mesures recueillies à l'aide des 6 pluviomètres installés dans la région, on a établi les hauteurs mensuelles et annuelles des précipitations. Pour chaque station, les chiffres représentent les précipitations pluvieuses et neigeuses.

Le Tableau 3-4 montre les résultats obtenus pour les stations situées sur la région. La pluie annuelle sur la région varie de 318 mm à la station Abou Hamide jusqu'à 807,4 mm à la station de Suweilih.

Les précipitations saisonnières de la région sont fournies sur le tableau n° 3-5 et lesfigures n° 3-3 et figure 3-4.

Les résultats montrent que l'hiver, avec 66.4 % est la saison pluvieuse, et l'automne avec 33 % est au second rang après l'hiver. Il faut remarquer que le printemps a un pourcentage très faible des précipitation, tandis que l'été est absolument sec.

La figure 3-5 montre les précipitations moyennes mensuelles des stations pluviométriques d'octobre 1966 à mars 1967. Elle montre que le mois de mars et le mois de décembre sont les mois les plus humides et la sècheresse commence en Juin et se continue jusqu'au mois de Septembre.

Les tableaux n° 3-6 et 3-7 montrent la variabilité inter-annuelle dans deux stations dans la région.

Les résultats sont portés dans les figures 3-6 et 3-7, Les figures 3-8 et 3-9 montrent la moyenne mensuelle des pluies dans deux stations dans la région.

3-10-DETERMINATION DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE DANS LA REGION DE BAQA

A partir des stations qui ont été installées à différentes altitudes et localités dans la région de Baqa, on va calculer la lame d'eau tombée sur toute la région à l'aide des différentes méthodes suivantes :

3-10-1 Méthode de Thiessen

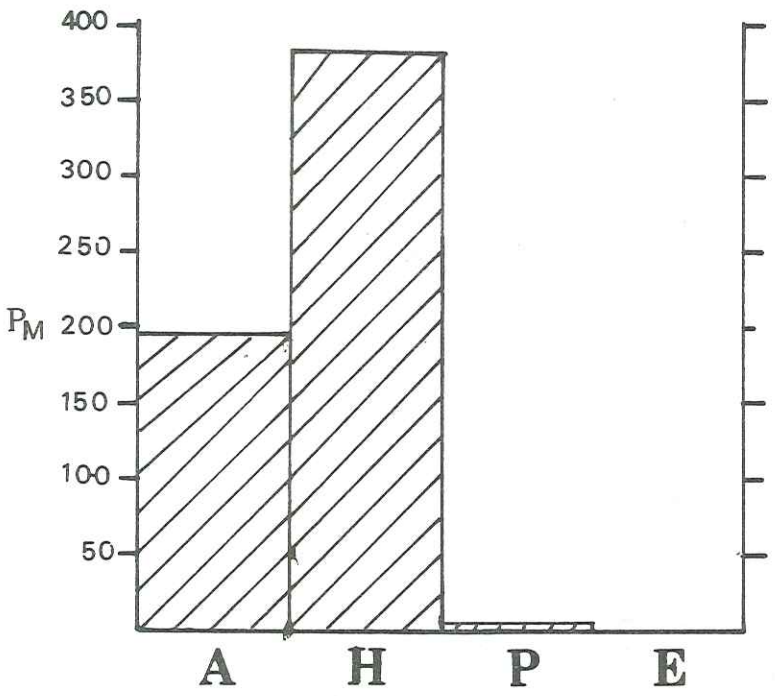
Cette méthode permet la détermination pour chacune des stations pluviométriques situées dans la région, de zones d'influence sur lesquelles ont suppose les précipitations, uniformément réparties.

Cette méthode est moins précise que la méthode des isohyètes. Ce qui diminue le manque de précision de cette méthode dans la région Baqa c'est le nombre suffisant des stations pluviométriques. La figure n° 3-10 montre la carte de répartition des précipitations sur des zones uniformes. Les résultats de cette répartition sont présentés dans le tableau n° 3-8.

Tableau N° 3-4 - Précipitations mensuelles et total annuel dans la région de Baqa - D'octobre 1966 à mai 1967.

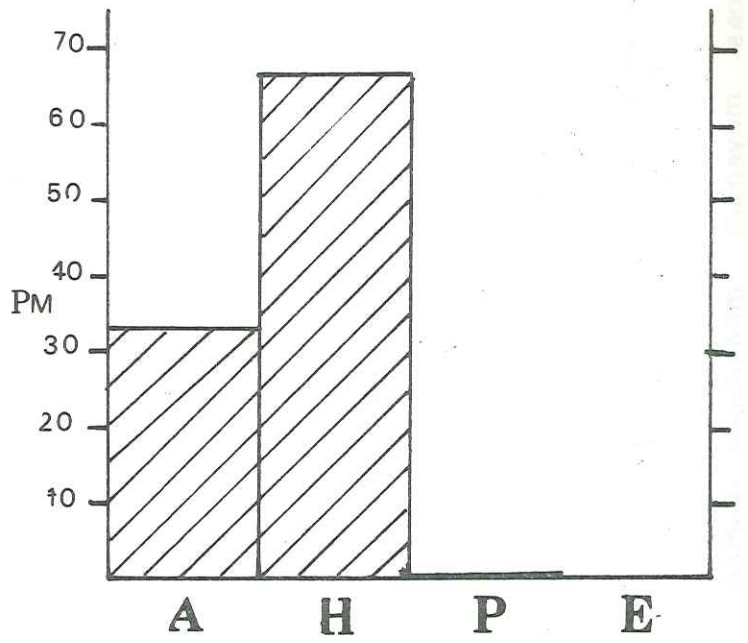
Nom de station	O	N	D	J	F	M	A	M	Total annuel	Altitude des stations
Tab Kira	17,0	16,0	186	208,3	53,0	180,0	10,0	-	470,3	1000
Abu ha mid	11	4,7	95,0	68,3	29,5	109,5	-	-	318	700
Suweilih	26,6	8,5	250,8	216,7	72,6	226	5,4	-	807,4	950
Um ed Dananir	19,8	2,4	199,0	135,8	38,1	222,7	1,2	-	619,4	625
Ain Al Basha	21,3	2,5	125,0	173,8	42,2	202,0	-	-	637,0	660
Al Hussein Nursery	20,6	3,6	159,2	105,0	38,2	176,3	2,2	1,2	506,8	630

fig 3 - 3



PM SAISONNIER

fig 3 - 4



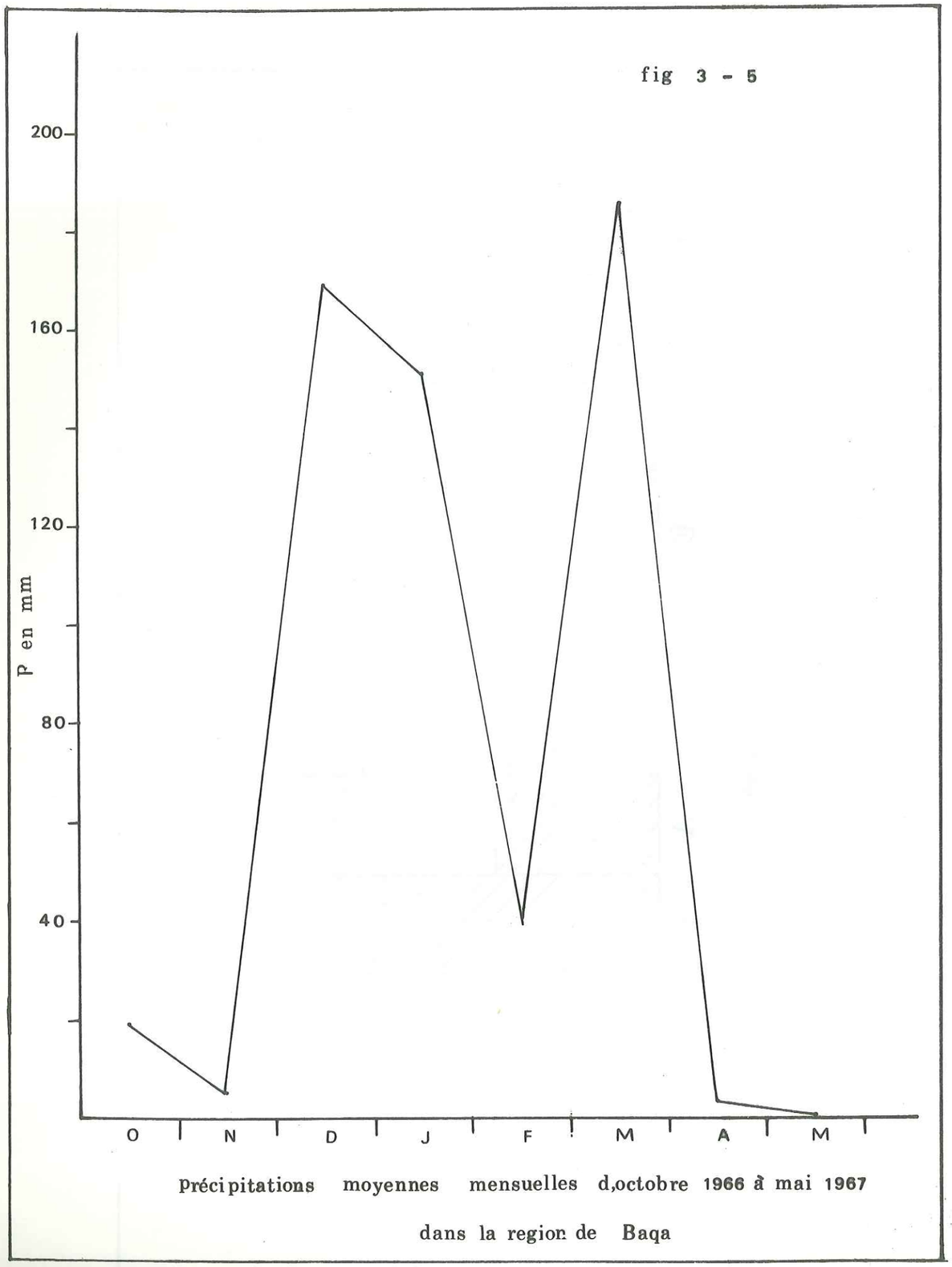
% SAISONNIER

DANS LA REGION DE BAQA

Mois	Moyenne mensuelle en mm	% mensuel	Moyenne saisonnière en mm	% saisonnier
Octobre	19, 38	3, 33		
Novembre	5, 28	1	Automne	33
Décembre	169, 16	29, 11	194, 82	
Janvier	151, 31	26, 03		
Février	45, 6	7, 84	Hiver	
Mars	186, 2	32, 04	383, 11	66, 4
Avril	3, 13	0, 5	Printemps	
Mai	0, 2	0, 03	3, 33	0, 57
Moyenne annuelle	581, 07			

Tableau n° 3-5 - Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières. D'octobre 1966 à mai 1967 dans la région de Baqa.

fig 3 - 5



Précipitations moyennes mensuelles d,octobre 1966 à mai 1967

dans la region de Baqa

Année	O	N	D	J	F	M	A	M	Annuelle
66/67	19.8	2.4	199.4	135.8	38.1	222.7	12	-	619.4
67/68	14.0	64.9	4.1	85.	36.3	4.5	14.2	8.0	231.0
68/69	-	8.2	103.1	141.7	31.7	160.0	11.0	-	455.7
60/70	11.2	20.3	13.3	74.5	37.2	101.5	11.0	-	269.0
70/71	-	-	63.5	32.5	52.	78.0	222.5	-	448.5
71/72	-	12.0	85.3	22.0	56.8	51.7	74.4	12.2	314.2
72/73	-	52.5	2.5	105.0	28.5	58.5	-	6.0	253.0
73/74	-	52.9	31.0	243.0	88.0	41.5	16.0	-	472.4
Moyen.	5.6	26.6	62.75	104	46	89	43.78	3	384.4

Tableau n° 3-6 - Précipitations mensuelles en mm de la période 1966-1974
Station Um ed Dananir

Année	O	N	D	J	F	M	A	M	Annuelle
66/67	20.6	3.6	159.2	105.00	38.7	176.3	2.2	1.2	506.8
67/68	9	42.2	48.5	131.5	18.7	17.9	12.5	4.3	284.6
68/69	1.0	13.7	110.0	119.2	25.4	153.1	10.3	-	432.7
69/70	10.9	20.3	9.2	70.7	25.3	91.2	9.6	-	237.2
70/71	+	+	+	+	+	+	+	+	+
71/72	-	19.3	96.2	30.0	54.9	46.9	40.2	2.6	290.1
72/73	0.8	38.3	2.4	104.6	27.1	50.4	-	5.2	228.8
73/74	-	52.8	34.5	288.6	101.2	30.1	22.5	-	529.7
Moyenne	6.0	30.4	65.7	121.2	41.6	80.8	97.3	1.9	358

1966 à 74

Tableau n° 3-7 - Précipitations mensuelles en mm de la période 1974- Station Al Hussein Nursery

VARIATIONS DES PRECIPITATIONS

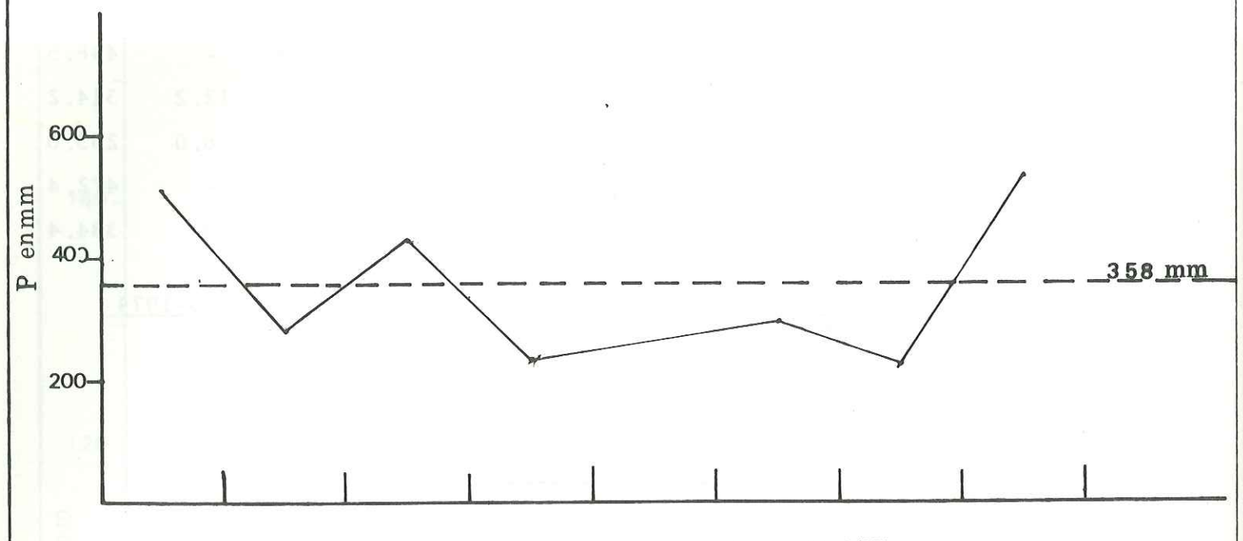


fig 3 - 6 a la station AL HUSSEIN

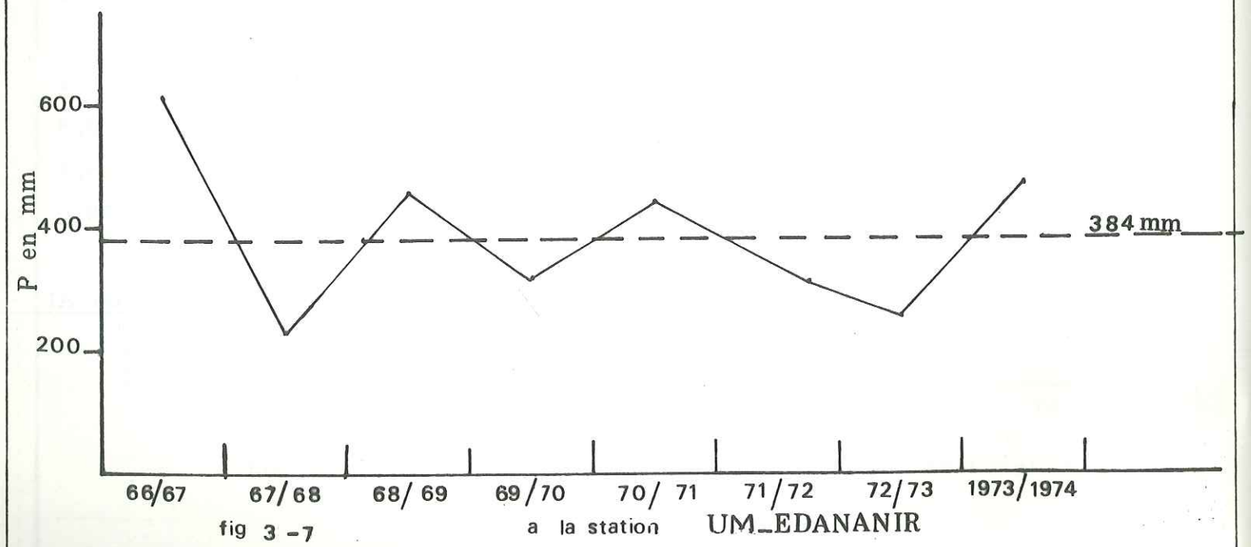


fig 3 -7 a la station UM_EDANANIR

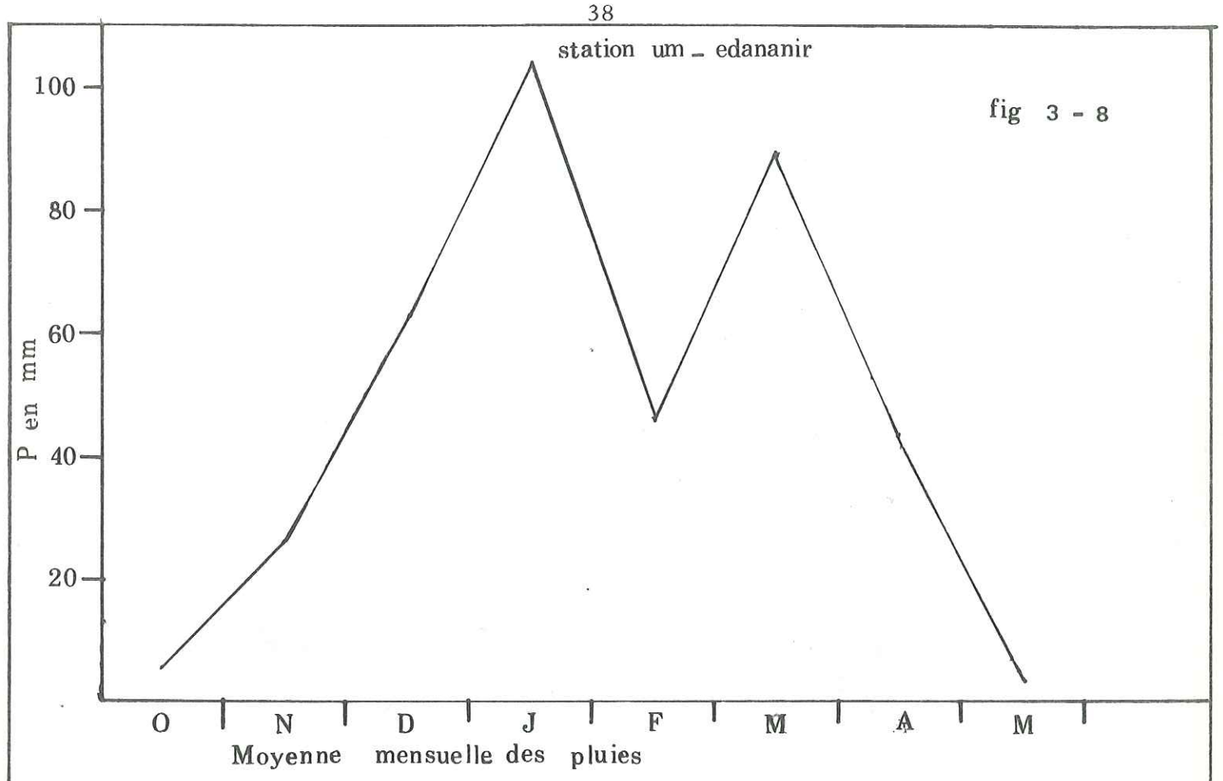


fig 3 - 8

Moyenne mensuelle des pluies

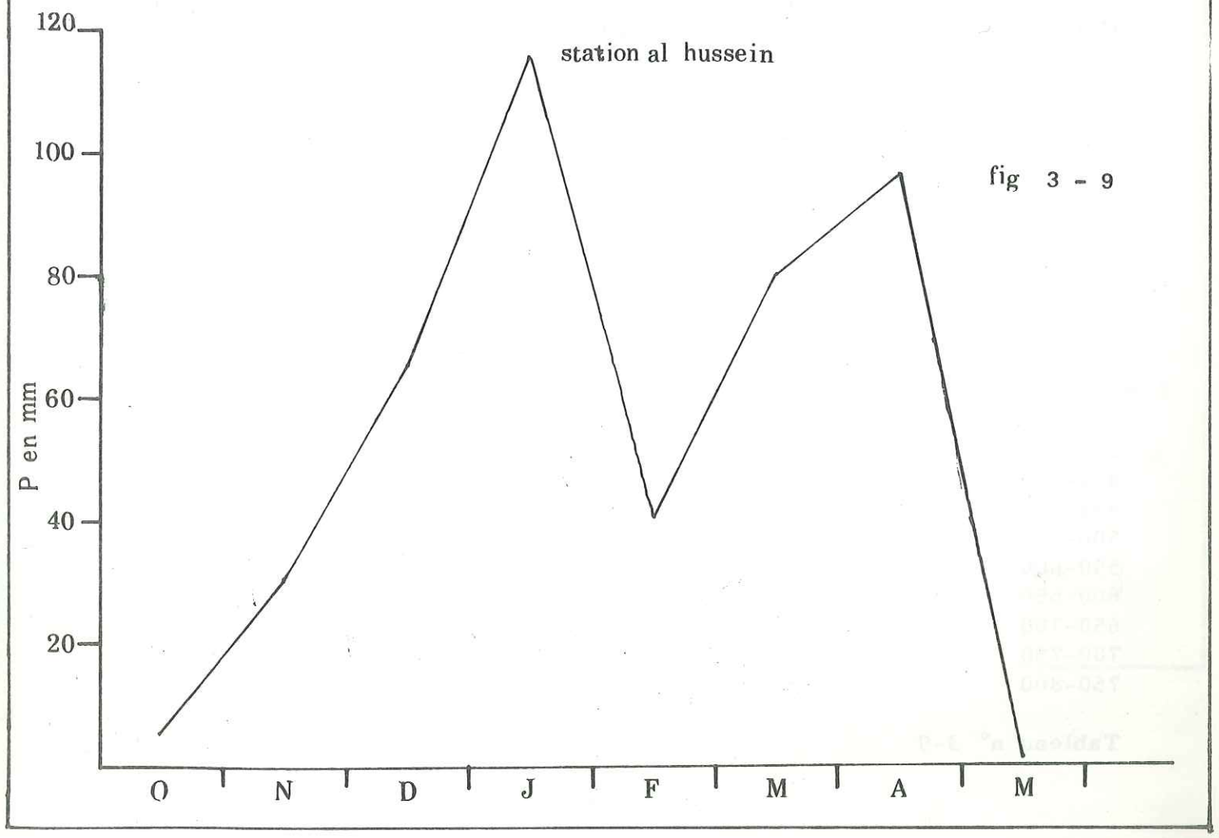


fig 3 - 9

Superficies délimitées en Km2		Précipitations en mm		$P \times S \times 10^3 m^3$
S1	13.993	P1	637	8 913,54
S2	3.75	P2	619	2 321,25
S3	13.56	P3	507	6 872,20
S4	13.23	P4	318	4 207,14
S5	3.687	P5	470	1 730,704
S6	8.268	P6	807	6 675,5837

Tableau n° 3-8-

$$P \text{ total} = \frac{P1 \times S1 + P2 \times S2 + P3 \times S3 + P4 \times S4 + P5 \times S5 + P6 \times S6}{S \text{ TOTAL}}$$

Il en résulte que la lame d'eau serait de 547.6 mm soit environ 30 720 414 m3/an.

3-10-2 Méthode de la carte des isohyètes

Si l'on trace les courbes d'égales précipitations à partir des nombreuses stations pluviométriques que l'on a donc autour de la région Baqa, on peut calculer la lame d'eau tombée sur la région. La figure 3-11 montre la carte des isohyètes de la région pour l'année 1966/1967.

Précipitations en mm Limite des isohyètes	Moyennes	Superficies délimitées en Km2	Volume d'eau reçue en $10^3 m^3$
300-350	300	3.375	1012.5
350-400	375	6.318	2364.25
400-450	425	6.35	2698.75
450-500	475	5.98	1180.19
500-550	525	6.0375	3169.687
550-600	575	6.956	3999.7
600-650	625	6.068	3792.5
650-700	675	6.131	4138.426
700-750	725	6.131	4444.975
750-800	775	2.681	2077.775

Tableau n° 3-9

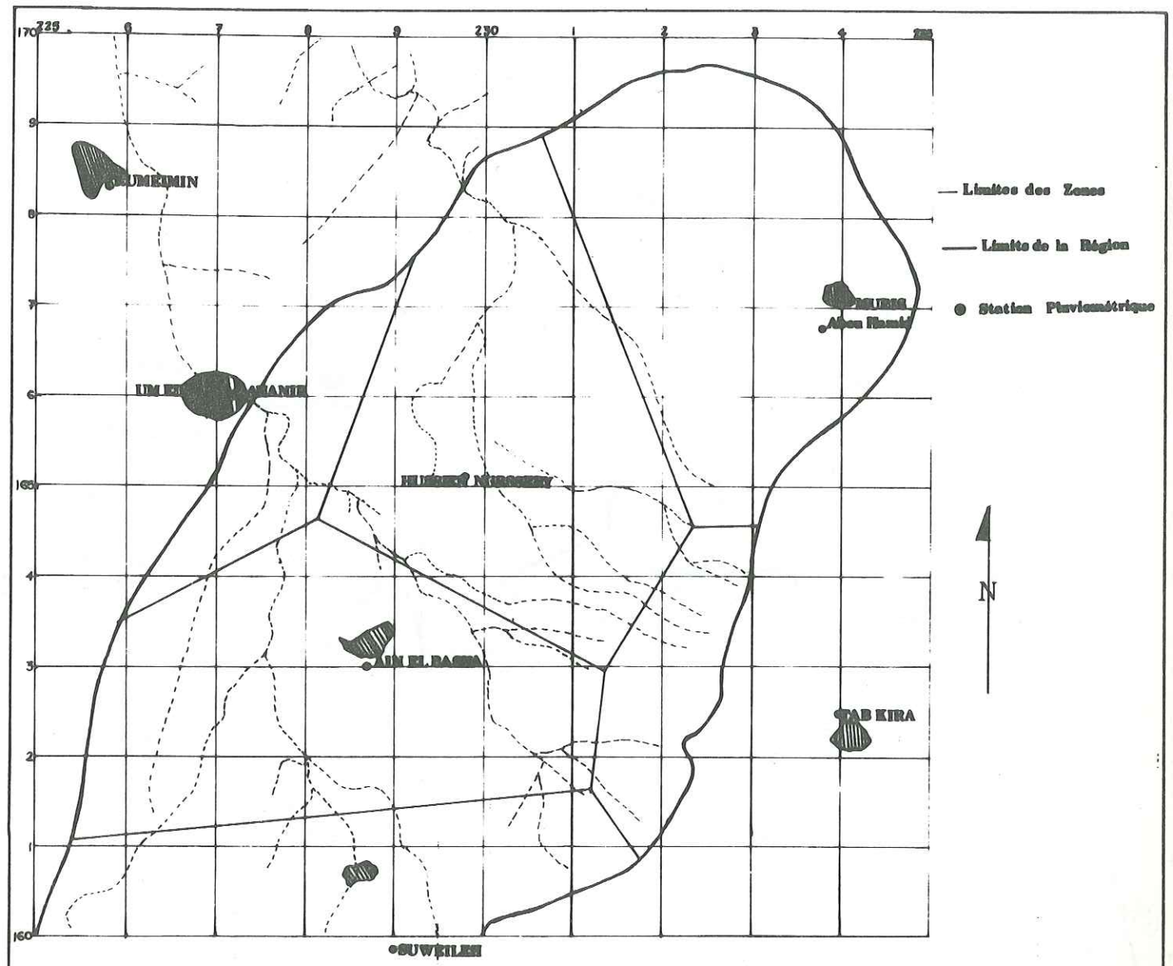
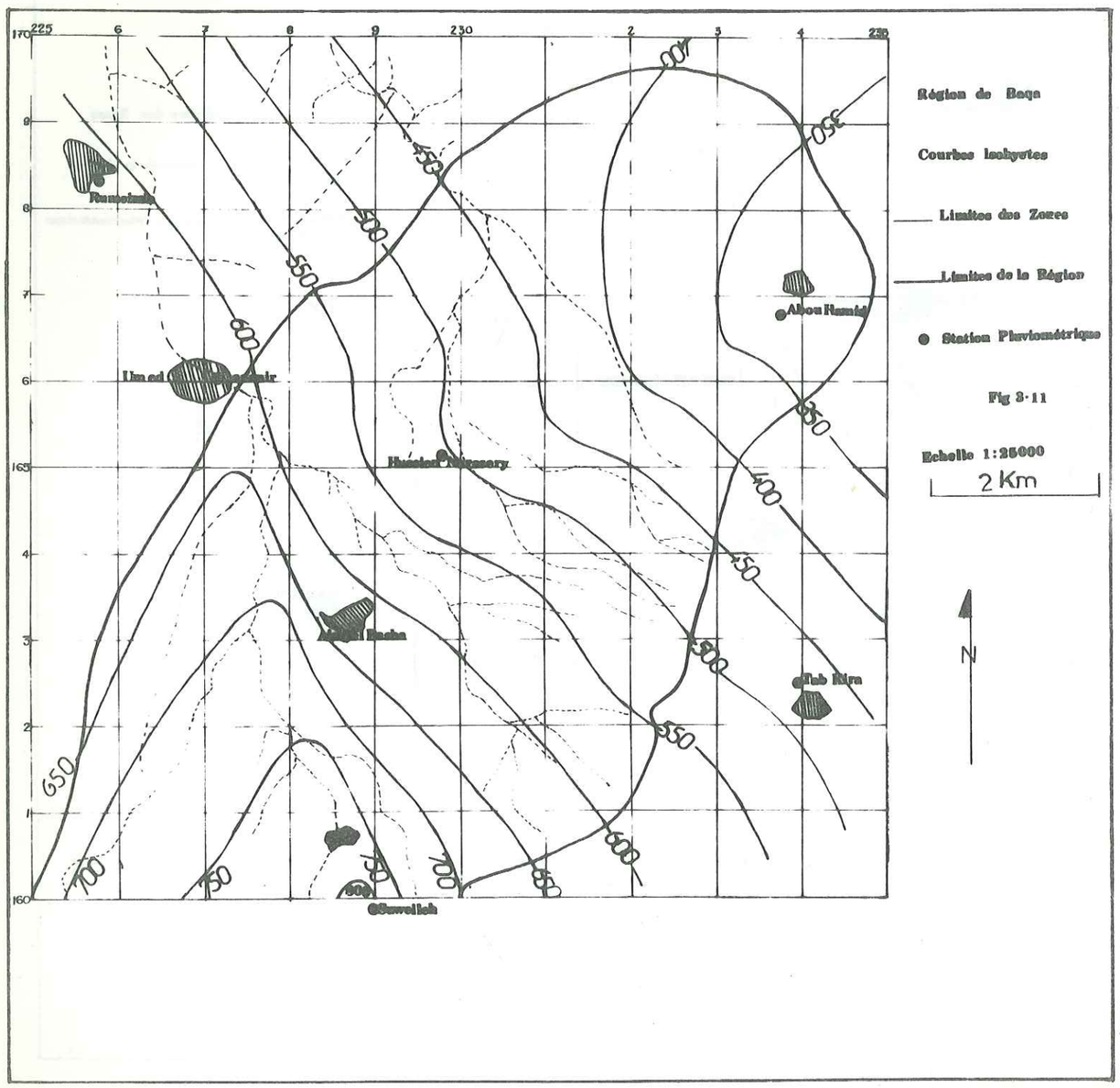


Fig. n° 3-10 - POLYGONES DE THIESSON POUR LE CALCUL DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE DANS LA REGION DE BAQA



La lame d'eau tombée est donc :

$$P\ Total = \frac{P \times S}{S\ total} = 514.8\ mm\ soit\ 28\ 883\ 753\ m3$$

3-10-3- La moyenne arithmétique des stations

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

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

A partir des relevés de 6 stations pluviométriques pendant l'année 1966/1967 on a calculé les moyennes arithmétiques des précipitations annuelles de ces stations distribuées sur l'ensemble de la région. Le tableau n° 3-4 montre les résultats obtenus. Ces résultats représentent une lame d'eau tombée de 559.8 mm pour toute l'année soit : 31.404.780 m3 par an.

3-10-4- Gradient altimétrique

A partir des hauteurs annuelles des précipitations en fonction de l'altitude de chaque station, on établit une droite représentative du gradient altimétrique de précipitation. A partir de deux points sur la droite établie, on peut calculer l'équation de la droite et on peut donc calculer les précipitations. Cette méthode n'est pas précise dans notre région car l'intensité de la pluie est variable a cause de la liaison entre l'orographie et la pluie.

Pour des tranches de même altitude on trouve des précipitations annuelles très différentes, par exemple la partie S-W de la région reçoit plus de pluie que la partie NE malgré l'égalite des altitudes.

3-11-DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION LA REGION DE BAQA

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

- de la température
- de la tension de 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 les sols.

On appelle évapotranspiration réelle : Er , dans un intervalle de temps déterminé, l'évapotranspiration qui se produit pendant cette durée dans les conditions réelles de teneur en eau du sol. Si sans changer

autre chose, on augmente artificiellement la quantité d'eau disponible dans le sol, l'évapotranspiration augmente et atteint un maximum qu'on appele Ep : évapotranspiration potentielle, évapotranspiration qui se produirait si le sol contenait en permanence une quantité d'eau suffisante. L'Ep en un lieu déterminé ne dépend donc que du climat et ses variations sont fonction des variations de la température et de l'humidité de l'air en cet endroit, ainsi que de la turbulence de l'air en contact avec le sol.

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

Dans notre région les méthodes suivantes ont été utilisées pour calculer l'évapotranspiration réelle : Er.

3-11-1- Méthode de Coutagne

Il existe deux formules de Coutagne. La première, qui est la plus simple, ne fait intervenir que la température moyenne annuelle T. Elle a pour domaine d'application les régions comprises entre 30 et 50 degrés de latitude Nord et une pluviométrie annuelle comprise entre 960 et 640 mm. La formule est donc :

$D = 210 + 30\ T$ (D étant le déficit d'écoulement en mm.)

On n'a pas appliqué cette formule pour calculer Er dans notre région car la pluviométrie annuelle est inférieure à 640 mm.

La seconde formule, fait intervenir la pluviométrie annuelle P pour calculer l'Er. Cette formule peut être utilisée pour des températures moyennes annuelles comprises entre 4° - 20° C. La formule est :

$$Er = P - \lambda P2$$

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

P est la précipitation moyenne annuelle en m
T est la température moyenne annuelle exprimée en degrés cent.

Cette formule n'est valable que pour les précipitations comprises entre $\frac{1}{8\lambda}$ et $\frac{1}{2\lambda}$ c'est-à-dire pour notre cas entre 1600 et 400 mm

avec T = 17.5 °C $\lambda = 0.3076$

$Er = P \quad P^2$

Si $P = 0.5148$ m $P^2 = 0,0650$ m2
$= 0.3076$

$Er = 0.433$ m = 433 mm = 84 % P

si P = 547.6 mm
Er = 456 mm = 83 % P

TABLEAU 3-10

VALEURS MENSUELLES DE I CORRESPONDANT AUX TEMPERATURES

MOYENNES

T°C	.0	.I	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0			0.0I	0.0I	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
I	0.09	0.I0	0.I2	0.I3	0.I5	0.I6	0.I8	0.20	0.2I	0.23
2	0.25	0.27	0.29	0.3I	0.33	0.35	0.37	0.39	0.42	0.44
3	0.46	0.48	0.5I	0.53	0.56	0.58	0.6I	0.63	0.66	0.69
4	0.7I	0.74	0.77	0.80	0.82	0.85	0.88	0.9I	0.94	0.97
5	I.00	I.03	I.06	I.09	I.I2	I.I6	I.I9	I.22	I.25	I.29
6	I.32	I.35	I.39	I.42	I.45	I.49	I.52	I.56	I.59	I.63
7	I.66	I.70	I.74	I.77	I.8I	I.85	I.89	I.92	I.96	2.00
8	2.04	2.08	2.I2	2.I5	2.I9	2.23	2.27	2.3I	2.35	2.39
9	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.69	2.73	2.77	2.8I
I0	2.86	2.90	2.94	2.99	3.03	3.08	3.I2	3.I6	3.2I	3.25
II	3.30	3.34	3.39	3.44	3.48	3.53	3.58	3.62	3.67	3.72
I2	3.76	3.8I	3.86	3.9I	3.96	4.00	4.05	4.I0	4.I5	4.20
I3	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70
I4	4.75	4.8I	4.86	4.9I	4.96	5.0I	5.07	5.I2	5.I7	5.22
I5	5.28	5.33	5.38	5.44	5.49	5.55	5.60	5.65	5.7I	5.76
I6	5.82	5.87	5.93	5.98	6.04	6.I0	6.I5	6.2I	6.26	6.32
I7	6.38	6.44	6.49	6.55	6.6I	6.66	6.72	6.78	6.84	6.90
I8	6.95	7.0I	7.07	7.I3	7.I9	7.25	7.3I	7.37	7.43	7.49
I9	7.55	7.6I	7.67	7.73	7.79	7.85	7.9I	7.97	8.03	8.I0
20	8.I6	8.22	8.28	8.34	8.4I	8.47	8.53	8.59	8.66	8.72
2I	8.78	8.85	8.9I	8.97	9.04	9.I0	9.I7	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	0.0I
23	I0.08	I0.I5	I0.2I	I0.28	I0.35	I0.4I	I0.48	I0.55	I0.62	0.68
24	I0.75	I0.82	I0.89	I0.95	II.02	II.09	II.I6	II.23	II.30	I.37
25	II.44	II.50	II.57	II.64	II.7I	II.78	II.85	II.92	II.99	2.06
26	I2.I3	I2.2I	I2.28	I2.35	I2.42	I2.49	I2.56	I2.63	I2.70	2.78
27	I2.85	I2.92	I2.99	I3.07	I3.I4	I3.2I	I3.28	I3.36	I3.43	3.50
28	I3.58	I3.65	I3.72	I3.80	I3.87	I3.94	I4.02	I4.09	I4.I7	4.24
29	I4.32	I4.39	I4.47	I4.54	I4.62	I4.69	I4.77	I4.84	I4.92	4.99
30	I5.07	I5.I5	I5.22	I5.30	I5.38	I5.45	I5.53	I5.6I	I5.68	5.76
3I	I5.84	I5.92	I5.99	I6.07	I6.I5	I6.23	I6.30	I6.38	I6.46	6.54
32	I6.62	I6.70	I6.78	I6.85	I6.93	I7.0I	I7.09	I7.I7	I7.25	7.33
33	I7.4I	I7.49	I7.57	I7.65	I7.73	I7.8I	I7.89	I7.97	I8.05	8.I3
34	I8.22	I8.30	I8.38	I8.46	I8.54	I8.62	I8.70	I8.79	I8.87	8.95
35	I9.03	I9.II	I9.20	I9.28	I9.36	I9.45	I9.53	I9.6I	I9.69	9.78
36	I9.86	I9.95	20.03	20.II	20.20	20.28	20.36	20.45	20.53	0.62
37	20.70	20.79	20.87	20.96	2I.04	2I.I3	2I.2I	2I.30	2I.38	I.47
38	2I.56	2I.64	2I.73	2I.8I	2I.90	2I.99	22.07	22.I6	22.25	2.33
39	22.42	22.5I	22.59	22.68	22.77	22.86	22.95	23.03	23.I2	3.2I
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, 3I.0, 3I.5, 32.0, 32.5
E_p	I3.50, I3.95, I4.37, I4.78, I5.I7, I5.54, I5.89, I6.2I, I6.52, I6.80, I7.07, I7.3I, I7.53, I7.72
T°C	33.5, 34.0, 34.5, 35.0, 35.5, 36.0, 36.5, 37.0, 37.5, 38.0,
	I7.90, I8.05, I8.I8, I8.29, I8.37, I8.43, I8.47, I8.49, I8.50, I8.50

TABLEAU 3-11

DUREE MoyENNE POSSIBLE D'ENSOLEILLEMENT

N.Lat.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	I.04	.94	I.04	I.0I	I.04	I.0I	I.04	I.04	I.0I	I.04	I.0I	I.04
5	I.02	.93	I.03	I.02	I.06	I.03	I.06	I.05	I.0I	I.03	.99	I.02
I0	I.00	.9I	I.03	I.03	I.08	I.06	I.08	I.07	I.02	I.02	.98	.99
I5	.97	.9I	I.03	I.04	I.II	I.08	I.I2	I.08	I.02	I.0I	.95	.97
20	.95	.90	I.03	I.05	I.I3	I.II	I.I4	I.II	I.02	I.00	.93	.94
25	.93	.89	I.03	I.06	I.I5	I.I4	I.I7	I.I2	I.02	.99	.9I	.9I
26	.92	.88	I.03	I.06	I.I5	I.I5	I.I7	I.I2	I.02	.99	.9I	.9I
27	.92	.88	I.03	I.07	I.I6	I.I5	I.I8	I.I3	I.02	.99	.90	.90
28	.9I	.88	I.03	I.07	I.I6	I.I6	I.I8	I.I3	I.02	.98	.90	.90
29	.9I	.87	I.03	I.07	I.I7	I.I6	I.I9	I.I3	I.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	I.03	I.08	I.I8	I.I7	I.20	I.I4	I.03	.98	.89	.88
3I	.90	.87	I.03	I.08	I.I8	I.I8	I.20	I.I4	I.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	I.03	I.08	I.I9	I.I9	I.2I	I.I5	I.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	I.03	I.09	I.I9	I.20	I.22	I.I5	I.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	I.03	I.09	I.20	I.20	I.22	I.I6	I.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	I.03	I.09	I.2I	I.2I	I.23	I.I6	I.03	.97	.86	.85
36	.87	.85	I.03	I.I0	I.2I	I.22	I.24	I.I6	I.03	.97	.85	.84
37	.86	.84	I.03	I.I0	I.22	I.23	I.25	I.I7	I.03	.96	.84	.83
38	.85	.84	I.03	I.I0	I.23	I.24	I.25	I.I7	I.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	I.03	I.II	I.23	I.24	I.26	I.I8	I.04	.96	.83	.82
40	.84	.83	I.03	I.II	I.24	I.25	I.27	I.I8	I.04	.96	.83	.8I
4I	.83	.83	I.03	I.II	I.25	I.26	I.27	I.I9	I.04	.96	.82	.80
42	.82	.83	I.03	I.I2	I.26	I.27	I.28	I.I9	I.04	.95	.82	.79
43	.8I	.82	I.02	I.I2	I.26	I.28	I.29	I.20	I.04	.95	.8I	.77
44	.8I	.82	I.02	I.I3	I.27	I.29	I.30	I.20	I.04	.95	.80	.76
45	.80	.8I	I.02	I.I3	I.28	I.29	I.3I	I.2I	I.04	.94	.79	.75
46	.79	.8I	I.02	I.I3	I.29	I.3I	I.32	I.22	I.04	.94	.79	.74
47	.77	.80	I.02	I.I4	I.30	I.32	I.33	I.22	I.04	.93	.78	.73
48	.76	.80	I.02	I.I4	I.3I	I.33	I.34	I.23	I.05	.93	.77	.72
49	.75	.79	I.02	I.I4	I.32	I.34	I.35	I.24	I.05	.93	.76	.7I
50	.74	.78	I.02	I.I5	I.33	I.36	I.37	I.25	I.06	.92	.76	.70

S.Lat												
5	I.06	95	I.04	I.00	I.02	99	I.02	I.03	I.00	I.05	I.03	I.06
I0	I.08	97	I.05	.99	I.0I	96	I.00	I.0I	I.00	I.06	I.05	I.I0
I5	I.I2	98	I.05	.98	.98	94	.97	I.00	I.00	I.07	I.07	I.I2
20	I.I4	I.00	I.05	.97	.96	9I	.95	.99	I.00	I.08	I.09	I.I5
25	I.I7	I.0I	I.05	.96	.94	88	.93	.98	I.00	I.I0	I.II	I.I8
30	I.20	I.03	I.06	.95	.92	85	.90	.96	I.00	I.I2	I.I4	I.2I
35	I.23	I.04	I.06	.94	.89	82	.87	.94	I.00	I.I3	I.I7	I.25
40	I.27	I.06	I.07	.93	.86	78	.84	.92	I.00	I.I5	I.20	I.29
42	I.28	I.07	I.07	.92	.85	76	.82	.92	I.00	I.I6	I.22	I.3I
44	I.30	I.08	I.07	.92	.83	74	.8I	.9I	.99	I.I7	I.23	I.33
46	I.32	I.I0	I.07	.9I	.82	72	.79	.90	.99	I.I7	I.25	I.35
48	I.34	I.II	I.08	.90	.80	70	.76	.89	.99	I.I8	I.27	I.37
50	I.37	I.I2	I.08	.89	.77	67	.74	.88	.99	I.I9	I.29	I.4I

3-11-2- La méthode de Turc

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

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P2}{L2}}}$$

P = pluviométrie moyenne annuelle en mm

L = 300 + 25 T + 0,05 T3

T = température moyenne annuelle en °C

Er = 477 mm = 92 % P si P = 514,8 mm

si P = 547 mm

Er = 501 mm = 91,5 % P

3-11-3- La méthode de Thornthwaite

a) - Calcul de l'Ep à partir de l'abaque :

L'abaque est obtenue à partir de la formule :

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

avec $I = \sum_{1}^{12} i \qquad i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$

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

ou $\alpha = \frac{1,6}{100}\ I + 0,5$ (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 Thornwaite, on calcule d'abord les indices thermiques mensuels par la table caractéristique (tableau 3-10).

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

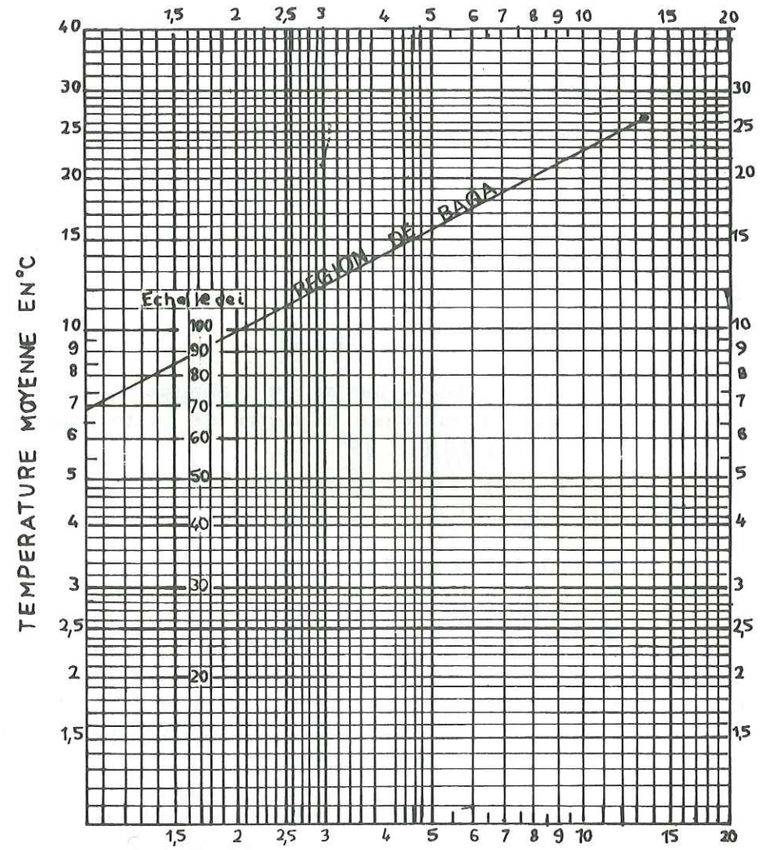
Sur l'abaque (figure 3-12) on trace la droite qui joint l'indice, sur l'échelle des indices au point repéré marqué d'une croix (température 26.5° - EP = 13,5 mm).

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 la valeur d'évapotranspiration potentielle au bas du tableau (3-10).

On multiplie l'EP ainsi obtenue par le coefficient de correction donné par le tableau n° 3-11) pour tenir compte du nombre de jours par mois et de la durée du jour en fonction de la latitude.

Fig 3_12



Abaque de calcul de l'évapotranspiration potentielle par la méthode Thornthwaite

Pour la région de Baqa, nous avons les résultats qui sont montrés par le tableau 3-12.

Mois	TC	i L	EP non corrigée en mm	Coefficient correction en mm	EP corrigée en mm
Janvier	8.2	2.12	13	0.89	11.57
Février	9.3	2.56	18	0.86	15.48
Mars	11.7	3.62	28	1.03	28.84
Avril	16.2	5.93	53	1.08	57.24
Mai	20.9	8.72	79	1.19	94.01
Juin	23.6	10.48	100	1.19	119.0
Juillet	25.2	11.57	116	1.21	140.36
Aout	25.6	11.85	119	1.15	136.85
Septembre	23.5	10.41	99	1.03	101.97
Octobre	20.7	8.59	77.5	0.98	75.95
Novembre	15.3	5.44	48.5	0.88	42.68
Décembre	10.1	2.90	21	0.87	18.27

Selon le calcul de l'EP à partir de l'abaque pour la région de Baqa

I = 84.19
EP= 842.22 mm par an

b) - <u>Calcul de l'évapotranspiration réelle à partir du bilan hydrologique</u>

On peut calculer encore l'évapotranspiration réelle par la méthode de Thonrwaite en établissant un bilan hydrologique de la région.

Ce bilan hydrologique est calculé à partir de l'évapotranspiration potentielle EP et de la pluviométrie P.

Les deux facteurs climatiques : EP et pluviométrie sont relativement indépendants et leur variation au cours de l'année est très différente. Quand les précipitations sont supérieures à l'EP, une certaine quantité d'eau est emmagasinée par le sol jusqu'à saturation. Le surplus ruisselle ou s'infiltre profondément. c'est ce que les hydrauliciens 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

superficielle, de sa composition ainsi que de la distribution et de l'extension du système radiculaire de la couverture végétal .

D'après notre bilan hydrologique l'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 402 mm, pour une réserve d'eau de 300m (voir tableau 3-13).

3-12 LE RUISSELLEMENT DANS LA REGION DE BAQA

Le régime pluviométrique de la région montre que les pluies violentes sont réparties sur une durée de 7 à 8 mois par an, ce qui imprime un caractère torrentiel aux oueds.

Dans la région de Baqa, comme on l'a déjà vu dans le premier chapitre, l'ensemble des petits oueds qui se trouvent dans la partie N-E de cette région, forment un seul oued (Shalehie oued), tandis que l'ensemble des oueds dans les parties S-E et Sud, forment l'Ed-dananir oued. Les deux oueds drainent la région de Baqa vers la rivière de Zarqa.

L'écoulement superficiel est très faible ou nul et pendant la plus grande partie de l'année, la plupart des oueds sont secs. Ce n'est qu'après les pluies abondantes qu'un écoulement temporaire peut se créer dans les oueds.

Pour calculer la lame d'eau écoulée en surface dans la région, des mesures des débits à la sortie de la région (oued Es Shalihie et Oued Um Ed-Dananir), ont été faites.

L'écoulement annuel de l'oued Es-Shalihie est de 0,645 MCM (Million m3).

L'écoulement annuel de l'oued Um-Ed- Dananir est de 2,35 MCM (Million m3).

Donc le ruissellement est de 0,645-2,3502=2995 2000 $3x10^6$ m3/an
d'où R = 53,2 mm

3-13- BILAN HYDROLOGIQUE (REGION BAQA)

La formule classique du bilan hydrologique est la suivante :

P = E + R + I
P = Précipitation moyenne annuelle en mm
E = Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm
I = infiltration moyenne annuelle en mm.

D'après la méthode de Thiessen, la pluie moyenne annuelle est égale à 547.6 mm.

D'après la méthode de Coutagne, l'évapotranspiration annuelle est égale à 456 mm.

D'après les mesures qui ont été faites pour avoir le ruissellement

TABLEAU 3-13

BILAN HYDROLOGIQUE DE LA REGION DE BAQA

	O	N	D	J	F	M	A	M	J	A	S	Année
Evaporation potentielle	75,95	42,68	18,27	11,57	15,48	28,54	57,24	94,01	119,0	140,36	136,85	101,97	842,22
Précipitation	19,38	5,28	169,16	151,31	45,6	186,20	3,13	0,2	0	0	0	0	581,07
Variation des réserves d'eau	0	0	150,89	139,74	30,12	157,36	-54,11	-93,81	-119,0	-140,36	-70,63	0	
Réserves d'eau	0	0	150,89	200	200	200	145,89	52,0	0				
				250	250	250	195,89	102,0	0	0	0	0	
				290,63	300	300	245,89	152,0	33				
Evaporation réelle	19,38	5,28	18,27	11,57	15,48	28,84	57,24	94,01	52	0		302,06	
									102	0	0	352,06	
									119	33		402,06	
Déficit d'eau	56,57	37,40	0	0		0	54,11	148	200	20	200	200	
				0		0	4,11	148	250	250	0		
				9,27		0	54,11	148	267	30	30		
Excédent d'eau	0		0			157,36	0	0	0	0			
			0	90,63	30,12	157,36	0	0	0	0	0		
			0	40,63	30,12	157,36	0	0	0	0	0		
			0	0	20,75	157,36	0	0	0	0			

B.N. On a essayé de faire ce bilan avec trois valeurs des réserves en eau du sol car avec une réserve de 200 mm l'évaporation réelle obtenue est très faible.

R est égal à 53,2 mm.

P - E = R + I
547.6 - 456 = 53.2 + I
I = 38.4

donc

E = 83 % P
R = 9,7 % I = 8.3 % P

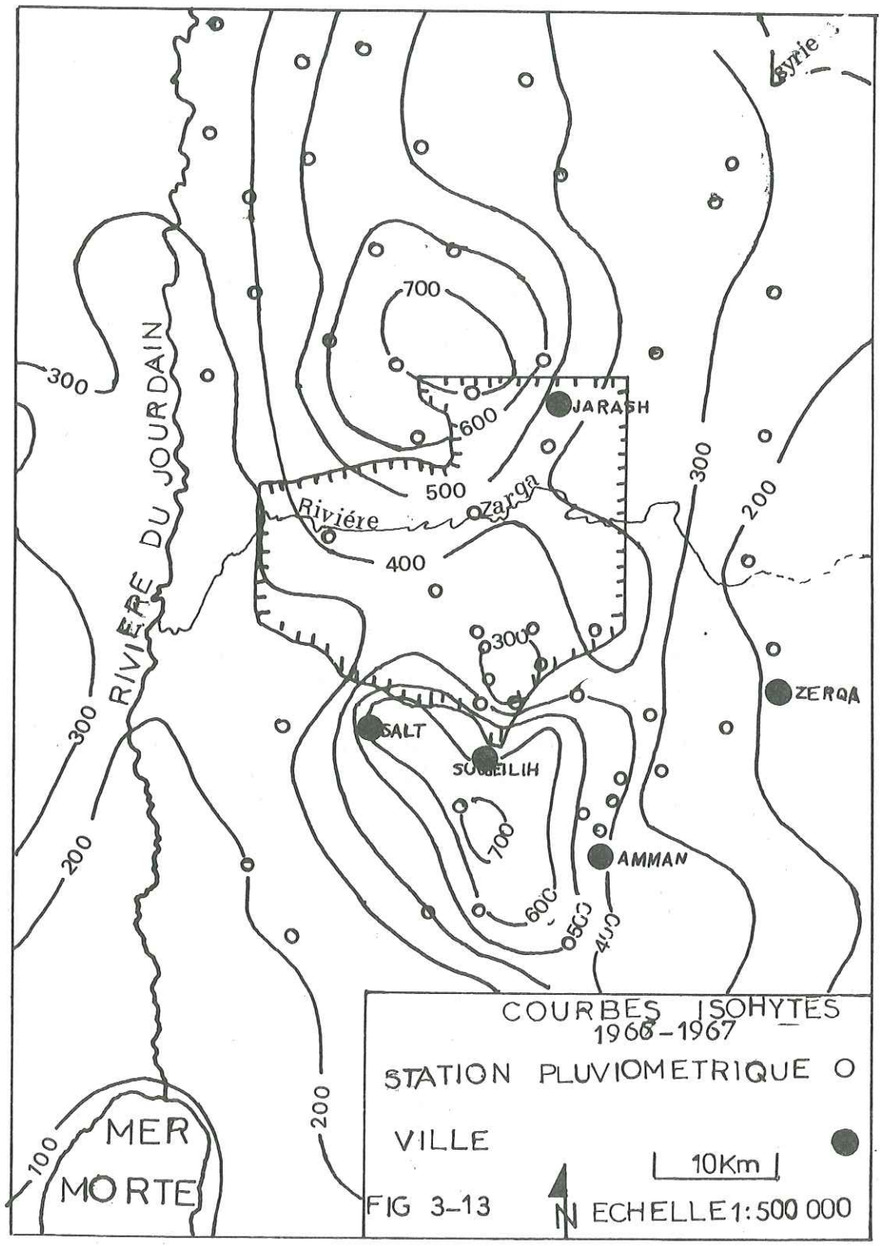
3-14 DETERMINATION DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE DANS LA REGION DE JERASH ET LA REGION DE SALT

A partir des stations qui ont été installées en différentes localités dans ces régions, on calcule la lame d'eau tombée sur toute la région. La méthode la plus valable pour déterminer la lame d'eau est la méthode de la carte des isohyètes car la distribution des stations n'est pas suffisante.

. La méthode de la carte des isohyètes, utilise les courbes d'égales précipitations qui sont tracées à partir des relevés des stations situées dans la région de Salt et de Jerash. La carte de la figure n° 3-13 représente les isohyètes de l'année étudiée de la partie Nord de la Jordanie où se trouve la région étudiée. Par cette méthode, on trouve le volume total de l'eau précipitée sur l'ensemble de la région pendant la période étudiée et on peut trouver la hauteur moyenne de la lame d'eau ou P totale. Le tableau n° 3-14 représente les résultats obtenus à partir de cette méthode. Ces résultats comportent aussi la région de Baqa, donc il faut enlever les valeurs obtenues pour la région de Baqa, de la valeur totale obtenue pour toute la région pour avoir la valeur de la lame d'eau tombée sur le reste de la région. La pluie moyenne annuelle est de 438 mm soit environ 235 376.000 m3 par an sur les région de Jerash et de Salt.

Précipitations en mm Limites des isohyètes	Moyennes	Superficie délimitées en Km2	Volume d'eau reçu en 10^3 m3
700	700	7.5	5.250
600	600	22.5	13.500
600-500	550	65.0	35.750
500-400	450	255	114.750
400	400	185	74.000
400-300	350	60	21.000
		595.0	264.250000
	Région de Baqa	- 56.1	- 28.880280
		538.9	235.376000

Tableau n° 14



3-15- DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION DANS LA REGION DE JERASH ET LA REGION DE SALT

La méthode de Coutagne : on utilise la seconde formule de Coutagne qui fait intervenir la pluviométrie annuelle P pour mesurer l'ER.

La formule est $Er = P - P^2$

P est la précipitation moyenne annuelle en mm
T est la température moyenne annuelle exprimée en m.

Cette formule est valable pour les précipitations entre 400 et 1600 mm.

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

$\lambda = 0,307$

P = 438 m P^2 = 192 m2
Er = 0.348 m = 348 mm = 79,5 % P

La méthode de Turc : la formule de Turc est basée sur la température moyenne annuelle et la hauteur moyenne de précipitation.

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P2}{L2}}}$$

L = 300 + 25 T + 0,05 T3
T = température moyenne annuelle est °C
P = précipitation moyenne annuelle en mm
Ici, P = 438 mm
T = 17.5 Er = 419.5 m = 95 % P

3-16- RUISSELLEMENT DANS LA REGION DE JERASH ET LA REGION DE SALT

Dans ces deux régions comme on l'a déjà vu dans le premier chapitre, le drainage se fait vers la rivière Zarqa qui traverse la région. Donc la lame d'eau écoulée en surface dans les deux régions est calculée à partir des mesures du débit de la rivière Zarqa a l'entrée et à la sortie de la région.

D'après ces mesures le ruissellement est d'environ 50 mm soit 11,4 % de la pluie totale.

3-17 BILAN HYDROLOGIQUE DE LA REGION DE JERASH ET DE LA REGION DE SALT

D'après la méthode des isohyètes, la pluie moyenne annuelle est de 438 mm.

D'après la méthode de Coutagne, l'évapotranspiration annuelle est égale à 348 mm soit 79,5 % P.

D'après les mesures et les estimations, la lame d'eau qui ruisselle est égale à 500 mm soit 11,4 % P.

Donc

P - E = R + I
90 = R + I I = 40 mm
E = 79,5 % P I = 9,1 % P.
R = 11,4 % P

3-18 CONCLUSION

Les bilans hydrologiques réalisés tant sur la région de Baqa que sur les régions de Jerash et de Salt montrent que malgré de faibles valeurs des précipitations et une assez forte évapotranspiration, une part non négligeable des précipitations s'infiltre et peut alimenter les nappes souterraines.

Les précipitations étant les plus importantes sur les reliefs, c'est vraisemblablement là que l'infiltration est la plus importante d'autant plus que le sol n'y comporte très souvent aucun couverture végétale.

C H A P I T R E IV

IV - FORAGES REALISES DANS LA REGION ETUDIEE

4-1- FORAGES SUR LES GRES DU GROUPE KURNUBE

4-2- FORAGES SUR LES CALCAIRES DU GROUPE AJLUNE

4-3- CONCLUSION

IV - FORAGES REALISES DANS LA REGION ETUDIEE

4-1- FORAGES SUR LES GRES DU GROUPE KURNUBE

Ces forages ont été effectués dans le secteur de Baqa et le secteur de Burma-Jerash et il y a encore deux forages dans la région de Salt.

Dans la région de Baqa, il y a 49 puits parmi lesquels il y a 9 puits effectués par la N.R.A. de la Jordanie et le reste a été financé par les particuliers. La majorité des sondages a été effectuée pendant l'année 1976-1977. Le tableau 4-4 montre quelques caractéristiques de ces puits.

La situation de ces sondages est montrée sur la figure 4-1. Parmi ces 49 puits, il y a 8 puits superficiels, ce sont des puits creusés à la main. La profondeur de ces puits varie de 1.4 à 5,8 m. Le reste des puits ont une profondeur moyenne de l'ordre de 154 m; celle-ci varie de 20 à 251 m sauf le puits n°9 qui était foré jusqu'à la profondeur de 2750 m (forage pétrolier). La plupart de ces sondages ont été effectués pour la connaissance du niveau des aquifères profonds. Actuellement 7 forages sont utilisés pour l'alimentation en eau potable des agglomérations de la région et de la région d'Amman. Le reste des forages est exploité pour l'irrigation des terrains de culture de la région. Les résultats des sondages mécaniques nous ont permis d'établir des profils tenant compte de profondeurs intéressantes.

Plusieurs échantillons ont été prélevés lors de l'exécution des sondages de reconnaissance et d'autres échantillons ont été prélevés dans les différentes parties de la région. L'étude de ces échantillons nous a permis la détermination de leur nature pétrographique et l'établissement des courbes granulométriques (figure 4-2 et figure 4-3).

Des essais de pompage ont été effectués sur la majorité des forages.

Dans ce chapitre, on va décrire les forages les plus intéressants pour notre étude et qui sont choisis pour couvrir presque toute la région.

4-1-1- Puits n° 36

Ce puits est situé à l'intersection des coordonnées locales suivantes : E :229,150 - N : 162,350. Il est implanté

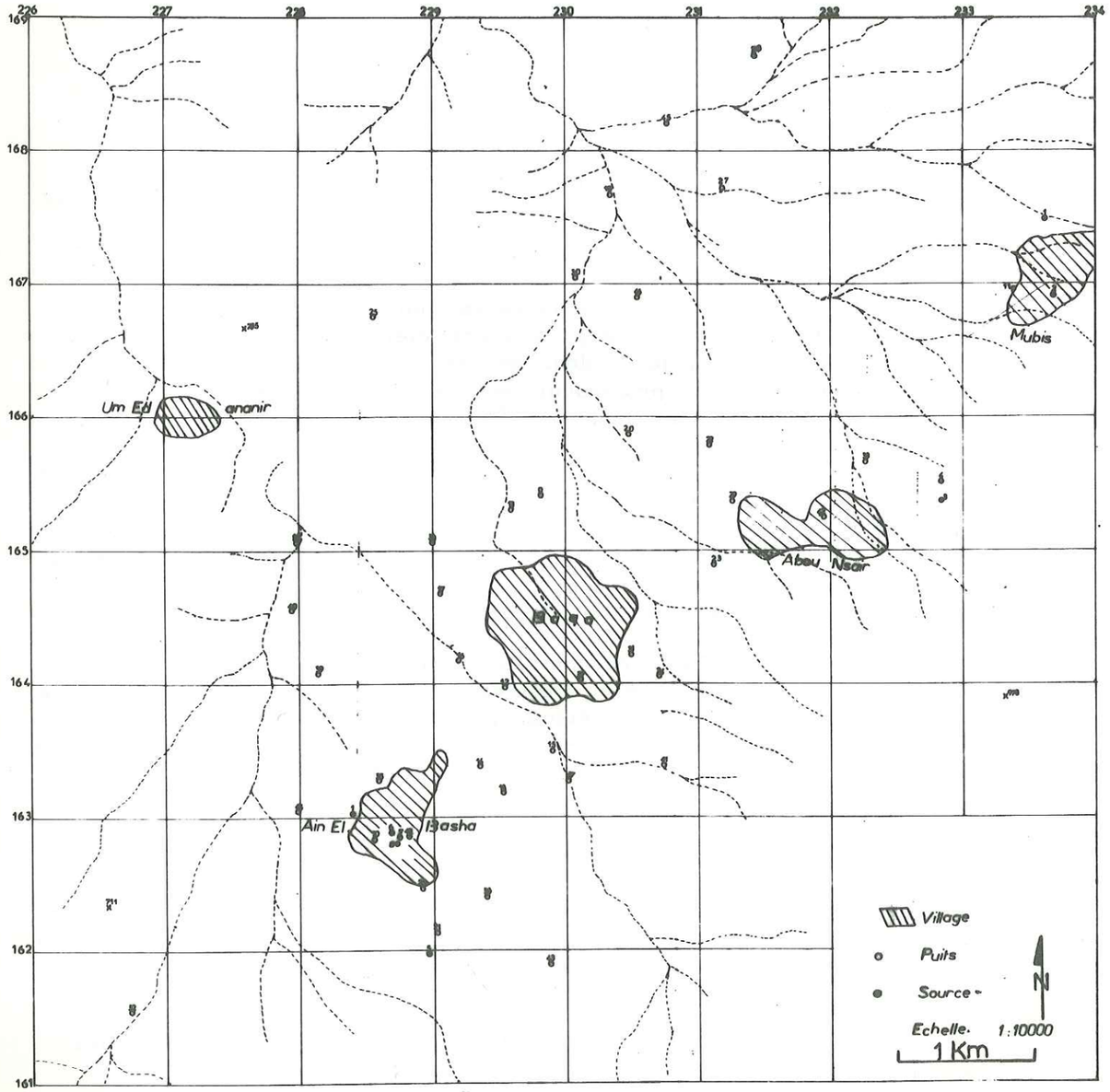
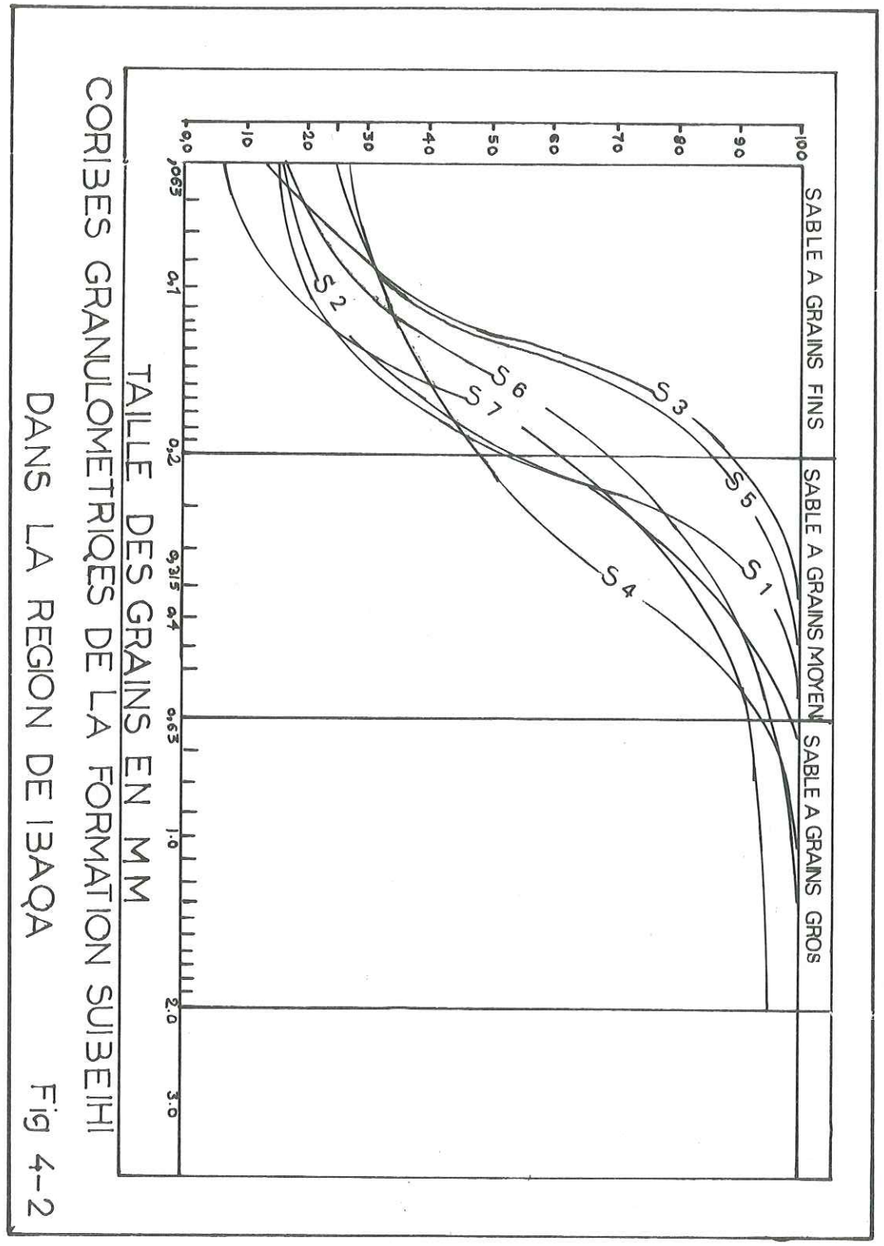


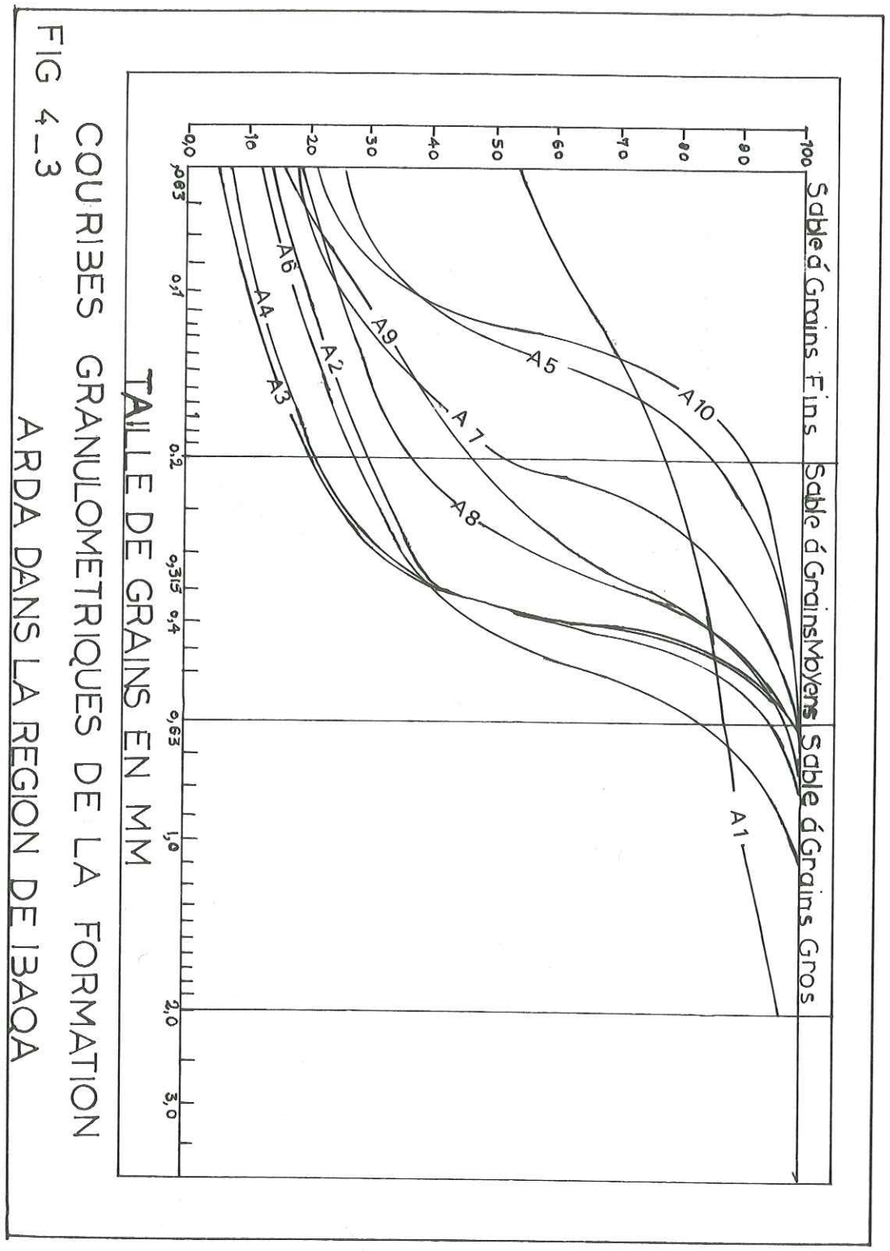
Fig. n° 4-1 - CARTE DE SITUATION DES POINTS D'EAU DE LA REGION DE BAQA



CORIBES GRANULOMETRIQES DE LA FORMATION SUIBEIHI

DANS LA REGION DE IBAQA

Fig 4-2



COURBES GRANULOMETRIQUES DE LA FORMATION

FIG 4_3

ARDA DANS LA REGION DE IBAQA

sur les grès du groupe Kurnube. Les travaux de sondage ont commencé au mois de mai 1977 à la profondeur de 104 m par une sondeuse à " percussion ".

Ce sondage de 104 m a été foré en diamètre de 304.8 mm. Le diamètre du tubage est le suivant.

Profondeur en m	diamètre en mm	
0 - 23	254	non crépiné
23 - 57	254	crépiné
57 - 63	254	non crépiné
63 -102	254	crépiné

Filtre de gravier : on a rempli par des graviers tout l'espace, annulaire entre le tubage du puits et le terrain adjacent. Le but de ce filtre de gravier est d'éviter l'entrée des sables du terrain adjacent dans le tubage. La taille du gravier correspond à la taille du sable.

Pendant les travaux de sondage après 26 m de grès du groupe Kurnube (Trias) on a trouvé l'eau dans les grès du même groupe. Sous l'effet de la charge, il y a eu une remontée de l'eau d'environ 3m. Les grès continuent jusqu'à la profondeur de 57 m, où on a trouvé des marnes de la même formation. A la profondeur de 66 m, on a retrouvé les grès avec du sable qui continuent jusqu'à la profondeur de 102 m, où on a rencontré les marnes. Le niveau statique de l'eau a baissé d'environ 3 m, car il y a un autre horizon d'eau. La figure 4-4 montre la lithologie de ce sondage.

Essais de pompage : un essai de pompage et l'extraction de l'eau de ce forage ont été faits par une pompe verticale de type Johnston. Le niveau statique était de 26.10 m.

Développement et nettoyage : pour nettoyer le forage, on a commencé le pompage avec un débit constant de 50 m3/hr et après 5 heures de pompage on a eu de l'eau claire.

Essais de rabattement : cet essai a duré 24 h avec un débit constant de 56 m3/h; le niveau d'eau est arrivé jusqu'à la profondeur de 30,10m. Le rabattement est donc de 5 m. La conductivité de l'eau pompée était de 0,600 m mhos/cm.

Essais de remontée : après 390 minutes le niveau de l'eau est arrivée à 26.20m, soit 0,01 m plus bas que le niveau de l'eau avant l'essai de rabattement, donc la remontée est rapide.

Essais de rabattement par paliers : les résultats sont sur le tableau 4-1.

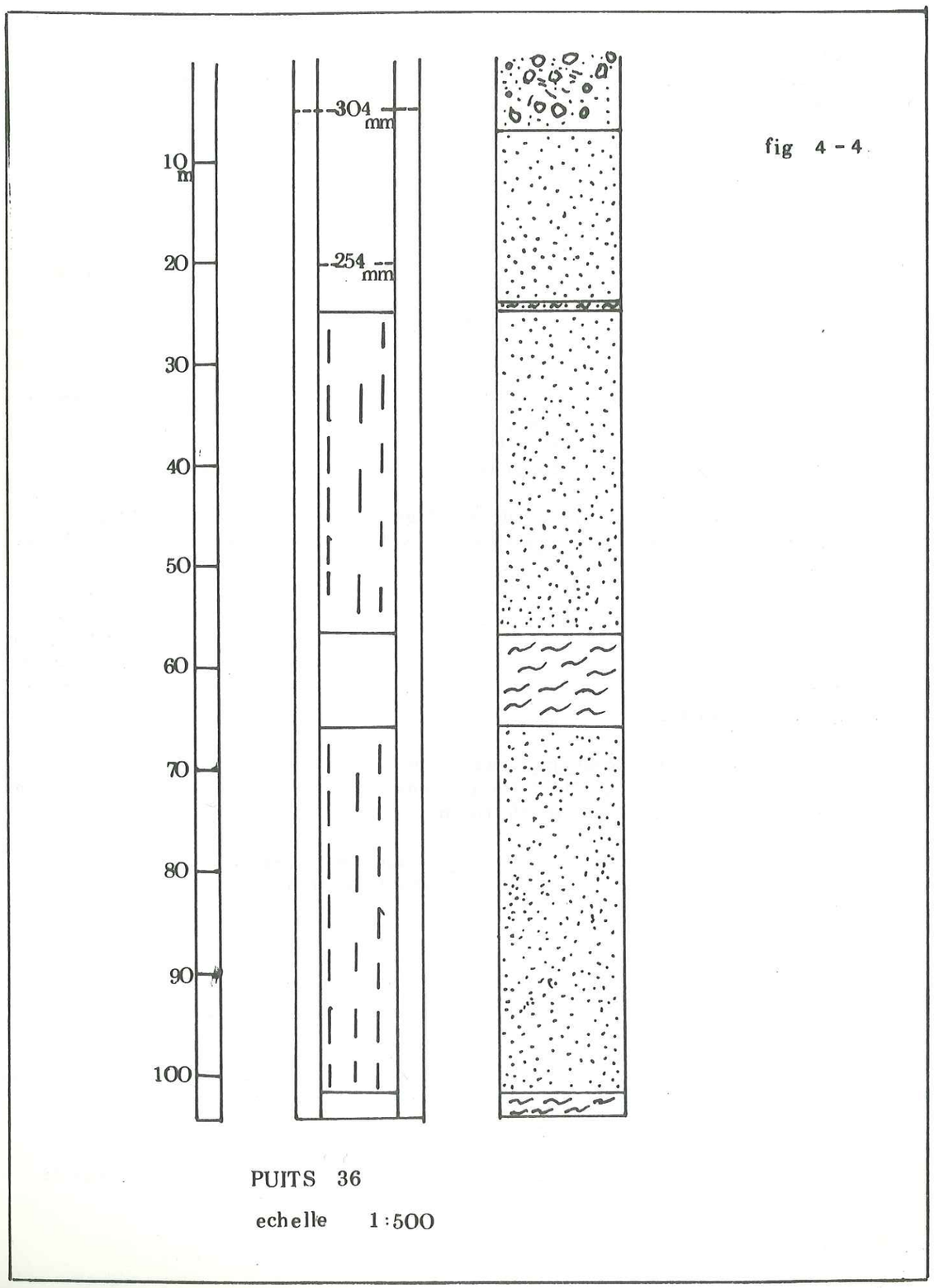


fig 4 - 4

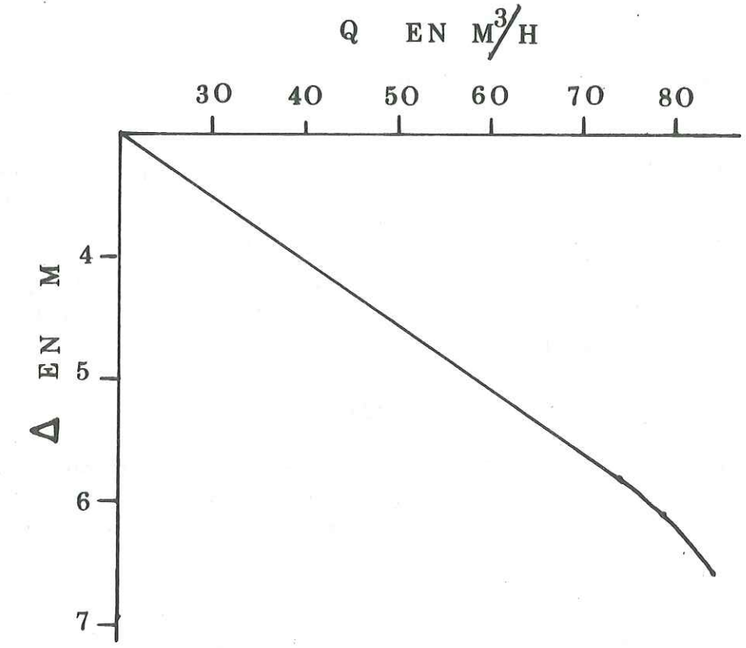
PUITS 36

echelle 1:500

Palier de pompage	Q en m3/h	N.D en m	Δ en m	Temps d'essai en min	Débit spécifique m3/h/m
1er	84	32.7	6.60	280	12.72
2ème	78	32.20	6.1	320	12.78
3ème	74	31.90	5.80	280	12.75

Tableau 4-1

Le débit spécifique est constant pendant les essais de rabattement par paliers.



La figure 4-5 montre la courbe caractéristique du puits n°36 dans la région de Baqa.

4-1-2- Puits n° 17. Ce puit est situé sur les grès de la formation Subeihi du groupe Kurnube, à l'intersection des coordonnées :

E : 228.940 - N : 164,640

Les travaux de sondage ont commencé au mois de décembre 1976 et ont été terminés au mois de Février 1977 à la profondeur de 170m par une sondeuse (Rotary). Ce sondage de 170 m à été foré en 279.4 mm de diamètre.

Pendant les travaux de sondage, après 95m de sédiments du groupe Kurnube, on a trouvé les grès de la formation Al Azab du groupe

Zerqa . Ces grès ont continué jusqu'à la profondeur de 170 m, entre les deux profondeurs on a trouvé des calcaires-dolomitiques et gréseux avec des grès. A la profondeur de 170 m on a trouvé les argiles qui sont intercalées dans les grès de ce groupe. On ne sait pas exactement à quelle profondeur on a rencontré l'eau, car la sondeuse est de type Rotary, mais il y a eu une perte de circulation pendant le sondage à la profondeur de 90 m qui indique la présence ce l'eau à cette profondeur.

Pendant la poursuite du forage jusqu'à 170 mètres le niveau de l'eau s'est abaissé lui jusqu'à 144 m.

Diamètre de tubage :

Profondeur en m	Diamètre en mm	
0-153	254	non crépiné
153-170	245	crépiné par crépine de type Johnston

de taille 0,625 mm

La crépine Johnston est attachée avec le tubage non crépiné pour éviter l'entrée de sable dans l'eau pendant le pompage. Le niveau de l'eau est de 144.67.

Les essais de pompage

Développement et nettoyage : on a fait 26 h de pompage avec une pompe verticale de type Johnston pour nettoyer le puits avec un débit constant de 55 m3/heure. A la fin de cette période on a eu de l'eau claire.

Essais de rabattement : cet essai a été commencé à 11h45 le 26.2.77 avec un débit constant de 72m3/h. La durée de pompage était de 59 heures et le niveau de l'eau est arrivé à 151.48 m avec un rabattement donc de 6.81m. Le débit spécifique d'après cet essai de pompage est $\frac{72}{6.81}$ = 10.57 m3/hr/m.

La conductivité électrique de l'eau de pompage était 0,780 mmhos/cm.

Essais de remontée : après 81 minutes le niveau de l'eau dans le puits est arrivé à 145.30 m c'est-à-dire 0,63 m plus bas que le niveau de l'eau avant l'essai de rabattement.

Au voisinage de ce puits et à 10 mètres du sud, il y a un autre puits. Les mesures sont faites simultanément pendant les essais de pompages sur les deux puits. Le deuxième puits a une profondeur de 201 m et est équipé d'une crépine Johnston de 279.4 m de diamètre.

Le tableau 4-2 montre les résultats des mesures sur les deux puits.

N° Puits	N.S en m	ND en m	Durée d'essais de rabattement en heure	Q en m3/h
17 B	144.67	151.48	59	72
17 A	143.69	146.84	59	non pompage

Tableau n° 4-2

4-1-3- Puits n° 31

Ce puits est situé sur les grès du groupe Kurnube à l'intersection des coordonnées : E 230,490 - N : 164,215

Les travaux de ce sondage ont été commencés au mois de Février 1977 et ont été terminés au mois d'avril 1977, à la profondeur de 194 m , par une sondeuse " Rotary ". Ce sondage a été foré en 279.4 mm de diamètre et a été effectué par la N.R.A. de la Jordanie pour le compte de la W.S.A. d'Amman.

Le tubage :

Profondeur en m	Diamètre en m	
0 - 175	241.3	non crépiné
175 - 194	228.6	crépine Johnston

La crépine a 19 mètres de longueur et la fente de la crépine est de 0,312 mm. Le but de cette crépine est d'éviter l'entrée de sable du terrain adjacent dans le tubage pendant le pompage.

Pendant les travaux de sondage après 160 m de grès et de marnes sableuses du groupe Kurnube on a trouvé les dolomies gréseuses et les grès de la formation Al Azab du groupe Zarqa (Jurassique inférieur) Cette formation a continué jusqu'à la fin du sondage a la profondeur 194 m. La Figure 4-6 montre ce puits.

Les essais de pompage. L'eau du forage a été extraite par une pompe verticale de type Johnston. Le niveau statique de l'eau avant le pompage était de 140,8 m.

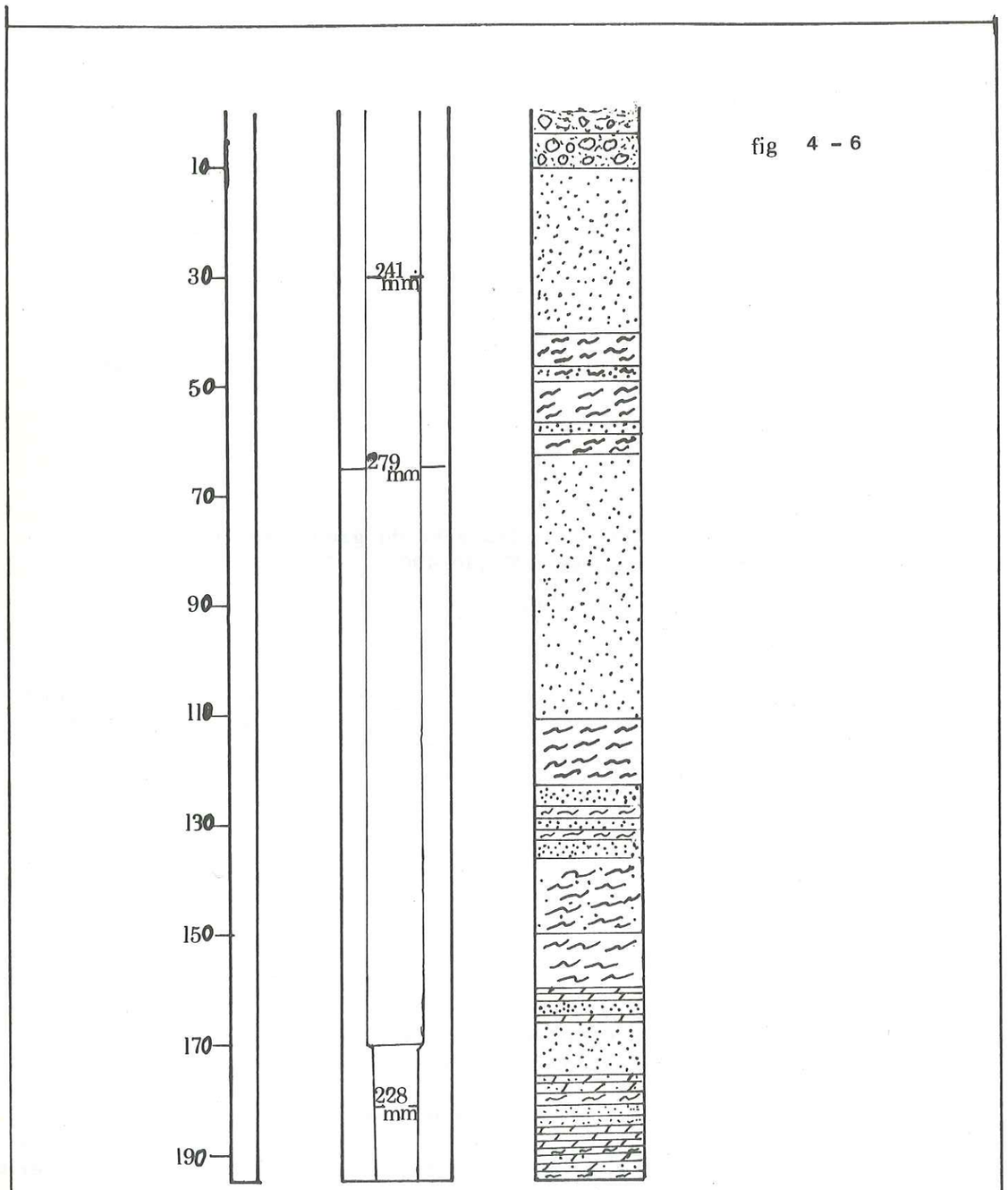


fig 4 - 6

PUITS 31

echelle 1:1000

Développement et nettoyage : le pompage a commencé à 11h30 le 15.10.1977 avec un débit constant de 20 m3/h et après 4 heures de pompage on a eu de l'eau claire. La conductivité électrique de l'eau de pompage était de 0,550mmhos/cm ce qui indique que l'eau est douce.

Essais de rabattement : cet essai a été fait le 16.10.77 avec un débit constant, la durée de pompage était de 24 heures et le niveau de l'eau est arrivé à 175 m. Le résultat est le suivant :

Temps d'essais	ND en m	D en m	Débit m3/h	Débit spécifique m3/h/m
24	175.18	35	22	0.62

4-2- LES FORAGES SUR LES CALCAIRES DU GROUPE AJLUNE

Ces forages ont été effectués dans le secteur de Salt à l'Ouest du secteur de Baqa, et dans la région de Jerash au nord de la région de Baqa. Dans la région de Jerash, on a 10 forages sur la formation Naur A 1/2 qui est le seul aquifère du groupe Ajlune dans la région de Jerash. Dans la région de Salt, on a huit forages sur les formations Wadi es-sir A 7, Shueib A 5, et la formation Hummer A4. Tous les puits dans cette région ont été effectués par la N.R.A. de la Jordanie, pour alimenter en eau potable l'agglomération et la ville de Salt, tandis que les forages dans la région de Jerash sont effectués par des particuliers et actuellement, ils sont exploités pour l'irrigation des terrains de culture dans la région. Il y a deux forages qui sont effectués par la N.R.A pour alimenter en eau potable le camp de réfugiés de la ville de Jerash.

La profondeur moyenne des puits dans la région de Jerash est de 90 m. Elle varie de 53 m à 164 m tandis que la profondeur moyenne des puits dans la région de Salt est de 200 m, et varie de 105 à 267 m.

Des essais de pompage ont été effectués sur les forages. Dans ce chapitre nous parlerons de quelques forages qui sont intéressants pour notre étude et qui sont représentatifs de la région.

4-2-1- Puits Salt n° 2

Ce puits a été effectué par la N.R.A de la Jordanie pour alimenter en eau potable la ville de Salt. Il est situé dans l'oued es-salt sur les calcaires de la formation Shueib A 5/6 du groupe Ajlune à l'intersection des coordonnées suivantes :

E : 218.980 - N : 159,590

Ouvrage de sondage : les travaux de sondage ont duré trois mois, du mois de Mars 1970 jusqu'au mois de juin 1970. Le forage a été terminé à la profondeur de 105 m.

Pendant les travaux de sondage, après 18m de marnes et de calcaires de la formation A 5/6, on a rencontré l'eau polluée. La formation A 5/6 a continué jusqu'à la profondeur de 65 m où on est arrivé dans les calcaires dolomitiques de la formation Hummer A4 qui est l'aquifère. Il y avait une remontée d'eau de 5.6m . Cette formation a continué jusqu'a la profondeur de 102 m où on a trouvé les marnes de la formation Fuhies A 3. Trois mètres ont été forés dans cette formation, l'épaisseur de l'aquifère est de 42 m

Diamètre de sondage : les sondages ont les diamètres suivants :

Profondeur en m	Diamètre en mm
0 - 20 m	406.4
20 - 105 m	304.1

Diamètre de tubage : les diamètres de tubage sont variables.

Profondeur en m	Diamètre de tubage en mm	
0 - 20	355 mm	non crépiné
0 - 56	254 mm	non crépiné
56 - 102	254 mm	crépiné
102 - 103	254 mm	non crépiné

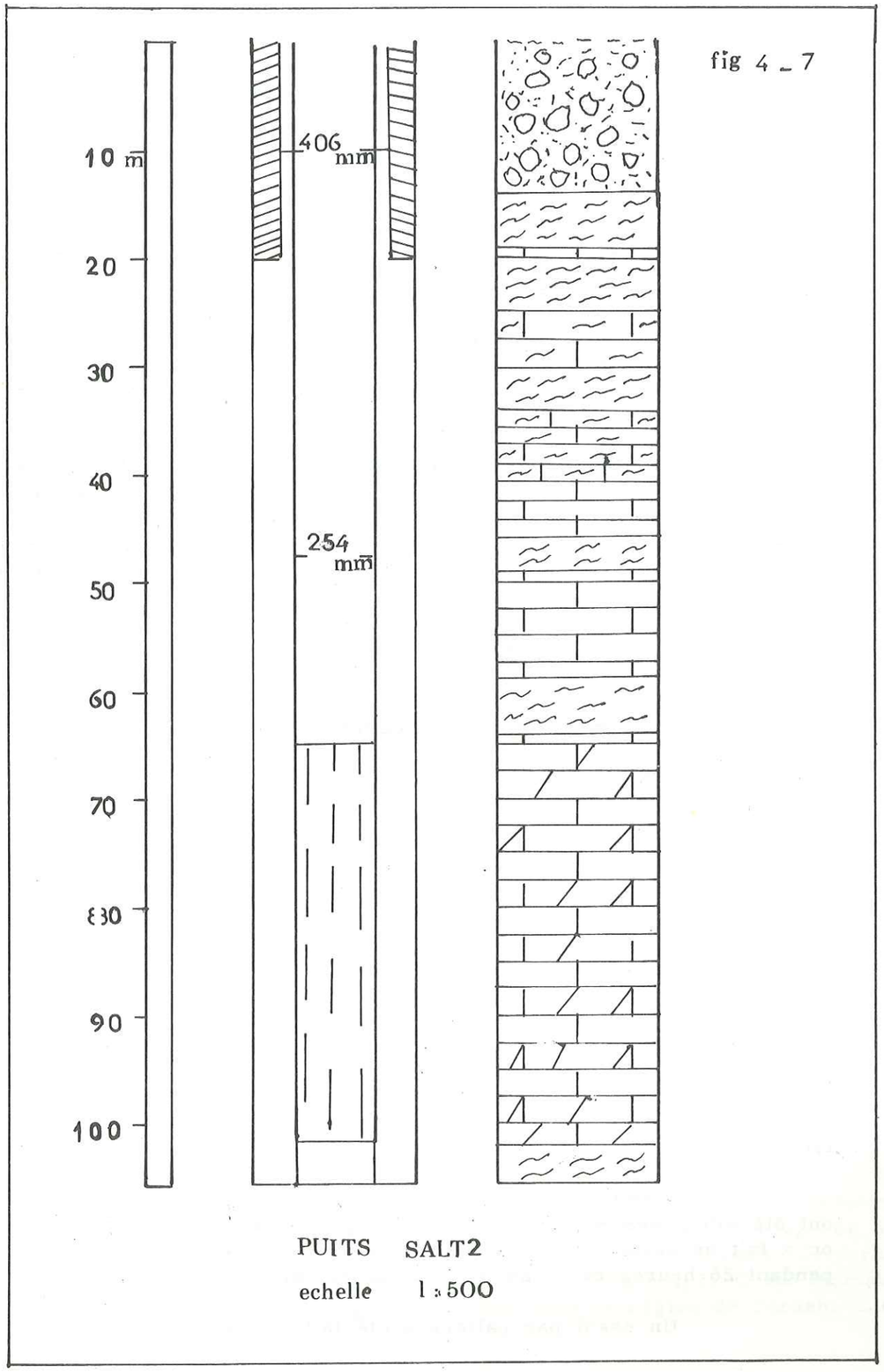
La figure 4-7 montre les formations rencontrées par le forage et le développement du puits.

Cimentation : on a rempli par un mélange à base de ciment, tout l'espace annulaire entre le tubage de 355 mm et le terrain adjacent, le but à atteindre est de rendre étanche cet espace annulaire contre les attaques des eaux de surface et superficielles, qui sont polluées par les eaux usées de la ville de Salt, car les sources de pollution sont près de la région d'alimentation des eaux souterraines.

Essais de pompage : Les essais de pompage et l'extraction de l'eau de ce forage ont été faits avec une pompe verticale de type Johnston . Le niveau statique était 60.60 m avant le pompage.

5 heures de pompage avec un débit variable,(en moyenne de 50 m3/h)ont été effectuées pour nettoyer le forage. Après la remontée de l'eau, on a fait un essai de rabattement avec un débit constant, de 76 m3/ h pendant 24 heures . On a eu 6,5 m de rabattement et le débit spécifique est donc de 11 m3/h/m.

fig 4 - 7



PUITS SALT2

echelle 1 : 500

4-2-2- Puits n° Y1

Ce puits est situé sur les calcaires de Wadi-es-sir A 7 dans l'oued El Khakha à l'intersection des coordonnées suivantes :

E : 223.340 - N : 162,00

dans l'axe d'un synclinal de direction Nord Est Sud Ouest. Le forage a été effectué par la N.R.A. de la Jordanie pour alimenter en eau potable l'agglomération et la ville de Salt.

Ouvrage de sondage : les travaux de sondage ont duré 5 mois et le forage a été terminé à la profondeur de 276 m. Pendant ces travaux, après 56 m de calcaires de la formation Wadi-es-sir on a rencontré l'eau. Cette formation a continué jusqu'à la profondeur de 75 m, où on est arrivé aux calcaires-marneux et marnes de la formation Shueib A 5/6. Cette formation a continué jusqu'à la profondeur de 222 m où on est arrivé dans les calcaires dolomitiques de la formation Hummer A4 qui est l'aquifère essentiel dans ce puits. Cette formation se termine à la profondeur de 271 m où on a trouvé les marnes de la formation Fuheis A3. On a foré cinq mètres dans cette formation.

Diamètre de sondage : les diamètres de sondage pour ce puits sont les suivants :

Profondeur en m	Diamètre en mm
0 - 175	355.6
175 - 276	304

Diamètre de tubage :

Profondeur en mm	Diamètre en mm	
0 - 175	304.6	non crépiné
175 - 222	254	non crépiné
222 - 271	254	crépiné
271 - 276	254	non crépiné

Essais de pompage : les essais de pompage et l'extraction de l'eau de ce forage ont été faits par une pompe verticale de type Johnston. Le niveau statique était à 147.26 m avant le pompage.

6 heures de pompage avec un débit constant de 30 m3/h ont été effectuées pour nettoyer le forage. Après la remontée de l'eau, on a fait un essai de rabattement avec un débit constant de 35 m3/h pendant 26 heures et 29 m de rabattement.

Un essai par paliers a été fait après la remontée.

Le tableau 4-3 résume les essais par paliers.

Palier de pompage	Temps d'essai en minutes	Q en m3/h	ND en m	Δ en m	Débit spécifique m3/h/m
1er	280	45	183.26	36	1.25
2ème	190	40	178.26	31	1.26
3ème	150	30	171.26	24	1.25

Le débit spécifique pour les trois paliers est constant . La figure 4-8 montre la courbe caractéristique de ce puits.

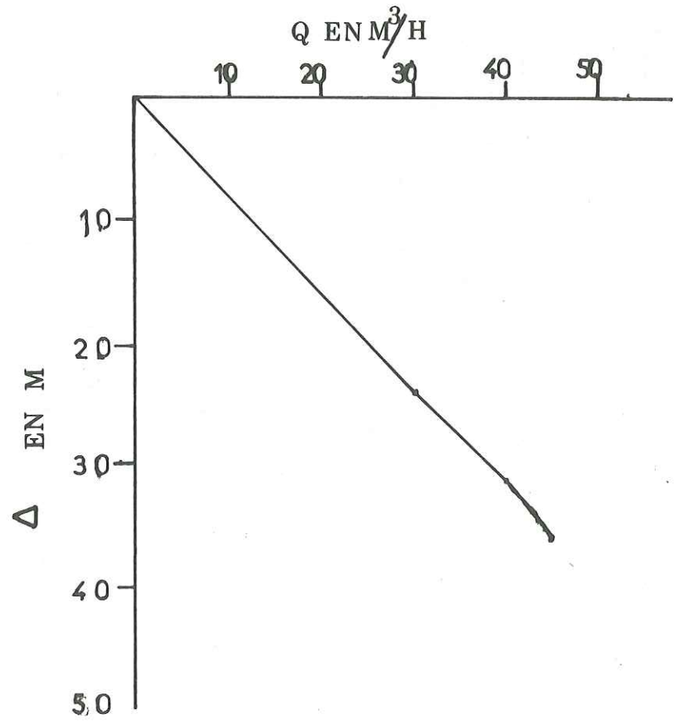


Figure 4-8 - Courbe caractéristique du puits n° Y1

4-2-3- Puits du camp de Sauf n° 1

Ce forage a été effectué par la N.R.A. de la Jordanie pour alimenter en eau potable le camp des réfugiés près du village de Sauf, qui est situé à 3 km au Nord-Ouest de la ville de Jerash. Ce forage est situé sur les calcaires de la formation Naur 1/2. Cette formation est le seul aquifère du groupe Ajlune dans la région de Jerash. L'eau

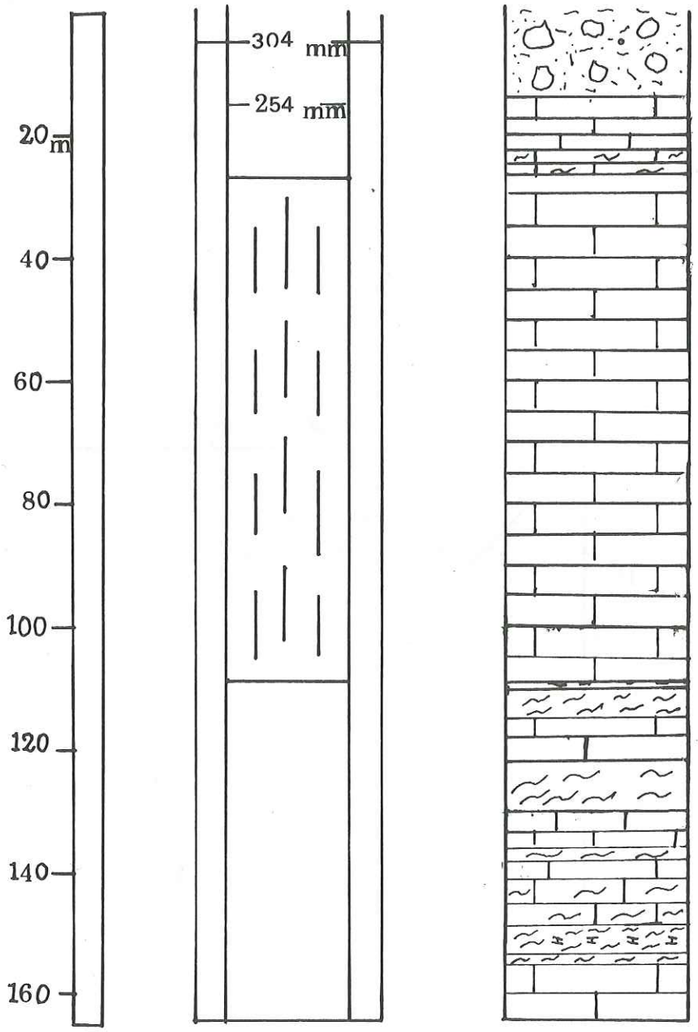


fig 4 - 9

PUITS CAMP DE SAUF I

echelle 1 : 1000

se trouve dans les calcaires-dolomitiques de cette formation. Les coordonnées de ce forage sont le suivantes :

E : 234 - N : 191,375

Les ouvrages de sondage : les travaux de sondage ont duré deux mois, du mois d'Avril jusqu'au mois de Mai 1977. Le forage a atteint la profondeur de 164 m. Pendant ces travaux de sondage, après 13 mètres de graviers calcaires, on a trouvé des calcaires qui alternent avec des marnes, des bancs de calcaires dolomitiques, des calcaires très durs et des calcaires marneux de la formation Naur A 1/2

Le diamètre de sondage : tout le puits est foré en 304 mm de diamètre.

Les diamètres de tubage :

Profondeur en m	Diamètre du tubage en mm	
0 - 27	254	non crépiné
27 - 109	254	crépiné
109 - 164	254	non crépiné

Essais de pompage : les essais de pompage et l'extraction de l'eau de ce forage ont été effectués avec une pompe verticale de type Johnston. Le niveau statique était à 27.25 m.

Développement et nettoyage : 24 heures de pompage ont été effectués pour nettoyer ce forage avec un débit constant de 10 m3/h. Le pompage a été arrêté pour faire l'injection d'acide pour développer la perméabilité des calcaires qui sont la zone d'eau dans ce forage. L'injection d'acide a été effectuée par une unité d'acide mais l'injection d'acide n'a rien changé à la perméabilité des calcaires. Un essai de rabattement a été effectué pendant 24 h avec un débit constant de 10 m3/h. Le niveau dynamique était de 65.5 m, c'est-à-dire avec un rabattement de 38 m. Le débit spécifique est 0,26 m3/h. La conductivité de l'eau de pompage était de 0,6 m mhos/cm. La figure 4-9 montre le puits et son développement.

4-3 CONCLUSION

Les forages et les essais de pompages réalisés montrent que :

- Pour la région de Salt et de Jerash, les aquifères sont les formations du groupe Ajlune. Dans la région de Salt le meilleur aquifère est la formation Hummer A 4 qui contient des calcaires- dolomitiques avec une épaisseur moyenne de 42 m. La formation Wadi-es-sir est un aquifère de débit faible dans la région. Le débit maximum est de

TABLEAU n° 4-4

TABLEAU DE QUELQUES CARACTERISTIQUES DES PUITS DANS LA REGION DE BAQA

Nom du puits	Localité	Coordonnées E	Coordonnées N	N°du puits	Profond. Totale en m.	Profond. de la nappe	Niveau statique en m.	Nom de l'aquifère	Débit m^3/h
Hussein El-Waked	Ein El-Basha	228.380	163.087	1	4.9	4.9	3.7	K	
Abdallah El-Waked	" " "	228.414	163.000	2	5.8	5.8	4.2	K	
Abdul-Fattah Ekrayyem	" " "	228.539	162.963	3	1.10	1.1	1	K	
Ali Fadel (1)	" " "	228.430	162.962	4	4.6	4.6	3.3	K	
Abdel-Haleem Mare'i	" " "	228.482	168.905	5	3.5	3.5	2.6	K	
Mousa El-Ali	" " "	228.530	162.904	6	2.4	2.4	2.0	K	
Hasan Abdul-Rahman	" " "	228.545	162.904	7	3.0	3	2.0	K	
Ali El-Faddel (2)	" " "	228.575	162.938	8	1.4	1.4	1.0	K	
El-Hussen Station	" " "	229.812	165.407	9	182	147	146.19	K+Z	34
S-9	" " "	228.350	163.150	10	132	94 (2.5-10 (90-132	2.5/90	K+Z	18
S-11	Mubis	233.400	166.950	11	251.5	229	229	K+Z	très lent
S-24	Ein-El-Basha	229.300	163.350	12	254	157 (16-21 108-117 (161-202	157	K+Z	60
S-38	Baqa'à	229.500	165.500	13	191	(81-85 (90-129	77	K+Z	8
Seif-Eddin Yahya and Partners (1)	Ein El Basha	229.300	163.360	14	167	151.50	151.50	K+Z	70
Najeeg El-Rashdan and Company (1)	Ein El-Basha	229.590	163.020	15	190	121.20	121.20	K+Z	110
Baqa'a Well N°2	Baqa'a	229.200	164.100	16	214	157.28	151.28	K+Z	60
Baqa'a Well n°3	Baqa'a	228.940	164.640	17	201	143	143	K+Z	70
D. Ibraheem Shami n°1	Ein El-Basha	229.580	163.200	18	200	135.30	135.30	K+Z	106
Atallah Qara'an n°1	Abu-Nsair	230.350	167.680	19	142	121	112.50	K+Z	33
Ja'fer El-Shami n° 1	Abu-Nsair	230.490	165.875	20	160	83.5	83.5	K	80
A. Hafteh Awamlah and Brothers 1	Ain El-Basha	228.940	160.180	21	100	80	22.30	K	80

5 m3/h. Dans la région de Salt, il y a aussi deux forages qui ont été effectués sur les grès du groupe Kurnube (formation Arda K1). Cet aquifère a un faible débit qui n'excède pas 15 m3/h.

Le meilleur aquifère dans la région de Jerash est la formation Naur A 1/2. Les zones productives sont les bancs de calcaires-dolomitiques et de calcaires. Les débits de ces zones varient de 12 à 120 m3/h. Il ya aussi des forages dans les grès du groupe Kurnube, formation dont le débit varie de 30-50 m3/h.

- Pour la région de Baqa, les aquifères sont les formations de deux groupes Kurnube et Zerqa : leur débit varie de 30 à 120 m3/h.

C H A P I T R E V

==========

V - LES SOURCES

==========

5-1- LES SOURCES DANS LA REGION DE JERASH

5-2- LES SOURCES DANS LA REGION DE BAQA

5-3- LES SOURCES DANS LA REGION DE SALT

5-4- CONCLUSION

Nom du puits	Localité	Coordonnées E	Coordonnées N	N° du puits	Profond. Totale en m.	Profond. de la nappe	Niveau statique en m.	Nom de l'aquifère	Débit en m^3/h.
Abdul-Karim Ali n° 1	Abu-Nsair	231.080	165.795	22	105	58	57.71	K+Z	45
Abdullah Einzazan	Abu-Nsair	231.030	169.940	23	120	70	66.10	K+Z	51
Abdullah Akeel n°1	Abu-Nsair	230.700	164.050	24	125	87.80	87.80	K+Z	82
G. Abou Erabi	Um-Edananir	228.560	166.756	25	265	223	223	K+Z	sec
Eid Abdul-Hadi	Ain El-Basha	228.940	162.620	26	20	3	3	K	36
Yacoub Abu-Khallaf	Mubis	231.185	167.730	27	200	164.5	150.80	K+Z	sec
S. Ibraheem Fakasaw	Mubis	231.430	168.723	28	142	130	130	K+Z	sec
Abdul-Kareem Ali n° 2	Abu-Nsair	231.260	165.380	29	144	69	65.40	K+Z	45
Atallah Qara'an n° 2	Abu Nsair	230.095	167.050	30	165	108	106.95	Z	12
S. W. 1.	Ein El-Basha	230.490	164.125	31	194	160	118.18	Z	22
Abdul Lattif	" " " "	226.680	161.440	32	124	44	63	K+Z	6
Abou Shwimeh						(77 (99			
Youself el Nahar	Abou Nsair	231.800	166.400	33	183	(99 (160	142	K+Z	40
J. Es;Shami n° 2	Um Edananir	227.980	165.060	34	96	(49 (83	48	K	120
Y. Gageesh	Ein El-Basha	227.350	162.990	35	200	76	73	K	
Shawkat Sboul	" " "	229.450	169.150	36	104.5	26.5	26.10	K	65
S. W. 2	" " "	230.	164.	37	214	123	93.38	K+Z	80
S. W. 3	" " "	228.850	164.950	38	194	63	118	K+Z	21
Ahmad El Fayad	" " "	228.120	164.630	39	131	56	49	Z	
N. El. Sabah	" " "	227.950	164.490	40					
A. R. Al Compana	" " "	230.770	163.350	41	197	164	164	K+Z	30
Abou Nsair Sociaty	" " "	231.950	165.250	42					
Ibrahim El Shami n° 2	" " "	229.865	161.890	43	147	87	82.45	K	80
Raef Najim	" " "	227.995	163.055	44	127	87	80.6	Z	
Musa El Malekh	Mubis	230.775	168.200	45					
Y. El Fare-Eitlab	Mubis	230.550	166.900	46					
N. El-Rasdaam	Ain El Basha	229.590	163.020	47	134	66	65.43	K+Z	75

V - LES SOURCES

Les sources dans la région étudiée, sont très nombreuses et elles sont plus fréquentes dans la région de Jerash. Ces sources ont des débits considérables. La majorité des sources, dans la région de Jerash, sont alimentées par les calcaires-dolomitiques fissurés appartenant à la formation Naur A 1/2 et le reste est alimenté par les grès et calcaires-dolomitiques-gréseux des groupes Kurnube et Zarqa.

5-1- LES SOURCES DANS LA REGION DE JERASH

La figure 5-1 montre la localisation des sources :

1 -AL 61 - Source au contact des calcaires avec les marnes. Elle se trouve dans la ville de Jerash.
2 -AL 60 - Source au contact des calcaires avec les marnes à 2 kms au N-W de Jerash
3 -AL 30 - Source au contact des calcaires avec les marnes au S-E de Jerash
4 -AL 41 - Source au contact des calcaires avec les marnes au N-W de Jerash
5 -AL 49 - Source dans les calcaires
6 - Autres sources.

5-1-1- Source n° AL 61 (Al-Qeirawan)

Cette source est située dans la ville de Jerash. Elle émerge de bancs de calcaires dolomitiques appartenant à la formation Naur qui est l'aquifère unique des formations du groupe Ajlune dans la région de Jerash. Cette formation est constituée de marnes et calcaires marneux avec des bancs de calcaires-dolomitiques. La variabilité du débit se situe entre 65 et 332 m3/h. Cette source possède plusieurs points d'émergence qui sont des trop-pleins temporaires sous l'influence directe des précipitations sur la région.

La cote d'émergence est de 580 m. La qualité de l'eau de cette source est bonne et elle alimente en eau potable la ville et l'agglomération de Jerash mais il y a de grands risques qu'elle soit polluée par les eaux usées car celles-ci sont proches de la région d'alimentation.

5-1-2- Source AL 60 (El Birkatien)

Cette source est située dans l'oued El Birkatien à 2 Km au N-W de Jerash. Elle émerge des calcaires de la formation Naur A 1/2 du groupe Ajlune Ces calcaires sont très fissurés et alimentent cette source d'une façon artésienne.

La variabilité du débit se situe entre 14,6 et 360 m3/ h. Cette source possède plusieurs points d'émergence, mais il y a des points d'émergence qui sont des trop-pleins temporaires sous l'influence directe

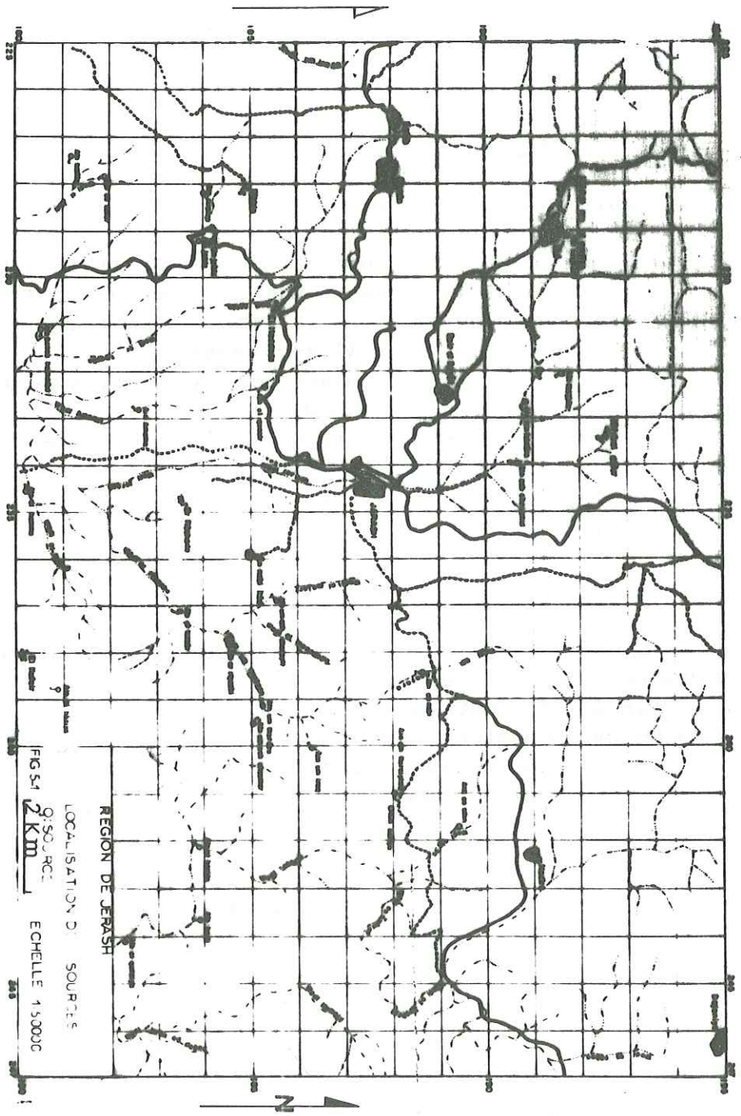


Fig N° 5-1- LOCALISATION DES SOURCES DE LA REGION DE JERASH

des précipitations sur la région. La cote d'émergence est de 590 m. La qualité de l'eau de cette source est bonne et les eaux de cette source sont utilisées pour l'irrigation des terrains de culture de l'oued El Birkatien.

5-1-3- Source El Tanour AL 30

Cette source est située dans l'oued El Tanour à 5 km au S-E de Jerash. Elle émerge d'un banc de calcaire appartenant à la formation Naur A 1/2 qui est constituée de marnes et calcaires marneux avec des couches calcaréo-dolomitiques. On peut considérer cette source comme une source de contact entre la formation Naur A 1/2 et la formation Subehi K1 du groupe Kurnube. Les calcaires au niveau de cette source sont très fissurés.

Le débit de cette source est très considérable et la variabilité du débit se situait entre 23 m3/h et 365.4 m3/h (pour la période 1965-1975). La source d'Al Tanour possède plusieurs points d'émergence mais l'eau ne s'écoulepas de façon permanente de tous ces points, les autres points sont des trop-pleins temporaires sous l'influence directe des précipitations sur la région de Jerash.

La cote d'émergence est de 470 m. La qualité des eaux de cette source est très bonne. Cette source alimente en eau potable quelques villages et le reste de l'eau est utilisé pour l'irrigation de 6000 donames.

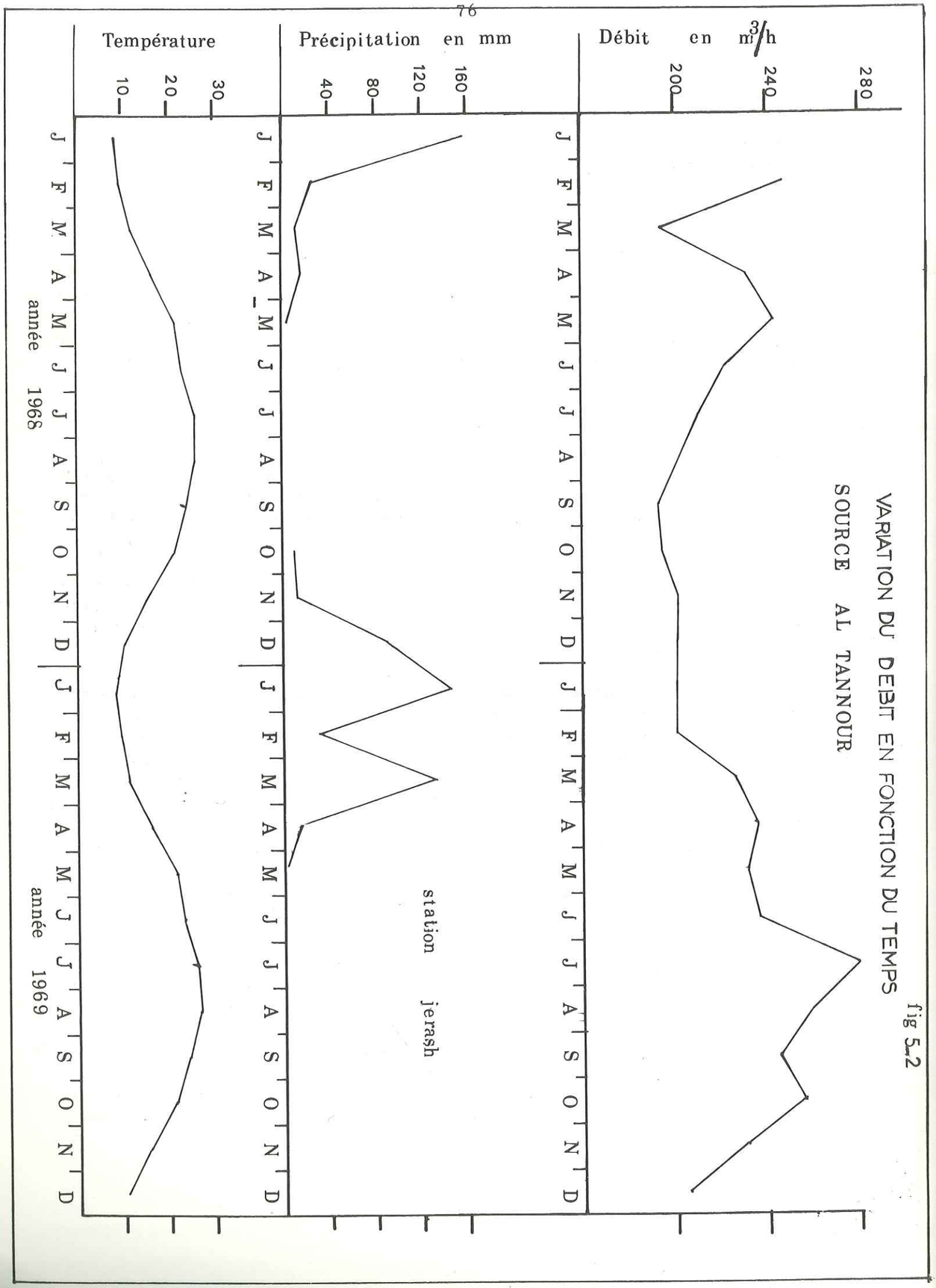
La courbe de variation du débit en fonction du temps pour cette source est représentée sur la figure 5-2, sur laquelle nous avons porté également les variations de la pluviométrie moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle de la région de Jerash.

La température de l'eau de cette source est de 20°C tandis que la température moyenne annuelle est de 17,5°C dans la région. La conductivité de l'eau est de0,65 m.mhos /cm, avec un pH de 7,45.

5-1-4- Source AL 32 (Rayasheh). Cette source est située à la fin d'oued Um Qantara à l'Est de Jerash. Elle émerge de la formation Naur A 1/2 du groupe Ajlune. Cette source est une source de faille; on observe autour de cette source des fragments de roches dus à l'existence de cette faille qui alimente la source.

La cote de l'émergence de cette source est de 490 m. Le débit varie entre 7.94 et 39.5 m3/h avec un débit moyen de 18.82m3/h.

La température de l'eau de cette source est de 22,5°C, tandis que la température moyenne annuelle de l'air dans la région



VARIATION DU DEBIT EN FONCTION DU TEMPS

SOURCE AL TANNOUR

fig 5.2

de Jerash est de 17,5°C. La conductivité électrique de l'eau de cette source est de 0.679 m.mohs/cm et le pH est de 7.7.

5-1-5- La source de " Maghasil " Al 41

Cette source est située à l'Est du village Sauf dans l'oued Elle émerge d'un banc de calcaires dolomitiques appartenant à la formation Naur A 1/2. La variabilité du débit se situait entre 7.27 et 149.4 m3/h avec un débit moyen de 39.91 m3/h, pendant la période 1965-1975. Cette source possède plusieurs points d'émergence, mais il n'y a qu'un point où, l'eau s'écoule de façon permanente, les autres points sont des trop-pleins temporaires sous l'influence directe des précipitations sur la région. Elle émerge à la cote de 870 m.

La qualité de l'eau de cette source est bonne et elle alimente en eau potable le village de Sauf et l'excès de l'eau ruisselle dans l'oued Sauf et est utilisé pour l'irrigation. Cette source est très près des sources de pollution surtout de pollution humaine. La température de l'eau de la source est 16°C et la conductivité électrique est de 0,614 m.mhos/cm avec un pH de 7.55.

5-1-6- La source AL 70 (El TIES)

Cette source est située au bord de l'oued Al Tawahin, 5 km au Sud-Est de Jerash à 1 km du camp des réfugiés de Jerash. Elle émerge des calcaires dolomitiques qui appartiennent à la formation Naur A 1/2 du groupe Ajlune. Cette source possède plusieurs points d'émergence, qui sont affectés directement par les précipitations locales.

La cote de l'émergence est de 600 m, la variabilité du débit se situait entre 40,21 et 511.2 m3/h avec un débit moyen de 173.95 m3/h (1965-1975).

La qualité de l'eau de cette source est bonne et elle alimente en eau potable les villages près de cette source et l'excédent d'eau est utilisé pour l'irrigation.

La température de l'eau de cette source est de 21°C tandis que la température moyenne annuelle de la région est de 17,5°C. La conductivité électrique de cette eau est de 0,6 m mohs/cm avec un pH de 7.35.

5-1-7- La source AL 71 (Diek)

La source Diek est à 5 km au S-W de Jerash au bord de l'oued Tawahin. Elle émerge d'un banc de calcaires-dolomitiques qui appartiennent à la formation Naur A 1/2 du groupe Ajlune. Les calcaires-dolomitiques au niveau de l'émergence de cette source sont très fissurés et on observe des cavités. La cote d'émergence est de 600 m.

Le débit de cette source varie de 23.15 à 221. m3/h avec un débit moyen de 100. m3/h pendant la période 1965-1975 . Cette source est affectée directement par les précipitations. La qualité de l'eau est bonne et la source alimente en eau potable le camp de réfugiés et elle est utilisée pour l'irrigation des terrains de culture dans la région. La température de l'eau de cette source est de 20°C, la conductivité électrique est de 0,55 m mhos et le pH de 7.4.

Ces deux dernières sources qui se trouvent dans la vallée de l'oued Tawahin sont de même origine, car leurs compositions chimiques sont assez comparables.

5-1-8- La source Abou Ghadir : AL 72

Cette source est située près du village de Nahla à 10 km à l'Ouest de Jerash.

Elle émerge des calcaires-dolomitiques appartenant à la formation Naur A 1/2 qui est constituée de marnes et calcaires marneux avec des couches de calcaires-dolomitiques. Les calcaires dolomitiques au niveau de la source sont très fissurés et présentent des cavités considérables. Cette source est située au Sud-Est du village de Sakib où il y a une usine de production d'huile d'olive. Pendant la période des pluies la couleur de l'eau change à cause de la pollution par les déchets de l'usine. Ceci indique que cette source est en liaison directe avec la pluie sur la région. Cette source a plusieurs points d'émergence.

Le débit de cette source varie de 19. m3/h à 316. m3/h avec un débit moyen de 91.5 m3/h pendant la période 1965-1975.

La cote de l'émergence est de 740 m. La qualité n'est bonne que pendant la période de sècheresse , étant affectée directement par les précipitations. Elle alimente en eau potable et en eau d'irrigation les villages de Nahla et de Rimune.

La température de l'eau de cette source est de 20°C, et la conductivité électrique de 0,614 m mhos/cm avec un pH de 7.75.

5-1-9- La source AL 197 (Eilamoun)

Cette source est située à 2 km au nord du village de Barma et à 16 km au Sud-Ouest de Jerash. Le point d'émergence de cette source se situe sur le contact de la formation Naur A 1/2 et de la formation de Kurnube. La côte d'émergence est de 490 m. Cette source alimente en eau potable et en eau d'irrigation le village d'Eilamoun.

Le débit de cette source varie de 19.40 à 56.2 m3/h avec un débit moyen de 56.2 m3/h. La qualité de l'eau de cette source est bonne mais elle est près des sources de pollution humaine. Sa température est de 18°C. La conductivité électrique de l'eau de cette source est de 0,609 m mhos/cm et le pH est de 7.84.

5-1-10- La source AL 89 (Jamla)

Cette source est située à 5 km au Sud du village d' Elkitta à l'Ouest de Jerash. Son émergence se situe sur le contact de la formation Naur A 1/2 et de la formation de Kurnube. La cote d'émergence est 560 m. Cette source alimente en eau potable et eau d'irrigation le village d'Ain Jamala.

Le débit de cette source varie de 3.78 à 0.65 m3/h avec un débit moyen de 1.87 m3/h. La température moyenne de cette source est de 21°C, la conductivité est de 0,620 m mhos et le pH de 7.8.

5-1-11- La source AL 96 (Hamta)

Cette source est située au milieu de la distance entre les villages de Jazzareh et de Hamta et alimente ces villages en eau potable. La cote d'émergence de cette source est de 500 m. Elle émerge des grès appartenant à la formation Subeihi K2 du groupe Kurnube. La variabilité du débit se situait entre 4.25 et 8.64 m3/h, avec un débit moyen de 7m3/h pendant la période 1969-1975 . La qualité de l'eau est bonne. La température de l'eau de cette source est de 20°C, et la conductivité électrique est de 0,7 m mhos/cm avec un pH de 7.05.

5-1-12- La source AL 66 (Ammama)

Cette source est à 7 km au Sud-Ouest de Jerash. Elle émerge des grès appartenant à la formation Subeihi K2 du groupe Kurnube. La variabilité du début se situait entre 2.7 et 9.54 m3/h. Elle alimente en eau potable le village d'Ammama. Cette source possède deux points d'émergence où l'eau s'écoule de façon permanente. La qualité de l'eau de cette source est bonne. La température est de 21°C. La conductivité électrique est de 1.126 m mhos/cm avec un pH de 6.8.

5-1-13- La source AL 67 (Ain Jabarate)

Cette source est située près de l'oued Jerash à 4 km au Sud de Jerash, elle émerge des grès qui appartiennent à la formation Arda K2 du groupe Kurnube.

La cote d'émergence de cette source est de 480 m. La variabilité du débit est entre 2.34 et 3.38 m3/h avec un débit moyen

de 2.71 m3/h pour la période 1973-1975.

La température de l'eau de cette source est de 20.°C. La conductivité électrique est de 1.382 m mhos/cm avec un pH de 7.0

Dans la région de Jerash, il ya encore environ 15 sources qui sont alimentées par les calcaires dolomitiques de la formation Naur du groupe Ajlune. Les débits moyens de ces sources varient entre 0,3 et 12 m3/h pour la période 1965-1975. Leurs cotes d'émergence varient de 440 à 700 m. Leur utilisation n'est pas considérable par rapport aux autres sources. Les températures de ces sources oscillent entre 17 et 22°C et la conductivité électrique oscille entre 0,420 et 0,8718 m mhos/cm . Le pH varie de 7.25 et 7.7.

Il y a 5 sources qui sont alimentées par les grès du groupe Kurnube et du groupe Zerqa. Les cotes d'émergence de ces sources varient de 275 à 325 m. Leur débit moyen varie de 6.67 et 12.30 m3/h. Les températures des eaux des sources du groupe Kurnube varient de 17 à 22°C tandis que celles des sources du groupe Zerqa varient de façon considérable. La conductivité électrique des sources du groupe Kurnube varie de 0,779 à 1.339 m mhos/cm et le pH varie de 7.40 et 7.7.

La plus importante source du groupe Zarqa est celle d'El Hammam.

Elle est située dans l'oued Zarqa à 10 km au Sud de Jerash près du pont neuf de Jerash. Elle émerge de calcaires-dolomitiques gréseux, appartenant à la formation Z1 du groupe Zarqa. La source est captée et l'eau remonte de façon artésienne de la profondeur et est toujours acoompagnée par des bulles d'air. Elle possède plusieurs points d'émergence. Le débit varie entre 3,02 et 23,47 m3/h avec un débit moyen de 12,30 m3/h.

La cote de l'émergence de cette source est de 275 m. La qualité de l'eau n'est pas bonne car elle est sulfatée et chlorurée, mais les habitants de la région croient que cette eau est bonne pour soigner les maladies. L'eau de cette source est très saline. Elle a une salinité de 2016 ppm. La température de l'eau est de 30°C, et la conductivité électrique de l'eau est de 3,15 m mhos/cm avec un pH de 6.8

5-2- LES SOURCES DANS LA REGION DE BAQA

Les sources de ce secteur sont montrées par la figure 4-1 et leur majorité est formée de sources de contact entre la formation Naur A 1/2 et la formation Subeihi K1. Les débits de ces sources ne sont pas considérables par rapport aux débits des sources de la région de Jerash. La seule source de débit considérable dans cette région est la source Um-Ed-Dananir. Ces sources sont les suivantes :

1 - La source Ain El Basha
2 - La source Abou Nsair
3 - La source Ain Raja
4 - La source Ain Mubis
5 - La source Aon Abu Hamid
6 - La source Um Olleiga
7 - La source Um Ed Dananir
8 - La source Ain El Harbaj

5-2-1- La source Ain El Basha

Cette source est située dans le village Ain El Basha à 16 km au Nord-Ouest d'Amman. Elle émerge de grès fissurés appartenant à la formation Subeihi K2 du groupe Kurnube qui est un bon aquifère. Elle est constituée de grès et sables avec des lentilles de marnes. Les sources qui émergent de cette formation sont dues à l'existence de lentilles de marnes au-dessous des grès.

Le débit de cette source varie de 0,85 à 0,90 m3/h avec un débit moyen de 0,87 m3/h pour la période 1973-1974.

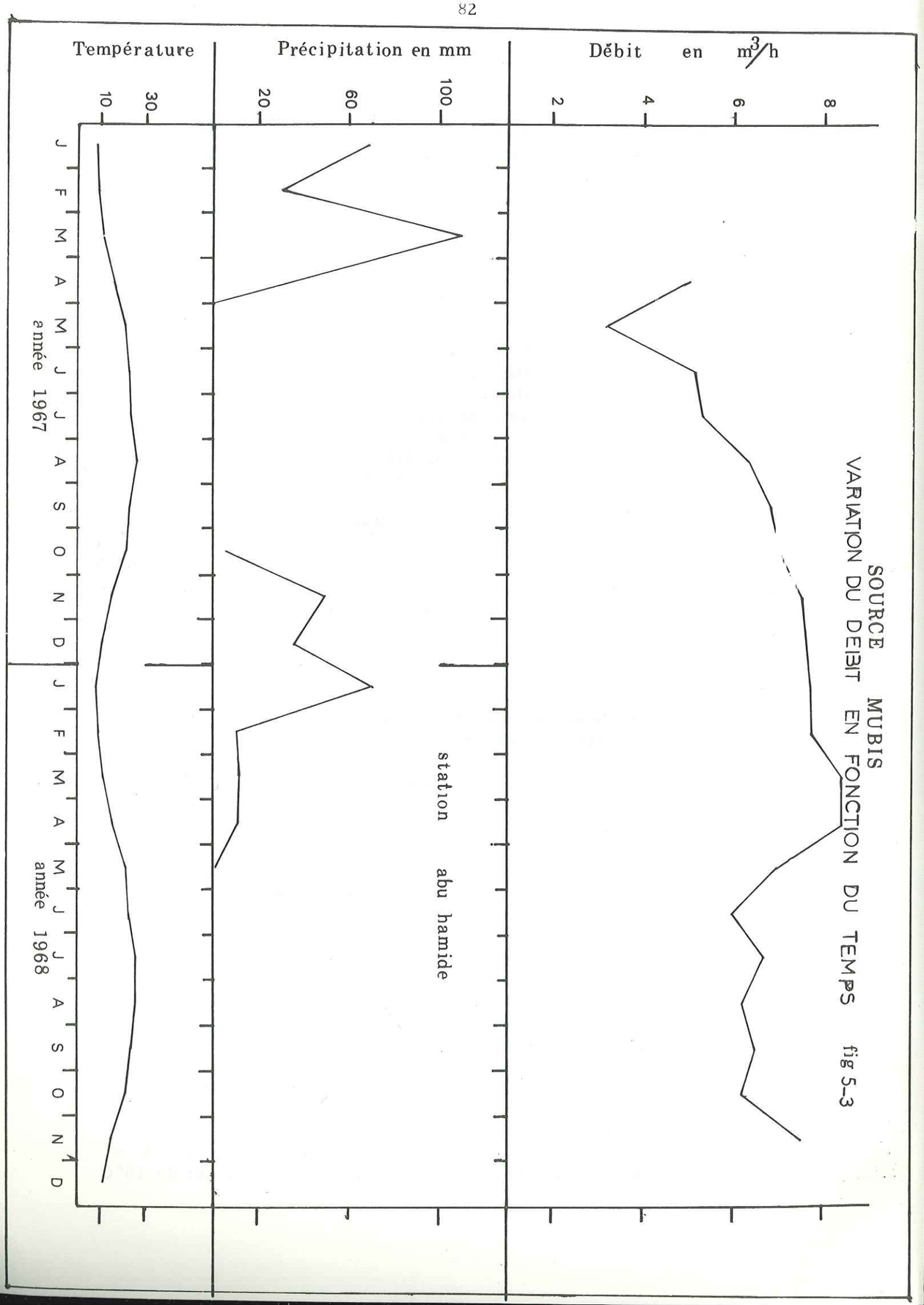
La cote d'émergence de cette source est de 650 m. Elle alimente en eau potable le village d'Ain El Basha. Mais il y a une grande probabilité pour quelle soit polluée car elle est près des sources de pollution.

La température de l'eau de cette source est de 17,5°C et la conductivité électrique de 0,525 m mhos/cm avec un pH de 7.15.

5-2-2- La source Abou Nsair

Cette source est située dans le village d'Abu Nsair. C'est une source au contact entre les calcaires de la formation Naur A 1/2 et les marnes de la formation Subeihi K2. Elle émerge des calcaires très fissurés en cet endroit. Elle alimente en eau potable le village d'Abu Nsair et l'excès d'eau est utilisé pour l'irrigation.

La cote d'émergence de cette source est de 775 m et la qualité de l'eau est bonne. La température de l'eau est de 18°C



SOURCE MUBIS
VARIATION DU DEBIT EN FONCTION DU TEMPS fig 5-3

et la conductivité électrique est de 0,8 m mhos/cm avec un pH de 7.15. La variabilité du débit de cette source se situait entre 2.39 et 3.24 m3/h avec un débit moyen de 2.81 m3/h.

5-2-3- La source Ain Raja

Cette source est située à côté du village de Raja à 2 km au N-E du village d'Abu Nsair. Elle émerge d'un banc de calcaires-marneux très fissuré de la formation Naur A1/2

La cote d'émergence est de 750 m. Le débit varie de 0.38 à 0.39 m3/h. La température est de 21°C et la conductivité électrique est de 0,9 m mhos/cm avec un pH de 7.55.

5-2-4- La source Ain Mubis

Cette source est située au milieu de la distance entre les villages de Moubis et d'Abu Hamide. C'est une source au contact des calcaires de la formation Naur A 1/2 et des marnes de la formation Subeihi K2. Elle émerge des calcaires très fissurés en cet endroit. Elle alimente en eau potable et d'irrigation le village de Moubis.

Elle émerge à la cote 680 m. Le débit de cette source varie entre 8.17 et 9.43 m3/h avec un débit moyen de 2.76 m3/h.

La qualité de l'eau de cette source est bonne, la température de l'eau est de 20°C et la conductivité électrique de l'eau est de 0,77 m mhos/cmavec un pH de 7.5.

La courbe de variation du débit en fonction du temps pour cette source est représentée sur la figure 5-3 sur laquelle on a porté également les variations de la pluviométrie moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle de la région de Baqa.

5-2-5- La source Um Olleiga

Cette source est située dans le village Um Olliegah au S-E du village d'Ain El Basha. Elle émerge de grès fissurés appartenant à la formation Subeihi K2 du groupe Kurnube. La cote de l'émergence est de 810 m.

Le débit de cette source varie de 1.08 à 13.90 m3/h avec un débit moyen de 4.88 m3/h pour la période 1965-1975. Elle alimente en eau potable et d'irrigation de quelques donames le village d'Um Olleigah. La qualité de l'eau de cette source est bonne. La température de l'eau est de 17°C et la conductivité électrique est de 0,65 m mhos/cm avec un pH de 7.8.

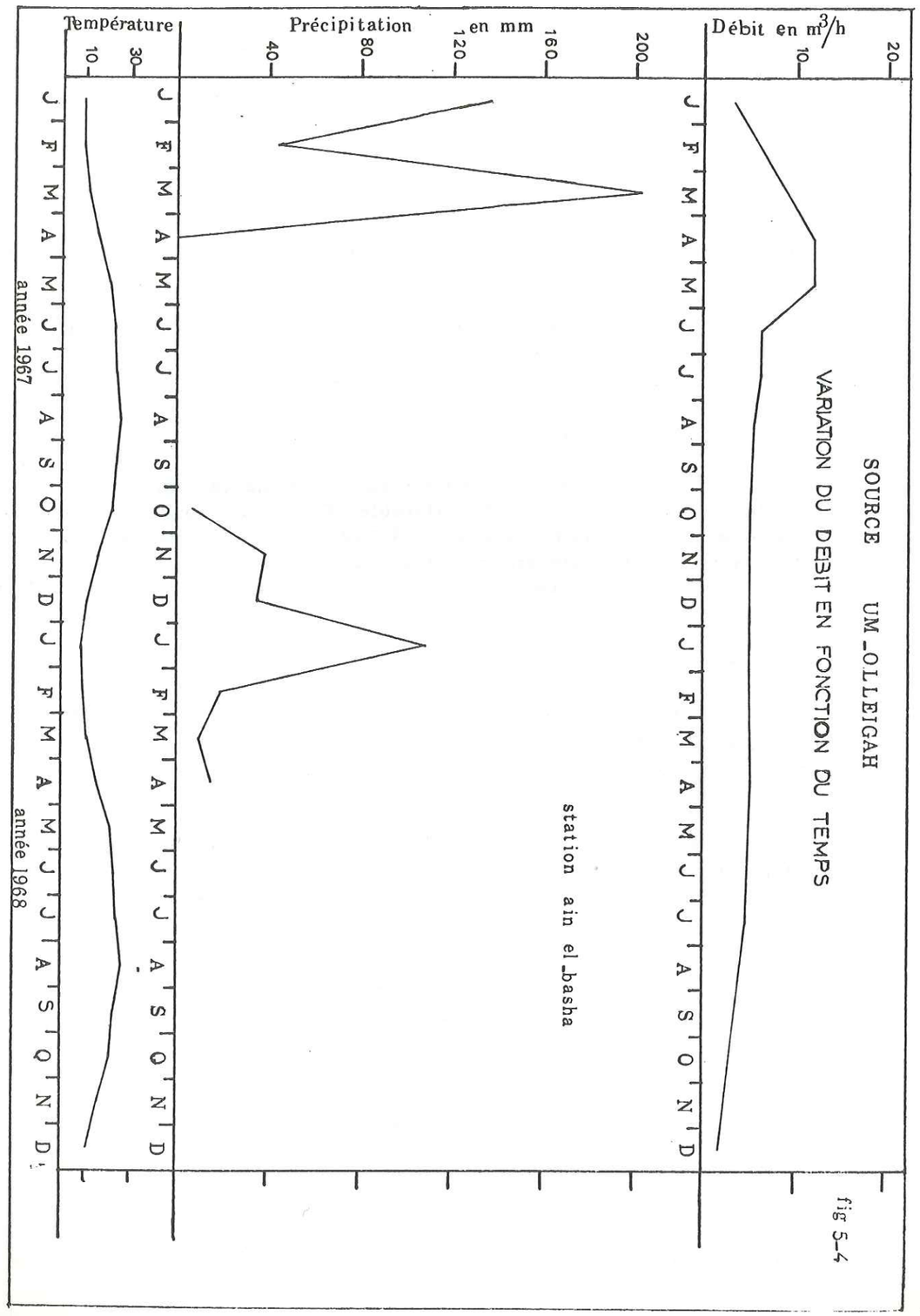


fig 5-4

La figure 5-4 représente la courbe de variation du débit en fonction du temps pour cette source. Sur cette figure on a porté également les variations de la pluviométrie moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle de la région.

5-2-6- La source Abou Hamide

Cette source est située à 1 km au Sud de la source Moubis. La cote de l'émergence de cette source est de 740 m. Elle émerge de calcaires-marneux fissurés appartenant à la formation Naur A 1/2 du groupe Ajlune. La qualité de l'eau de cette source est bonne. Elle alimente en eau potable et irrigue quelques doname du village d'Abu Hamide.

La température de l'eau de cette source est de 20° C et la conductivité électrique de 0,975 m mhos/cm avec un pH de 7.5. La salinité de l'eau est de l'ordre de 624 ppm.

Le débit de cette source varie de 0,72 à 5.54 m3/h avec un débit moyen de 2.51 m3/h pour la période 1965-1975. La courbe de variation du débit en fonction du temps est représentée sur la figure 5-5 sur laquelle on a porté également les variations de la pluviométrie moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle de la région.

5-2-7- La source Um Ed-dananir

Cette source est située sur le flanc ouest de l'anticlinal Salt-Suweilih, juste à l'exutoire de la région de Baqa au début de l'oued Um ed-dananir. Elle est à 2 km à l'Ouest du camp de réfugiés et alimente en eau potable le village d'Um-ed-dananir. L'excès d'eau s'écoule dans l'oued Um-ed-dananir où il est utilisé par les paysans pour l'irrigation des terrains de culture.

La source émerge des calcaires-dolomitiques de la formation Naur A 1/2 du groupe Ajlune. Cette formation est constituée de calcaires et calcaires marneux avec des couches calcaréo-dolomitiques à cet endroit. Les calcaires dolomitiques sont très fissurés au point d'émergence de cette source et ils sont en contact direct avec les grès fissurés appartenant à la formation Arda du groupe Kurnube.

La cote de l'émergence de cette source est de 550 m et son débit est le seul débit considérable des sources de la région de Baqa. Il varie entre 10.30 et 78.48 m3/h avec une moyenne de 34.32 m3/h pendant la période 1965-1975. La qualité de l'eau est bonne; il a une salinité de l'ordre de 269 ppm. La température de l'eau est de 18°C et la conductivité électrique est de 0,421 m mhos/cm avec un pH de 7.65. La courbe de variation du débit de cette source est représentée sur la figure 5-6, sur laquelle on a porté également les variations de la pluviométrie moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle de la région de Baqa.

SOURCE UM. ED-DANANIR

fig 5-6

Débit en m^3/h

VARIATION DU DEBIT EN FONCTION DU TEMPS

Précipitation en mm

station um_ed_dananir

Température

année 1967 année 1968

SOURCE ABOU HAMIDE

fig 5-5

Débit en m^3/h

VARIATION DU DEBIT EN FONCTION DU TEMPS

Précipitation en mm

station abou hamide

Température

année 1967 année 1968

5-3- LES SOURCES DANS LA REGION DE SALT

Les sources de cette région sont nombreuses et sont distribuées autour de la ville, il y a quelques sources de débit considérable . La majorité de ces sources, sont alimentées par les calcaires dolomitiques et les calcaires de la formation Hummer A4. Il y a quelques sources qui sont alimentées par les grès de la formation Subeihi K2 et de la formation Arda K1 du groupe Kurnube. Mais ces sources n'ont pas des débits considérables. Il y a quelques sources qui elles sont alimentées par les calcaires de la formation Naur A 1/2 du groupe Ajlune mais elle n'ont pas des débits importants. On va parler de quelques sources importantes dans cette région.

5-3-1- Les sources alimentées par les calcaires

5-3-1-1- La source Ain Es-Sayegh

Cette source est située dans l'oued Es-siyyagh à 2 km au Sud-Ouest du village Rumeimin. C'est une source au contact des calcaires-dolomitiques bien fissurés de la formation Hummer du groupe Ajlune avec les marnes de la formation Fuhies A3 du même groupe. La cote de l'émergence de cette source est de 560 m.

Le débit varie de 52 à 254 m3/h avec un débit moyen de 129 m3/h pendant la période 1965-1975. La qualité de l'eau est bonne et elle alimente en eau potable avec d'autres sources et en eau di'rrigation les terrains de culture du village et l'agglomération de Rumeimine.

La salinité de l'eau de cette source est de l'ordre de 377 ppm, la température de l'eau est de 19°C et la conductivité électrique est de 0,58 m mhos/cm avec un pH de 7.7

5-3-1-2- La source Ar-Rahib

Cette source est aussi située dans l'oued es-siyyagh à 1,5 km au Sud du village de Rumeimine.C'est une source au contact, des calcaires dolomitiques très fissurés de la formation Hummer avec les marnes de la formation Fuhies A 3 du groupe Ajlune. Cette source possède plusieurs points d'émergence, qui sont des trop-pleins temporaires sous l'influence directe des précipitations sur la région. Ces deux sources sont situées géologiquement à l'Ouest de l'anticlinal de Salt Suweilih.

La cote d'émergence de cette source est de 520 m. La variation de débit se situe entre 71 et 648 m3/h . Elle alimente en eau potable et eau d'irrigation avec d'autres sources le village et l'agglomération de Rumimine.

La qualité de l'eau est bonne, sa salinité est de l'ordre de 397 ppm, la conductivité électrique de l'eau est de 0,620 m mhos avec un pH de 8,8 .

La température de l'eau est 18°C, tandis que la température moyenne annuelle de l'air dans la région est de l'ordre de 17,5°C.

5-3-1-3- La source Ras-El-Mai

Cette source est située dans l'oued Er-Rummane à 2 km du village de Rummane. Elle émerge d'un banc de calcaires dolomitiques. A cet endroit, la formation Naur est constituée de marnes et de calcaires marneux avec des bancs de calcaires-dolomitiques qui alimentent les sources dans la région. La source Ras El Mai possède plusieurs points d'émergence, mais il y a des points d'émergence qui sont des trop-pleins temporaires, sous l'influence directe des précipitations sur la région.

La cote d'émergence est de 475 m. La qualité de l'eau est bonne. La source alimente en eau potable et eau d'irrigation l'agglomération et le village de Rummane. Le débit de cette source varie de 24 à 271 m3/h avec un débit moyen de 66m3/h.

5-3-1-4- La source Salihi

Cette source est située dans l'oued Es-Salihi à 1,5 km au Sud-Est du village Es-Salihi. Elle émerge d'un banc de calcaires dolomitiques très fissurés appartenant à la formation Naur A 1/2 du groupe Ajlune. Elle alimente en eau potable le village de Salihi.

La cote de l'émergence de cette source est de 525 m. Les variations du débit se situent entre 21 et 205 m3/h avec un débit moyen de 53.5 m3/h. La température est de 22°C, la conductivité électrique de l'eau de cette source est de 0,729 m mhos/cm avec un pH 7,65. Près de cette source, on trouve dans les mêmes conditions la source Safsafa. Le débit varie de 3 à 39 m3/h avec un débit moyen de 15.5 m3/h, la température de l'eau est de 19°C, la conductivité électrique est de 1,5 m mhos/cm avec un pH de 7.90.

5-3-1-5- La source Allan

Cette source est située dans le village d'Allan à 15 km de la ville de Salt. Elle émerge de calcaires marneux fissurés appartenant à la formation Naur A 1/2. Il n'y a qu'un point où l'eau s'écoule de façon permanente. La source alimente en eau potable l'agglomération et le village d'Allan. Elle émerge à la cote 600 m. Le débit varie de 0,5 m3/h à 30 m3/h avec un débit moyen de 10m3/h. La quantité de l'eau est bonne, elle est de 18°C et la salinité est de 518 ppm avec une conductivité électrique de 0,809 m mhos/cm un pH de 7.6.

5-3-1-6 Les autres sources alimentées par les calcaires. Ces sources ne sont pas considérables du point de vue débit et utilisation sauf la source Eshlash qui elle a un débit moyen de 17 m3/h et alimente en eau potable l'agglomération et le village de Mursi. Les débits moyens des autres sources oscillent de 0,5 à 14 m3/h.

5-3-2- Les sources alimentées par les grès

Ces sources sont nombreuses et bien distribuées dans la région mais elles n'ont pas des débits considérables. Elles sont alimentées par les grès en général ou bien rarement par les calcaires dolomitiques gréseux s' il y a un mur imperméable au dessous. La qualité des eaux de ces sources alimentées par les grès du groupe Kurnube est bonne tandis que la qualité des eaux des sources alimentées par les grès du groupe Zarqa est moins bonne car elles sont sulfatées et salines. Nous allons décrire quelques sources de ce type :

5-3-2-1- La source Ain Daffali

Cette source est située dans l'oued Dafali à 4 km au Sud-Est du village Es- Subeihi. Elle émerge de grès au contact des marnes qui constituent le mur imperméable appartenant à la formation Subeihi du groupe Kurnube. Il y a plusieurs points d'émergence pour cette source sur une distance d'à peu près 500m. A la fin de cette distance l'eau qui s'écoule est captée dans un bassin.

La cote d'émergence est de 480 m. La qualité de l'eau est bonne. La salinité de l'eau est de 425 ppm et la température est de 22°C. La conductivité électrique de l'eau est de 0,679 m mhos/cm avec un pH de 7.4.

Le débit de cette source varie de 0,38 à 2.60 m3/h avec un débir de 1.5 m3/h. Pour la période 1974-1975. Elle alimente en eau potable le village de Bayouda

5-3-2-2- La source Esh-Shati

Cette source est située à 2 km au Nord-Ouest du village de Sumiya. Elle émerge des grès au contact des marnes qui constituent le mur imperméable au dessous des grès, appartenant à la formation Arda du groupe Zarqa.

La cote de l'émergence de cette source est de 350 m. Le débit varie de 2 à 2.5 m3/h avec un débit moyen de 2.3 m3/h. La qualité de l'eau de cette source est bonne. Sa salinité est de 390 ppm et la conductivité électrique de l'eau de cette source est de 0,609 m mhos/cm avec un pH de 7.5 et une température de 22°C.

5-3-2-3- La source Al-Azab

Cette source est située au bord de l'oued Al Azab à 3 km au Nord-Est du village d'Es-Subeihi. Elle émerge des grès au contact des argiles qui constituent le mur imperméable au dessous de grès, appartenant à la formation Al Azab Z1.

La cote de l'émergence de cette source est de 310 m. La variabilité du débir se situe entre 0,2 à 1,6 m3/h avec un débit moyen de 0,9 m3/h. La qualité de l'eau est moins bonne que

celle des eaux des autres sources car elle est saline. Sa salinité est de l'ordre de 1088 ppM . La température de l'eau est de 20°C. La conductivité électrique est de 1.7 m mhos/cm avec un pH de 7.85.

5-4- CONCLUSION SUR LES SOURCES

Les crues de débit des sources dans la région étudiée se situent au printemps tandis que la décrue se fait à l'automne. Il y a aussi un étiage en hiver pour quelques grandes sources telle que, les sources Ediek, El Tanour et El Qerawane.

En général, on remarque qu'il y a une forte relation entre les précipitations et les débits de ces sources avec un décalage d'un à deux mois entre les précipitations et l'augmentation des débits. Pour la source Eshawahide, 15 jours après les précipitations, il y aura écoulement d'un débit de 30 m^3/h environ alors qu'il n'y avait pas d'écoulement avant les précipitations.

Pour quelques sources telles que celles El Birkatien et El Tanour les débits sont influencés par les pompages des puits qui se trouvent à l'amont des sources et on constate une augmentation de débit avant les précipitations du fait de l'arrêt de pompage des puits.

L'eau de toutes les sources est bonne du point de vue potabilité et irrigation sauf la source El Hamam qui est sulfatée et chlorurée et présente des dégagements gazeux.

C H A P I T R E V I

VI - COMPORTEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES DIFFERENTES FORMATIONS GEOLOGIQUES ET ETUDE DE LA NAPPE

6-1- COMPORTEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES DIFFERENTES FORMATIONS GEOLOGIQUES

6-2- ETUDE DE LA NAPPE

6-2- ETUDE DE LA NAPPE

6 -1- COMPORTEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES DIFFERENTES FORMATIONS GEOLOGIQUES ET ETUDE DE LA NAPPE

Les eaux souterraines se trouvent dans les grès et les sables de la formation Arda et de la formation Subeihi ainsi que dans les calcaires et calcaires dolomitiques du groupe Ajlune.

Les shales, marnes et horizons argileux sont toujours aquiclude tandis que les horizons de calcaires, dolomies et grès des groupes Zarqa et Kurnube contiennent de grandes quantités d'eaux souterraines.

6-1-1- Groupe Ajlune

6-1-1-1- Formation Wadi-es-sir A 7

Cette formation est érodée presque dans toute la région étudiée sauf dans le secteur de Salt où elle affleure sur les montagnes.

Cette formation est composée de calcaires qui sont très fissurés à cause des actions tectoniques. On ne voit pas de source qui émerge de cette formation dans notre région, mais hors de notre région il y a des sources de débit très considérable qui émergent de cette formation comme la source Al Azraq dont le débit est de 299 m3/h en moyenne.

6-1-1-2- Formation Shueib A 5/6

Cette formation affleure seulement dans le secteur de Salt. Elle affleure dans les zones faillées de ce secteur.

Cette formation est composée par des alternances de calcaires marneux et de marnes. Ces sédiments sont tectonisés et très fissurés. Il y a quelques sources de débit faible dans l'oued Es-Salt tel que Aj-Jadour, Al Farkha qui émergent de cette formation.

Pendant la réalisation du puits Salt n°2, on a rencontré de l'eau polluée dans les calcaires marneux de cette formation, mais on a pas déterminé le débit car on a été obligé d'obturer cette partie du forage par du ciment pour éviter la pollution de la nappe profonde.

6-1-1-3-La formation Hummer A 4

Cette formation est composée de calcaires dolomitiques. Elle affleure seulement dans le secteur de Salt. Les sédiments de cette formation sont très perméables et fissurés. Tous les forages, dans le secteur de Salt sont réalisés pour arriver à cette formation car elle est un bon aquifère et elle a un débit considérable. Les débits des puits de cette formation varient de 30 à 76 m3/h.

Plusieurs sources émergent de cette formation dans le secteur de Salt telle que la source Bouqurieh, Hazire et la source Essayeigh, Ces sources ont des débits considérables et des eaux de bonne qualité.

6-1-1-4- Formation Fuhies A 3

Cette formation affleure dans le secteur de Salt et un peu dans le secteur de Jerash. Elle est composée de marnes et d'argiles. Les sédiments de cette formation sont très imperméables à cause de leur nature géologique.

6-1-1-5 - La formation Naur

Cette formation est la formation qui affleure le plus dans la région. Elle est composée par l'alternance de calcaires marneux, de marnes et de bancs de calcaires et de calcaires dolomitiques. Les bancs de calcaire sont au nombre de trois dans la région de Jerash et ce sont les niveaux aquifères dans la région. Cette formation est le seul aquifère du groupe Ajlune dans la région de Jerash et il y a plusieurs sources qui émergent des bancs de calcaires et calcaires-dolomitiques appartenant à cette formation. Ces sources ont des débits considérables (source Al Tannour, source El Tais, source Edik), les débits moyens de ces sources sont de 170 m3/h. Les sédiments de cette formation sont très fissurés.

Dans la région de Salt, il y a aussi plusieurs sources à fort débit qui émergent des calcaires de cette formation. La majorité des puits dans la région de Jerash est forée dans cette formation et le débit de ces puits varie de 12 à 120 m3/h. Les eaux de cette formation sont bonnes. Il y a aussi interférence entre les puits et les sources qui émergent de cette formation. En raison des conditions topographiques de répartition de cette formation, il y a beaucoup de sources importantes qui drainent cette formation vers les parties basses de la région de Jerash.

Il y a aussi quelques sources dans la région de Baqa qui émergent des calcaires de cette formation mais elles n'ont pas des débits considérables sauf la source Um-ed-Dananir.

6-1-2- Le groupe Kurnube

6-1-2-1- La formation Subeihi K2

Cette formation est érodée dans la région de Baqa et elle affleure près des escarpements autour de la plaine. On ne voit pas de sources qui émergent de cette formation avec un fort débit mais il existe quelques sources à débits très faibles. Il y a des forages qui sont réalisés dans cette formation dans les régions de Majdale et Burma, Jerash. Les débits varient de 12 à 50 m3/h.

6-1-2-2 - La formation Arda K1

Cette formation affleure dans la région de Baqa . Elle est composée de grès, sables et marnes. Dans la région de Baqa, la source Ain El Basha émerge des grès de cette formation qui est aquifère dans presque tous les forages effectués dans la région de Baqa. Elle est perméable et fortement affectée par les actions tectoniques surtout en ce qui concerne les dolomies et les calcaires sableux. La potentialité de cet aquifère est élevé. Les débits des puits de cette formation varient de 30 à 120 m3/h . Dans cette formation il y a deux horizons aquifères l'un de la profondeur de 1,4 à 5,8 m et l'autre est situé entre 20 mètres à 108 m.

6-1-3- Le groupe Zerqa

6-1-3-1- La formation Al Azab

Cette formation affleure dans une vaste région, surtout dans la région de Jerash et de Salt. Elle est composée de grès, marnes, argiles, calcaires et dolomies-sableuses.

Ces sédiments sont très fissurés et tectonisés surtout les grès, calcaires et dolomies sableuses. Quelques sources qui se trouvent le long de l'oued Al Azab et à proximité de la rivière de Zarqa émergent de cette formation, mais leurs débits sont faibles.

L'eau de cette formation est moins bonne que l'eau des autres formations, surtout l'eau des sources de l'oued Al Azab qui sont salines et sulfurées. L'eau des sources qui émergent de cette formation à proximité de la rivière de Zarqa est thermale et sulfurée comme la source Al Hammam près du pont neuf de Jerash.

Cette formation est un aquifère profond dans la région de Baqa rencontré par la majorité des forages dans cette région. Le puits n° 9 a traversé toute la formation.

6-2- ETUDE DE LA NAPPE

La nappe de la région de Baqa est une nappe captive et un système de nappes multiples se développe dans la région en raison de la limitation horizontale ou verticale des horizons imperméables et des échelons qu'ils forment. La structure en échelon résulte de la présence d'horizons imperméables qui empêchent la percolation des eaux souterraines.

Pour l'étude de cette nappe , on a mis en oeuvre toutes les méthodes possibles :

- inventaire systématique des points d'eau. Nous avons recensé tous les points d'eau de la région pour acquérir une connaissance aussi précise que possible de la nappe de la région de Baqa et plus précisément :
  - connaître sa profondeur sous le sol,
  - connaître ses conditions d'écoulement,
  - connaître la qualité des eaux,
  - connaître les débits prélevés.

Les enquêtes sur les points d'eau ont été faites en collaboration avec les équipes de la section "de recherche des eaux " de la N.R.A. de la Jordanie. Elle concernent les puits ou forages existants et les sources. Les puits sont montrés sur la figure n° 4-1

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

1 - Dans la zone d'Ain El Basha, le plan d'eau profond varie de 23 à 89 m.
2 - Dans la zone d'Ain El Basha, le plan d'eau superficiel varie lui de 1.4 m à 5.8m. Les nappes dans cette zone sont en charge.
3 - Dans la zone du camp, le plan d'eau varie de 115 à 175 m en profondeur.
4 - Dans la zone de Moubis-Abu Nsaire, la profondeur du plan d'eau varie de 57 à 150 m.
5 - Dans la zone Um Ed-dananir, la profondeur du plan d'eau varie de 48 à 60 m.

La densité des puits ou forages est très élevée autour du camp et autour du village d' Abu-Nsair tandis que la densité des puits superficiels creusés à la main est très élevée seulement dans le village d'Ain El Basha. Pour chaque puits, on a établi une fiche sur laquelle on a porté :

a) les caractéristiques des puits
   - coordonnées locales,
   - profondeur du plan d'eau,
   - profondeur totale du puits,
   - diamètre du puits,
   - diamètre du tubage (s'il existe)

b) utilisation
   - alimentation urbaine,
   - alimentation humaine,
   - alimentation pour les besoins agricoles

- Prélèvements d'échantillons. Des prélèvements d'échantillons d'eau ont été faits pour tous les points d'eau. Par la suite, ces échantillons ont été analysés dans la division du laboratoire des eaux et des sols de la N.R.A. à Amman.

- Mesure du niveau piézométrique. Pour ces mesures, on a pris en considération tous les puits de la région . En plus, il y avait un enregistreur pour montrer les variations journalières et mensuelles du niveau piézométrique mais il n'a bien fonctionné que pendant l'année 1974.

- Régime d'exploitation. Pour chaque puits on connait
  - le débit du pompage instantané en m3/h,
  - la durée de pompage
    Nombre d'heures/jour
    Nombre de jour/mois
    Nombre de mois/an
  - le débit d'exploitation

6-2-1- Ecoulement de la nappe

6-2-1-1- Généralités

A partir des résultats obtenus grâce aux forages effectués dans la région de Baqa on peut constater qu'il y a trois nappes dans la région.

6-2-1-1-1- Une nappe supérieure. Cette nappe est superficielle. Sa profondeur varie de 1.4 à 5.8 m, elle a été rencontrée dans les points d'eau autour et dans le village d'Ain El Basha, mais cette nappe est très limitée.

6-2-1-1-2- Une nappe moyenne. Cette nappe varie de 23 à 108 m de profondeur et elle est productive dans tous les forages dans lesquels elle a été rencontrée comme dans la majorité des forages de la région de Baqa. Cette nappe est en charge. Il y a donc toujours une remontée au moment où l'on atteint la nappe.

Ces deux nappes se rencontrent dans la formation Arda du groupe Kurnube.

6-2-1-1-3- Une nappe inférieure, dans la formation Al Azab. Cette nappe est profonde et sa profondeur varie de 121 à 164 m. Elle n'est connue que par les forages et son niveau est inférieur à celui de la nappe moyenne, mais il est difficile de savoir à quelle profondeur exacte elle a été rencontrée pendant le sondage.

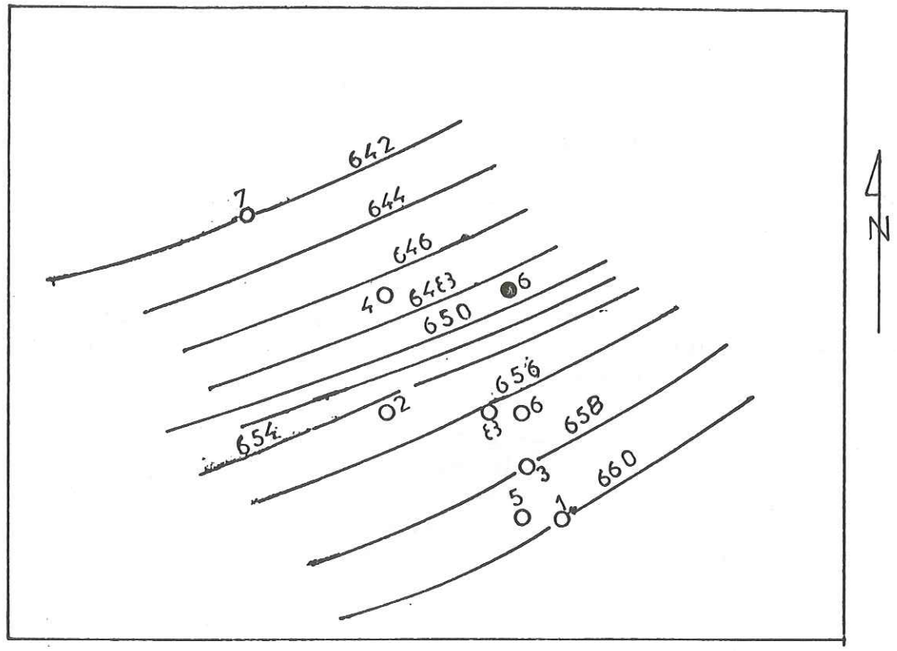
Les mesures du niveau piézométrique des nappes dans la région de Baqa nous ont permis l'établissement de trois cartes piézométriques

REGION DE BAQA FIG 6_1

LA CARTE PIEZOMETRIQUE DE

LA NAPPE SUPERIEURE

DE LA ZONE AIN EL BASHA



___ LIGNE ISOPIEZE

o PUITS CREUSES A LA MAIN

● SOURCE

ECHELLE 1:2500

Carte piézométrique de la nappe supérieure ou nappe superficielle. Cette carte a été établie à partir du niveau piézométrique de tous les puits superficiels; ce sont des puits creusés à la main dans et autour du village Ain El Basha (figure 6-1). Cette carte montre une zone très limitée dans la région de Baqa.

Carte piézométrique de la nappe moyenne. Cette carte a été établie à partir des mesures du niveau piézométrique de quelques puits dans et autour du village d'Ain El Basha. Ces mesures ont été effectuées pendant les travaux de forage car avec l'augmentation de profondeur du forage le niveau piézométrique s'abaisse. Il se forme donc une nappe composite avec la nappe profonde de la formation Al Azab du groupe Zarqa. Cette carte n'est pas très précise, car on manque de mesures du niveau piézométrique surtout pour les cas de forage ou il y avait des sondeuses de type Rotary. La figure 6-2 montre cette carte.

Carte piézométrique de la " nappe composite " formée de la nappe profonde et la nappe moyenne. Cette carte a été dressée à partir des mesures des niveaux piézométriques de tous les puits dans la région de Baqa. Ces mesures ont été effectuées au mois de Janvier et Février de l'année 1978. Cette carte correspond au niveau minimum de la nappe, puisque l'on a enregistré pas mal de précipitations annuelles sur la région. Cette carte (figure 6-3) est la plus représentative pour la région de Baqa.

Les trois cartes piézométriques fournies donnent des renseignements (surtout la carte piézométrique de la nappe composite) sur l'écoulement et l'alimentation de la nappe en vue de son exploitation rationnelle.

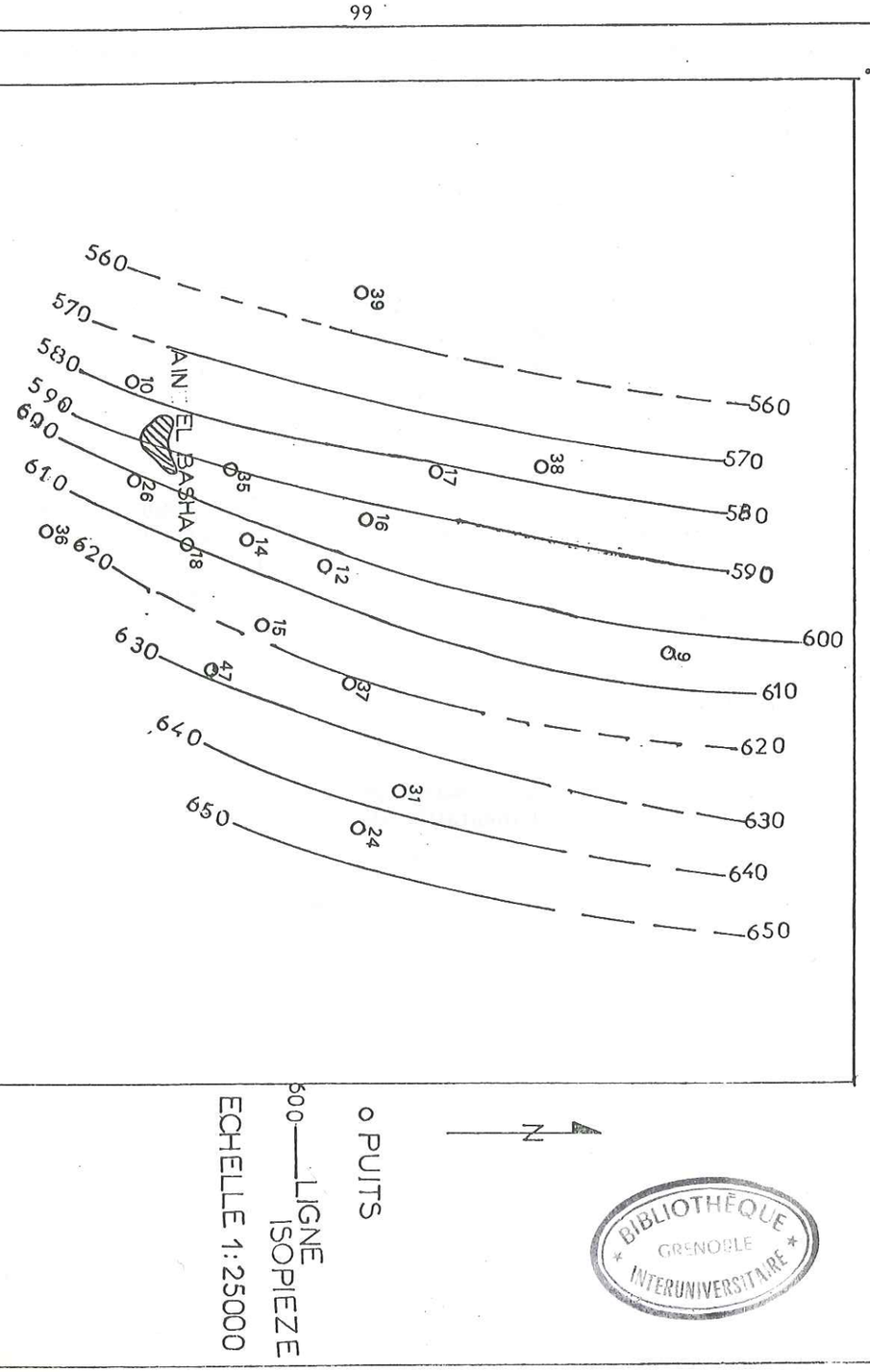
6-2-2- Températures des eaux

A plusieurs reprises, la température des eaux souterraines a été mesurée dans tous les points d'eau. Les valeurs trouvées varient entre 17.5°C et 20°C et sont donc supérieures à la température moyenne annuelle de l'air au niveau de la région Baqa, ce qui pourrait traduire une certaine influence du gradient géothermique du fait de la profondeur de la nappe.

6-2-3- Les cartes piézométriques

Le tracé des courbes isopièzes sur la carte de la nappe composite nous permet de distinguer différentes zones dans la région de Baqa. Les interprétations suivantes sont tirées de la carte piézométrique moyenne de la nappe composite.

FIG 6_2 CARTE PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE MOYENNE DANS LA REGION DE BAQA



BIBLIOTHÈQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

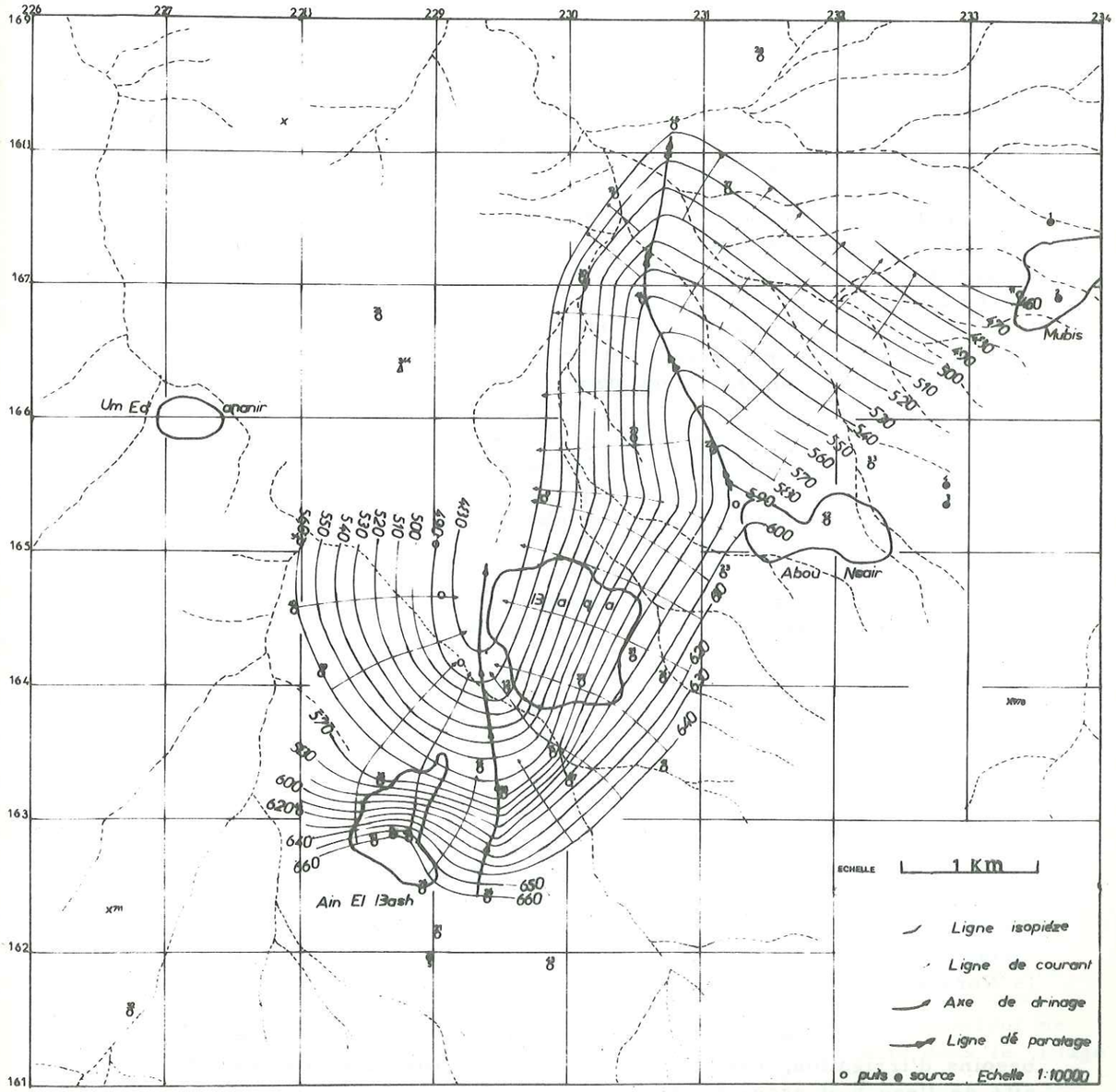


Fig. n° 6-3- CARTE PIEZOMETRIQUE ET ECOULEMENT DE LA NAPPE COMPOSITE DANS LA REGION DE BAQA

6-2-3-1- L'alimentation générale

Il apparait sur la carte piézométrique de la nappe composite, que les zones d'alimentation de la nappe sont situées dans les montagnes bordant la région au Sud et au Sud-Est, de la région il y a des affleurements de calcaires très fissurés et très tectonisés. Ces calcaires appartiennent à la formation Naur qui est en contact direct avec les grès du groupe Kurnube qui alimente les nappes dans la région de Baqa. Cette carte montre aussi une alimentation de la nappe depuis le Sud-Ouest pour la zone d'Um-Ed-Dananir où affleurent sur une grande superficie des grès du groupe Kurnube.

- La zone de Ain El Basha : elle est située au Sud de la région de Baqa. La nappe dans cette zone est caractérisée par un fort gradient hydraulique moyen de l'ordre de 0,09 selon une direction d'écoulement approximativement Sud-Nord. L'alimentation de la nappe se fait à partir des oueds au Sud de cette zone et à partir des calcaires qui affleurent sur la montagne au Sud de cette zone et sont en contact avec les grès du groupe Kurnube . L'eau de cette zone est utilisée pour les besoins en eau potable et en eau d'irrigation et cette zone est une zone de production importante dans la région.

- La zone du camp de Baqa: elle est située au Sud-Est de la région de Baqa. La nappe de cette zone se caractérise aussi par un fort gradient hydraulique selon une direction d'écoulement approximativement Est-Ouest. Le gradient moyen est de l'ordre de 0,075 . L'alimentation de la nappe de cette zone se fait à partir des calcaires fissurés en contact avec les grès du groupe Kurnube. La production de cette zone est très importante et utilisée pour les besoins en eau d'irrigation et en eau potable.

- La zone d'Abu Nsair-Mubis : cette zone forme la partie Nord et Nord-Est de la région de Baqa. La nappe de cette zone se caractérise par un gradient hydraulique de l'ordre de 0,065 selon une direction d'écoulement Est-Ouest. Les lignes piézométriques présentent une incurvation dans cette zone qui indique l'existence d'apports latéraux d'eaux souterraines vers la nappe.

L'alimentation de la nappe dans cette zone se fait à partir des eaux de l'ensemble des oueds provenant des montagnes situées à l'Est et au Sud-Est du village d'Abu Nsair. La nappe se divise en deux parties dont l'une s'écoule vers l'ouest et l'autre vers le Nord-Est.

L'eau de la nappe de cette zone est utilisée pour les besoins d'irrigation, car elle est de bonne qualité, bien que la salinité de l'eau soit assez faible.

- La zone d'Um Ed-Dananir : cette zone forme la partie Sud-Ouest de la région. La nappe de cette zone est caractérisée par un gradient hydraulique de l'ordre de 0,06, selon une direction d'écoulement Sud-Ouest/ Nord-Est. L'alimentation de la nappe de cette zone se fait à partir des eaux de l'ensemble des oueds de la partie Sud-Ouest et Ouest de la région de Baqa. L'eau de cette zone est utilisée pour l'irrigation.

6-2-4- La profondeur de la nappe

La nappe supérieure ou superficielle : cette nappe est très limitée et se trouve seulement dans la zone d'Ain El Basha. Sa profondeur varie de 1.4 à 5.8 m sous le sol.

La nappe moyenne : la profondeur de cette nappe varie de 23 à 108 m , elle est moins profonde dans la zone d'Ain El Basha et plus profonde dans les autres zones.

La nappe profonde : la profondeur de cette nappe varie de 121 à 164 m. Elle est plus profonde dans la zone d'Abu Nsair-Mobis.

6-2-5- Forme générale de l'écoulement

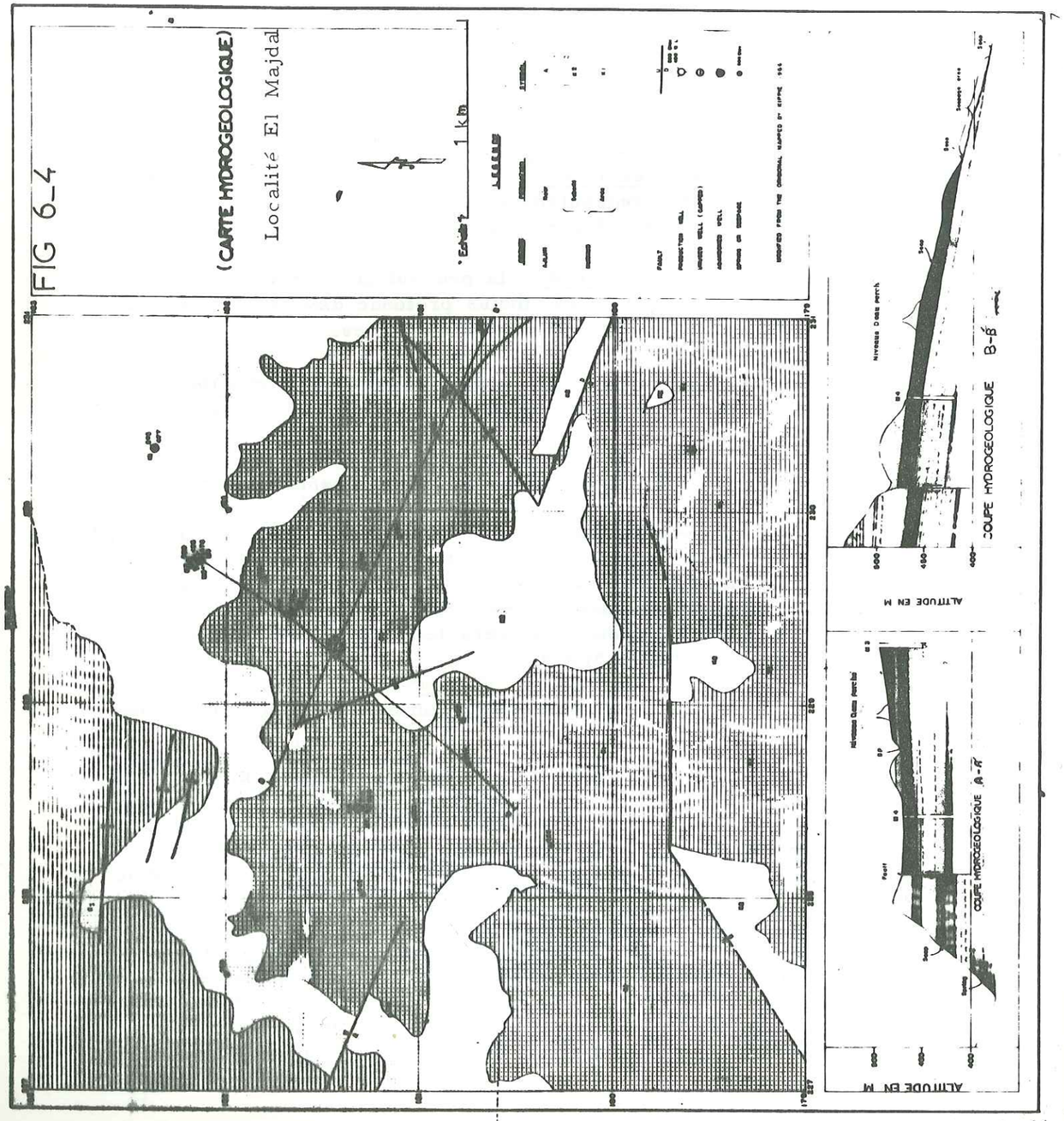
L'alimentation générale de la nappe se fait depuis le Sud et le Sud-Est, mais dans la partie centrale de la région il existe un axe de drainage de direction Sud-Nord qui provoque l'écoulement de la nappe vers l'Ouest dans la zone du camp, vers le Sud-Est dans la zone d'Um Ed-Dananir et vers le Nord-Ouest et le Nord-Est dans la zone d'Abu Nsair-Mubis.

6-2-6- Les moyens d'exploitation des eaux souterraines

6-2-6-1- Les puits profonds dans la région de Baqa

Ces puits ou forages sont récents; le premier forage pour chercher l'eau a été fait en 1965 dans le village d'Ain El Basha. Auparavant, les habitants du village utilisaient l'eau des sources. En 1978, il y avait presque 50 puits dans cette région. La majorité des ces puits a été réalisée pendant la période 1976-1978.

6-2-6-2- Les puits creusés à la main. Il existe une autre catégorie de puits dans notre région ce sont les puits creusés à la main avec un diamètre allant de 0,75 à 1 m et la profondeur de ces puits varie de 1,4 à 5,8 m. Ces puits sont fréquents dans le village d'Ain El Basha pour alimenter en eau potable le village.



6-2-7- Les nappes des régions de Jerash et de Salt

Les formations fissurées du groupe Ajlune contiennent la nappe dans ces deux régions :

6-2-7-1- La région de Jerash

Les couches de la formation Naur A 1/2 du groupe Ajlune et surtout les trois bancs de calcaires dolomitiques de cette formation, sont susceptibles de former de bons aquifères. Dans cette régions ces bancs sont très fissurés et très perméables. Dans la formation Naur on distingue trois nappes principales dans la région de Jérash, selon les trois bancs de calcaires dolomitiques.

La nappe supérieure : cette nappe appartenant au banc supérieur de la formation Naur, il n'y a pas de forage sur cette formation à cause de sa position topographique. Cette nappe est drainée par des écoulements très importants comme la source El-Moghasel qui alimente la ville de Sauf en eau potable et la source d'Ain Edik.

La nappe moyenne : cette nappe appartenant au banc moyen de calcaire de la formation Naur, au Nord de la vallée, il y a trois forages sur cette nappe plus les sources de débits considérables qui drainent la nappe, comme la source El Birkteen, la source El Showahid et la source El Quirwane. L'eau de cette nappe alimente en eau potable l'agglomération et la ville de Jerash. Cette nappe se trouve en charge et sa profondeur varie de 5 à 27 m sous le sol.

La nappe inférieure : cette nappe appartenant au banc inférieur de calcaire de la formation Naur au Sud-Est de la ville de Jerash, plusieurs forages ont été effectués sur cette nappe pour alimenter en eau d'irrigation cette région. Ces forages ont des débits considérables. Cette nappe est aussi drainée par des sources de grands débits comme la source Ain El Tannoure (débit 170 m3/h). L'écoulement général pour ces trois nappes se fait vers le Sud-Est et le Sud.

A l'Ouest de la ville de Jerash dans le secteur El Majdale-Burma quelques forages ont été effectués. En effet deux horizons aquifères dans la formation Subiehi K2 du groupe Kurnube alimentent ces forages. Ces deux zones sont des nappes perchées et il y a aussi quelques sources qui drainent le groupe Kurnube vers la rivière de Zarqa. La figure n° 6-7, la carte hydrogéologique et les coupes hydrogéologiques montrent bien les deux nappes perchées.

6-2-7-2- La région de Salt

L'ensemble de la formation Hummer A 4 du groupe Ajlune est susceptible de former un banc aquifère dans cette région comme on l'a expliqué, cette formation est composée de calcaires-dolomitiques fissurés et perméables. Elle est l'aquifère essentiel dans la

région, et dans cette formation on rencontre une nappe importante, qui est la seule ressource en eau dans la région de Salt.

Cette nappe est exploitée soit par des forages, soit par des sources qui reçoivent la majorité de l'eau de cette nappe comme la source d'Ain Hazir et la source de Bougourieh. Les débits de ces sources varient de 200 à 460 m3/h. Ces sources drainent la nappe vers l'oued Shueib et la nappe alimente en eau potable l'agglomération et la ville de Salt.

L'eau de cette nappe est polluée dans l'oued Es-Salt par les eaux usées qui ruissellent de la vallée vers l'oued.

4 forages ont été effectués dans la ville de Salt pour alimenter en eau potable la ville. La profondeur de la nappe dans ces forages varie de 65 à 142 m, tandis qu'il y a 2 forages à la proximité du village de Yazidyah. La nappe dans ces deux forages est très profonde. La profondeur de cette nappe varie de 200 à 250 m. Il y a aussi des sources de grand débit qui drainent la nappe vers la rivière de Zarqa comme la source d'Al Rahib et la source d'El Shaigh.

6-3- CONCLUSION

L'étude des comportements hydrogéologiques des différentes formations et des principales sources de la région montre l'importance considérable de la fissuration et de la fracturation des calcaires du groupe Ajlune mais surtout de ceux de la formation Naur et de la formation Hummer ainsi que des grès du groupe Kurnube et Zarqa.

C H A P I T R E VII

VII - CHIMIE DES EAUX

7-1- INTRODUCTION

7-2- CHIMIE DES EAUX DES DIFFERENTES FORMATIONS

7-3- CONCLUSION

VII- CHIMIE DES EAUX

7-1- INTRODUCTION

Des analyses chimiques complètes des eaux de tous les points d'eau de la région étudiée ont été faites et les échantillons prélevés ont été analysés dans la division du laboratoire des eaux et des sols de la N.R.A. à Amman. Les prélèvements ont été effectués dans les meilleures conditions possibles sur des pompages fonctionnant depuis un temps suffisant dans les puits. L'analyse reflète donc la composition chimique des eaux des aquifères traversés par le forage. Ceci peut entraîner des erreurs, car tous les puits n'ont pas la même profondeur, et ne captent pas les mêmes horizons aquifères. Mais les anomalies ponctuelles sont en général décelées au cours du tracé des cartes géochimiques. Des caractères généraux se trouvent d'une façon constante, dans les différentes cartes. Chaque composant principal a fait l'objet d'une carte ainsi que certains rapports caractéristiques.

Le but de l'étude chimique des eaux est d'aider à la compréhension de l'hydrogéologie de la région étudiée.

Présentation - Traitement et qualité des analyses

La totalité des informations disponibles a été utilisée. Les analyses chimiques ont été répertoriées et regroupées dans un recueil. Sur ce recueil figurent :

- le numéro d'inventaire du point d'eau,
- la date de prélèvement,
- la conductivité électrique exprimée en m. mhos/cm,
  La mesure de la conductivité donne une valeur de la minéralisation globale des eaux mais il est fréquent que deux eaux de même conductivité présentent des compositions chimiques très différentes. L'intérêt des analyses chimiques sera donc de connaître le pourcentage de chaque ion. Les éléments chimiques proviennent de l'action souterraine de l'eau sur les terrains traversés. Si le temps de contact eau-roche a été très court, la minéralisation sera faible et vice versa. Cela indique la nature même de l'aquifère traversé.
- le résidu sec ou teneur en sel dissous T.D.S. exprimé en ppm : le résidu sec représente la totalité des sels et il est ainsi une donnée sur la minéralisation totale d'une eau. Suivant leur minéralisation globale ' V.Vernadski ' subdivise toutes les eaux naturelles en quatre grandes classes :
  - eaux douces à minéralisation globale < 1 g/l
  - eaux faiblement salées et saumâtres à minéralisation globale de 1 à 20 g/l
  - eaux salées à minéralisation globale de 10 à 50 g/l
  - saumures (eaux très minéralisées) à minéralisation globale de 50 à 300 g/l

- Les cations et les anions Ca, Mg, Na, K, Cl, SO4, CO3, HCO3 et NO3.

Dans les classifications des eaux, on donne toujours leurs teneurs en g/l et on met (r) devant chaque ion quand on exprime les résultats en milliéquivalents par litre.

- la totalité des cations,
- Le pourcentage de Na Na %
- Le pH
- Le rapport d'absorption du sodium ou S. A. R.

$$S.A.R. = \frac{Na}{\frac{Ca+Mg}{2}}$$

Na, Ca, Mg exprimés en Meq/l.

- Le degré hydrotimétrique (° dHT) :
  Ce degré hydrotimétrique ou dureté totale d'eau exprimée. La quantité de sels de calcium et de magnésium dissous dans l'eau. Ce degré est exprimé en mgl de Ca CO3 ou en degré français qui correspond à 0,2 méq de Ca^{++} et Mg^{++}. Ce degré est calculé à partir de la formule :

  dHT = 0,2497 Ca + 0,4115 Mg
  Ca et Mg exprimés en mg/l.

7-2- CHIMIE DES EAUX DES DIFFERENTES FORMATIONS

7-2-1- Chimie des eaux de la formation Main Zerqa Z1 du groupe Zerqa

Les points d'eau de cette formation se trouvent dans la région de Jerash à proximité de la rivière de Zarqa. Il y a trois forages dans cette formation.

Le faciès chimique de l'eau de cette formation est celui de la figure 7-1, établie à partir du diagramme logarithmique de Schoeller-Berkaloff. Selon la formule caractéristique de ces eaux on distingue :

a) La famille des eaux sulfatées-sodiques avec la formule caractéristique suivante :
   r SO4 > r Cl > r CO3 et
   r Na > r Ca > r Mg

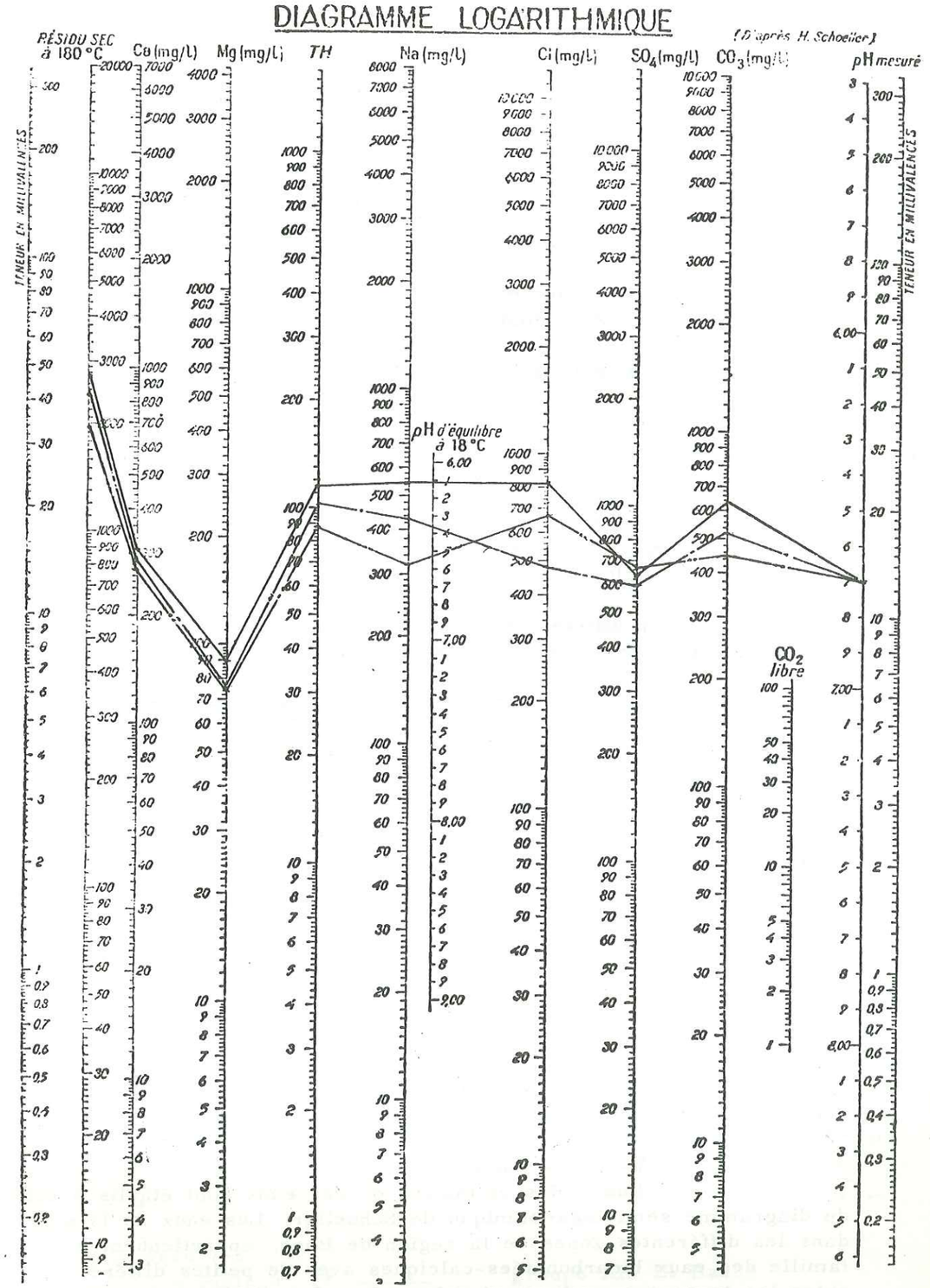


Figure 7-1
1 - Puits n° 1 ——
2 - Puits n° 2 —— · ——
3 - Puits n° 3 —— · · —— Groupe Kefaire

b) La famille des eaux chlorurées sodiques avec la formule caractéristique suivante :
r Cl > rSO4 > HCO3 et
r Na > rCa > r Mg

Les valeurs de la conductivité de ces eaux sont comprises entre 3,05 et 4,4 m. mhos/cm et la valeur du pH pour les trois points d'eaux est de l'ordre de 6.7.

Les eaux de cette formation sont impropres à l'irrigation et à fortiori à la consommation humaine.

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques de ces eaux.

Conductivité en m mhos	3.05	à	4.4
Résidus secs en ppm	1952	à	2816
Degré hydrotimétrique en degré français	98	à	114
S. A. R.	4.5	à	7.2

Pour utiliser ces eaux en irrigation, les paysans de la région mélangent ces eaux avec les eaux de la rivière Zarqa.

7-2-2- Chimie des eaux de la nappe composite du groupe Kurnube et du groupe Zerqa

Ces eaux n'existent que dans la région de Baqa qui est la plus intéressante de la région étudiée car on a en effet un nombre de points d'eau suffisants dans la région de Baqa et à partir des analyses chimiques de ces eaux on a établi les cartes suivantes :

- carte des isosalinités
- carte des isochlores
- carte du degré hydrotimétrique
- carte du rapport de $\frac{Mg}{Ca}$

En plus de ces cartes, on a établi à partir du diagramme de Schoeller-Berkaloff, les faciès chimiques de ces eaux.

7-2-2-1- Faciès chimiques

Les faciès chimiques de ces eaux sont établis à partir du diagramme semi logarithmique de Schoeller. Les eaux de la nappe dans les différentes zones de la région de Baqa, appartiennent à la famille des eaux bicarbonatées-calciques avec de petites différences entre les teneurs en cations et anions dans les différentes zones de la région.

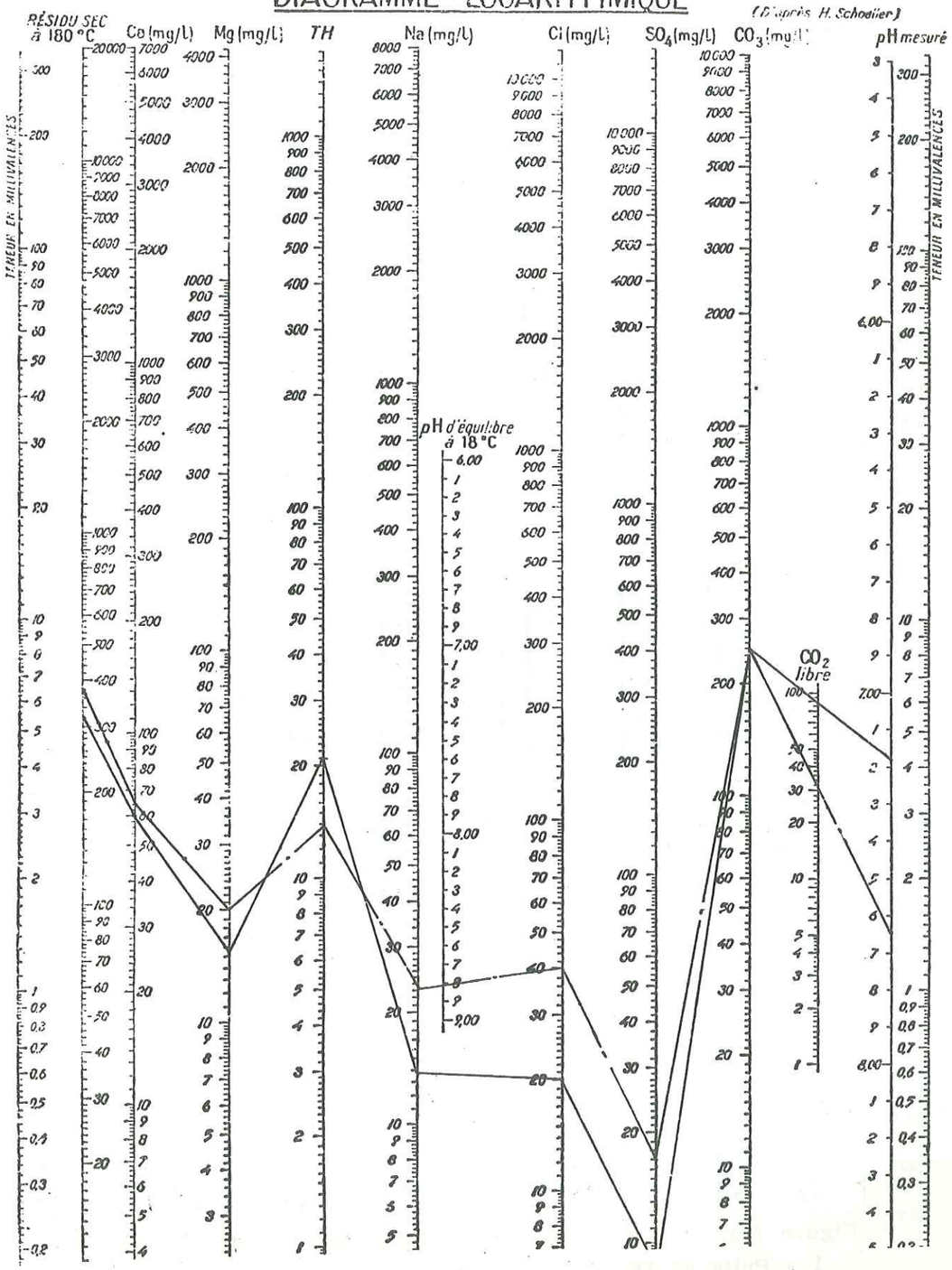


Figure 7-2
1 - Puits n° 44 ——— groupe Ain El Basha
2 - Puits n° 1 —·—

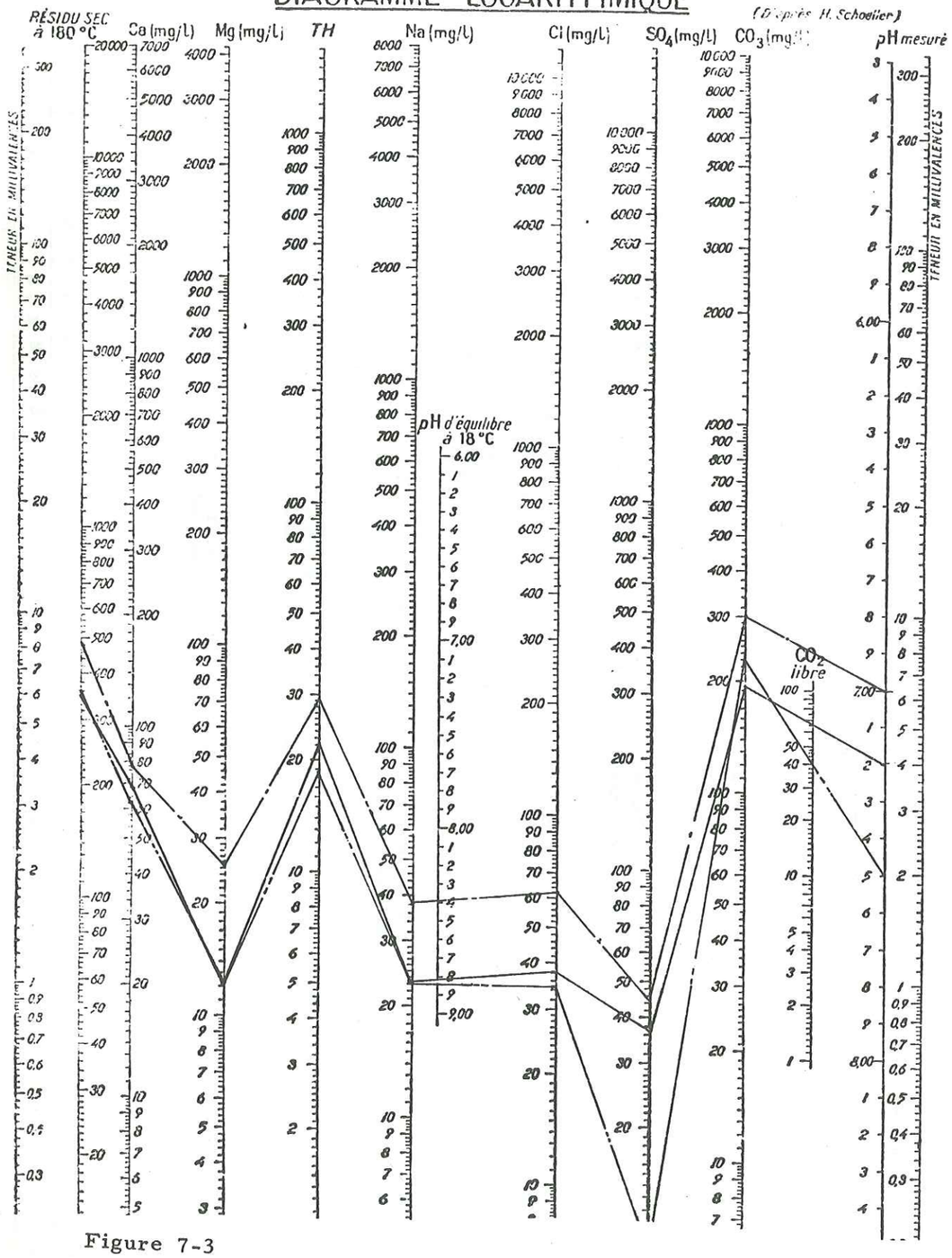


Figure 7-3

1 - Puits n° 15 _____
2 - Puits n° 16 ___ . ___
3 - Puits n° 17 ___ .. ___ groupe du camp

7-2-2-1-1- Zone Ain El Basha

Le faciès chimique des eaux de la nappe composite (figure 7-2) montre que les eaux dans cette zone appartiennent à la famille des eaux douces bicarbonatées-calciques. On distingue aussi deux groupes dans cette famille :

* groupe de formule caractéristique suivante :
  r HCO3 > r Cl > r SO4 et
  r Ca > r Hg > r Na

* groupe de formule caractéristique suivante :
  r HCO2 > r Cl > r SO4 et
  r Ca > r Na > r Mg

Les valeurs de la conductivité électrique de ces eaux sont comprises entre 0, 5 et 0, 6 m mhos/cm.

Le tableau suivant résume les caractéristiques des eaux de la zone d'Ain El Basha.

Conductivité en m mhos/cm	0, 5	à	0, 6
Résidu sec en ppm	320	à	348
Degré hydrotimétrique en degré français	21, 38	à	24, 5
S. A. R.	0, 41	à	0, 64
SO4 mg/l	4, 8	à	17, 28

Les eaux de la nappe composite dans la zone Ain El Basha sont donc des eaux bicarbonatées calciques et sont très propres à la consommation humaine et à l'irrigation.

7-2-2-1-2- La zone du camp

Les eaux de cette zone sont aussi des eaux bicarbonatées calciques dont la formule caractéristique est :

r HCO3 > r Cl > r SO4 et
r Ca > r Na > r Mg

On remarque dans cette zone que les teneurs en SO4 et Cl sont élevées par rapport à celles de la zone de Ain El Basha.

Les faciès chimiques de ces eaux sont montrés par la figure 7-3 établie à partir du diagramme semi-logarithmique de Schoeller. La valeur de la conductivité électrique de ces eaux varie entre 0, 55 et 0, 77 m mhos/cm

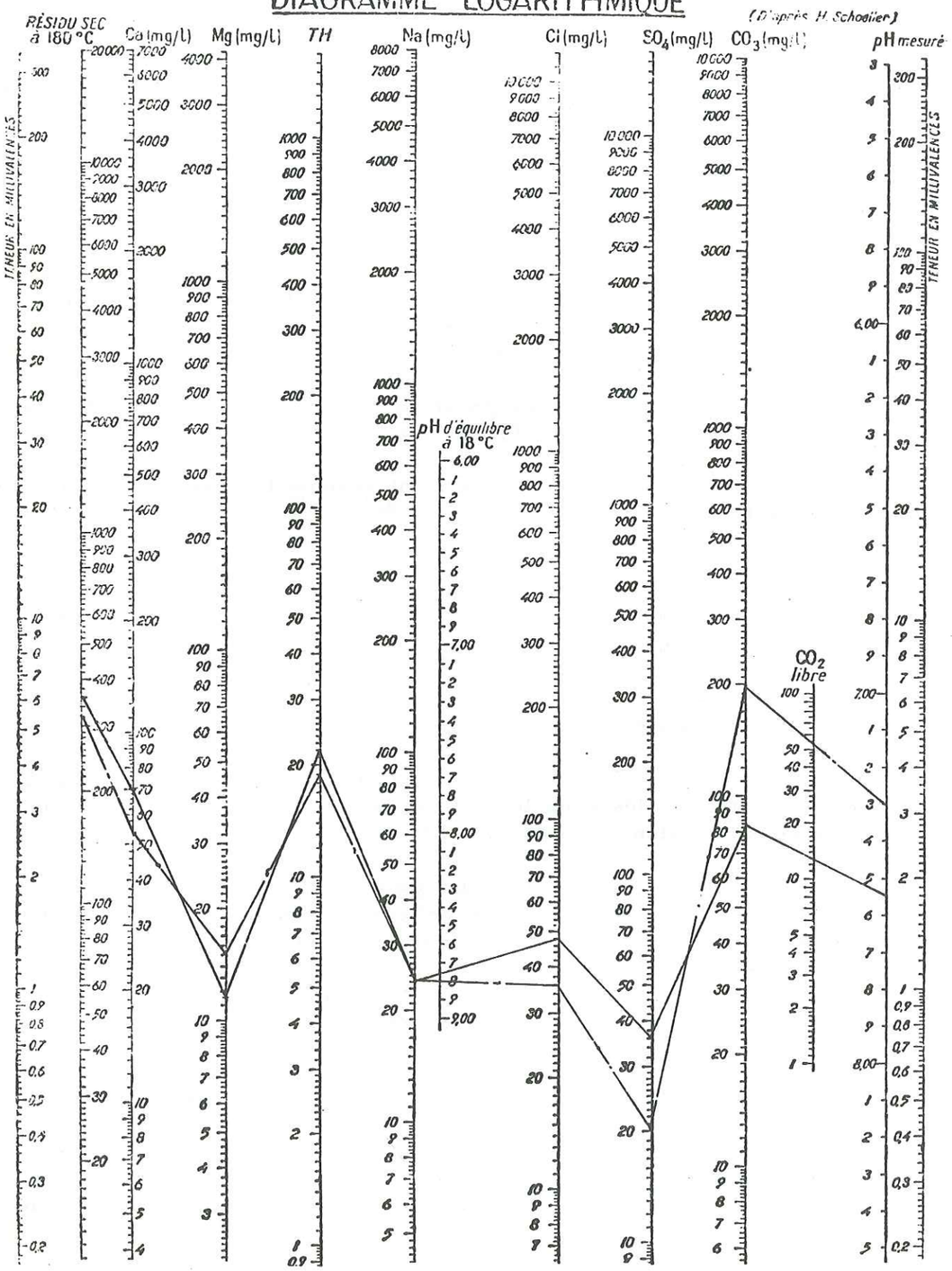


Figure 7-4

1 - Puits 34 a _____ groupe d'Um Edananir

2 - Puits 34 ____ . ____

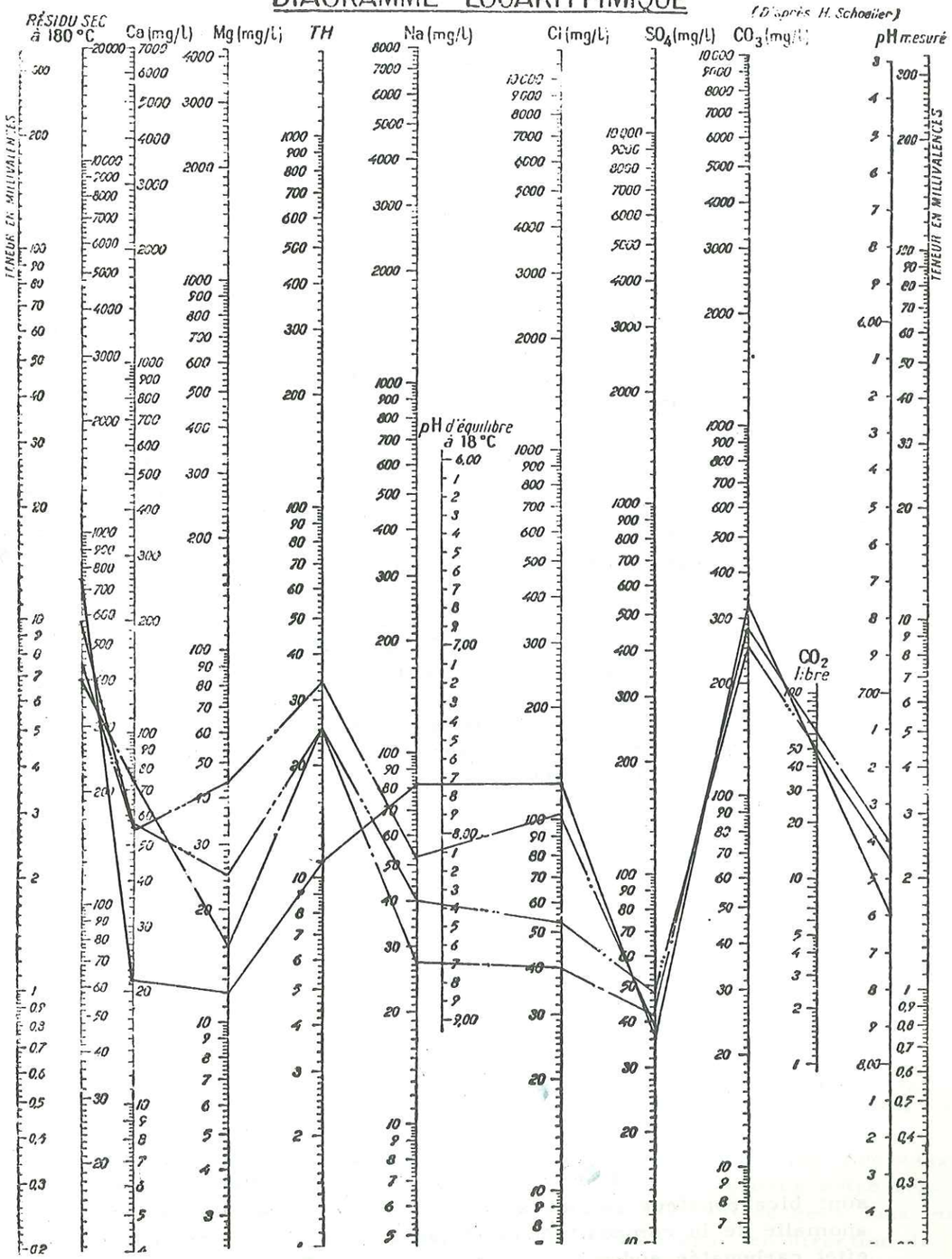


Figure 7-5

1 - Puits n° 19 ____ . ____ 3 - Puits n° 29 ____ Groupe d'Abu Nsair

2 - Puits n° 20 ____ . ____ 4 - Puits n° 30 ____ . ____

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques des eaux de cette zone .

Conductivité en m.mhos/cm	0,55	à	0,77
Résidu sec en ppm	352	à	496
Degré hydrotimétrique en degré français	21,98	à	29,98
SO4 en mg.l	37,44	à	53,76
Cl en mg/l	38,3	à	62
S.A.R.	0,75	à	1,04

Ces eaux sont donc bonnes, potables et valables pour l'irrigation

7-2-2-1-3- La zone d'Um-Ed-Dananir

Le faciès chimique des eaux de la nappe composite " groupe de Kurnube et de Zarqa " dans cette zone est celui de la figure 7-4. Ces eaux sont aussi bicarbonatées calciques avec une légère différence de concentration en ions SO4 et Cl, la formule caractéristique de ces eaux est :

r HCO3 > r Cl > r SO4 et
r Ca > r Na > r Mg

La conductivité de ces eaux est comprise entre 0,5 et 5,6 m.mhos/cm. Sur un même point d'eau, la conductivité augmente avec la profondeur du captage.

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques des eaux de la nappe composite dans la zone d'Um-Ed-Dananir.

Conductivité en m.mhos/cm	0,509	à	0;560
Résidu sec en ppm	3,26	à	358
Degré hydrotimétrique en degré français	10,58	à	22
SO4 en mg/l	19,2	à	36
Cl en mg/l	36,56	à	47
S.A.R.	0,76		1,06

7-2-2-1-4- La zone Abou Nsair-Mubis

Les eaux de tous les points d'eau dans cette zone sont bicarbonatées calciques sauf le point n°29 où il y a une grande anomalie de la composition chimique de l'eau. Dans ce point l'eau est en effet carbonatée sodique.

Le faciès chimique des eaux de cette zone est celui de la figure 7-5 établi à partir du diagramme semi logarithmique de Schoeller-Berkaloff, les eaux appartiennent à deux familles.

* famille des eaux bicarbonatées calciques; la formule caractéristique de cette famille est :

r HCO3 > r Cl > r SO4 et
r Ca > r Na > r Mg

Cette formule est caractéristique pour tous les points d'eau sauf le point n° 29.

* famille des eaux bicarbonatées-sodiques. La formule caractéristique de cette famille est :

r HCO3 > r Cl > r SO4 et
r Na > r Ca > r Mg

Cette famille se trouve seulement dans le point n°29. Les teneurs en sulfates et chlorures dans ces eaux sont plus fortes que dans les eaux d'autres zones dans la région de Baqa.

La conductivité électrique de ces eaux varie de 0,63 à 1,129 m mhos/cm. Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques des eaux de cette zone.

Conductivité en m mhos	0,630	à	1,129
r SO4 en mg/l	86,48	à	48
r Cl en mg/l	40,1	à	125
Résidu sec en ppm	403	à	723
Degré hydrotimétrique en degré français	0,78	à	1,96
S.A.R.	0,78	à	1,76

Les eaux de cette zone sont moins bonnes que les eaux des autres zones. Mais elles sont propres à la consommation humaine et à l'irrigation.

7-2-2-2- Analyses des cartes chimiques de la nappe composite dans la région de Baqa

A partir des analyses chimiques, on a établi quatre cartes chimiques.

7-2-2-2-1- Carte des résidus secs T.D.S. (Fig. 7-6)

En général, le taux de résidu sec est faible dans la région de Baqa, sauf dans le puits n° 29 où les résidus secs sont élevés par rapport aux eaux d'autres forages dans la région. Les eaux douces à T.D.S. inférieur à 500 ppm sont dominantes dans notre région. La carte montre une faible variation latérale des résidus secs dans les eaux de la zone d'Ain El Basha. Cette variation croit en direction de l'axe de drainage, c'est-à-dire que le résidu sec croit avec la distance à la zone de l'alimentation. Dans la zone d'Ain El Basha les valeurs du résidu sec varient de 320 à 490 ppm.

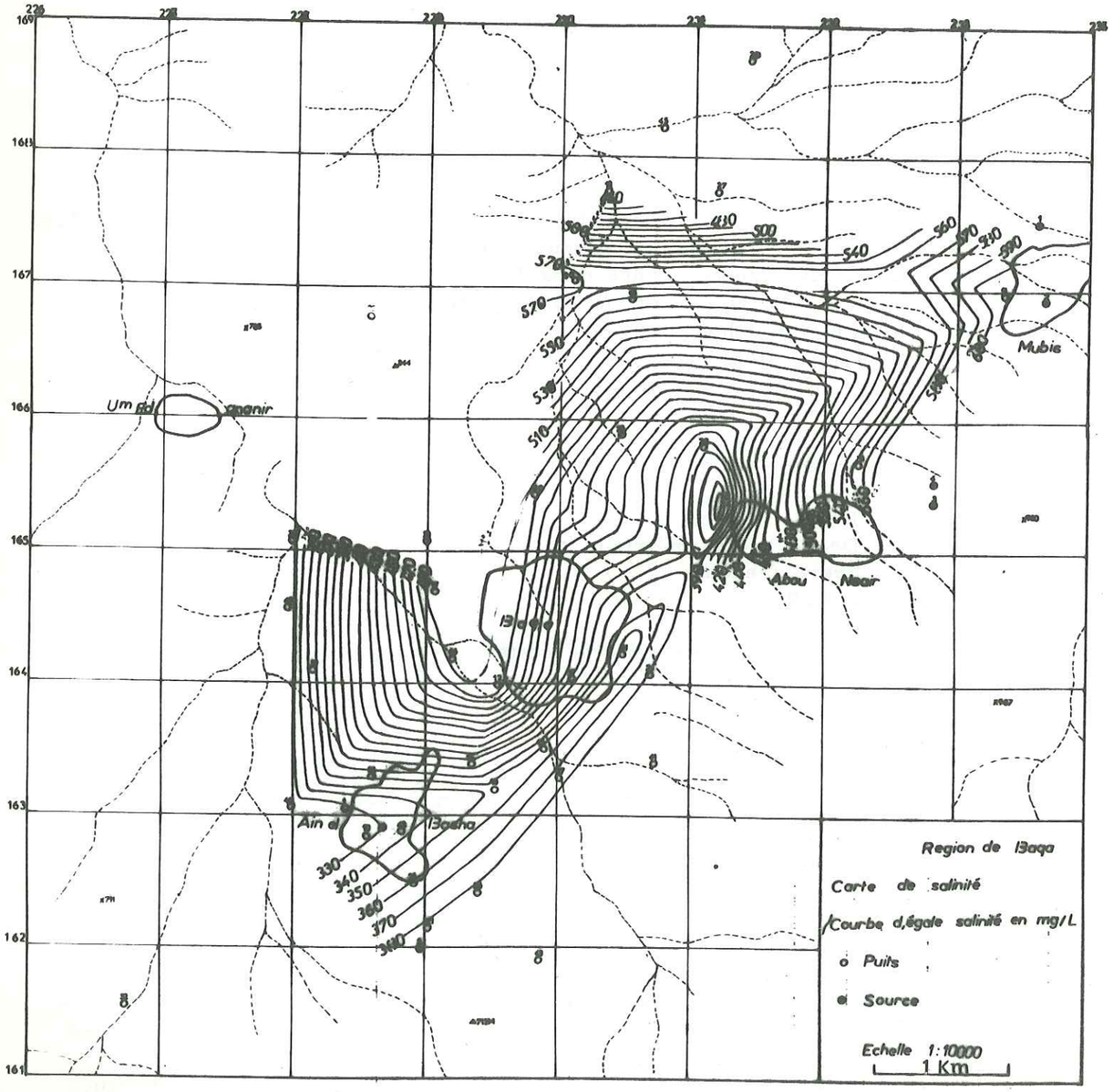


Fig. n° 7-6- CARTE DE LA SALINITE DE LA REGION DE BAQA

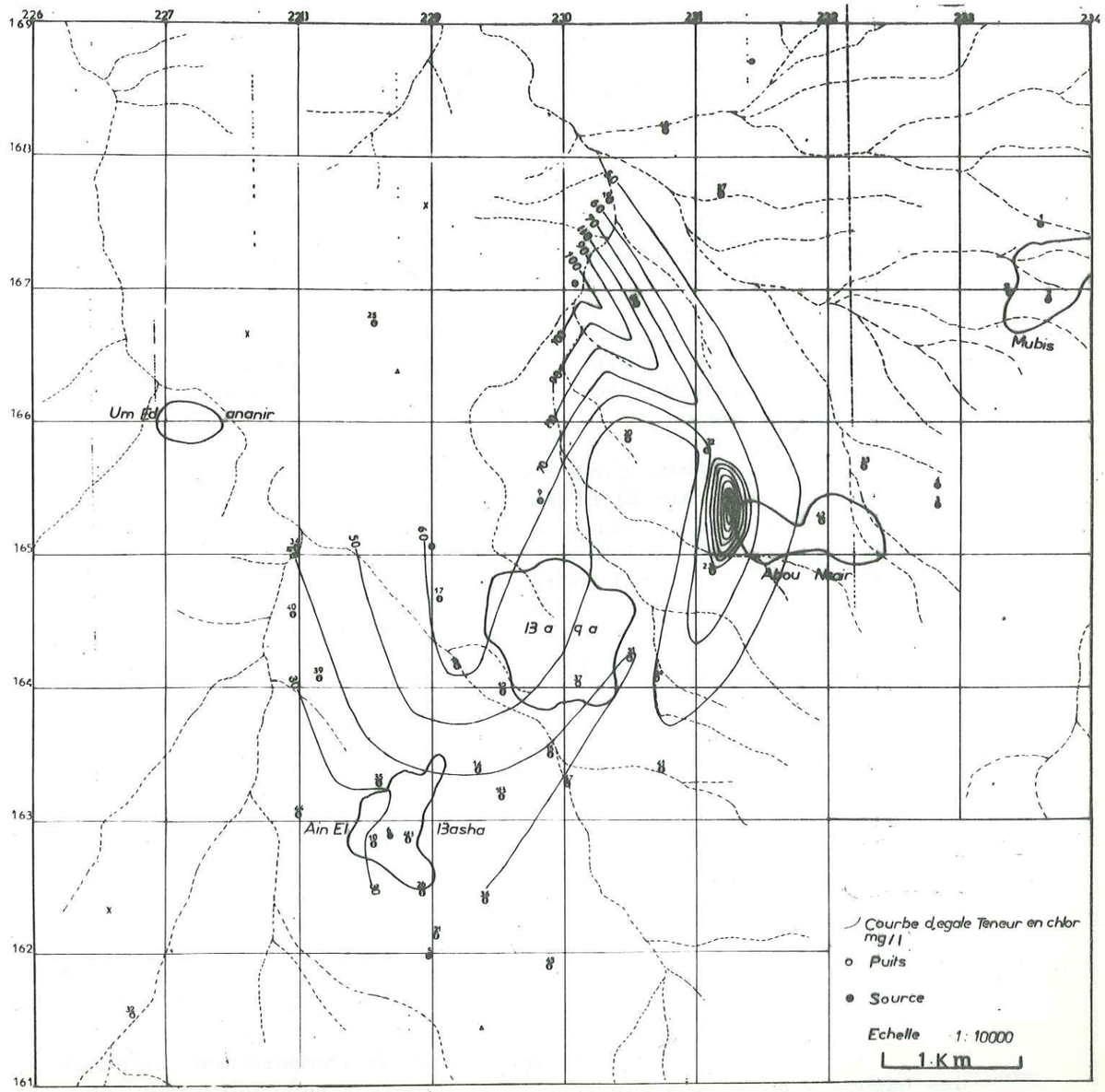


Fig. N° 7-7 CARTE DES TENEURS EN ION Cl⁻ DANS LA REGION DE BAQA

Dans la zone d'Abu Nsair et Mubis, la carte des résidus secs montre un accroissement du résidu sec dans la direction Nord-Ouest surtout de la partie Nord de cette zone. Ceci montre encore l'accroissement du résidu sec au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la région d'alimentation. Les variations du résidu sec sont comprises entre 384 et 576 ppm. La carte montre aussi une anomalie dans la zone d'Abu Nsair et Mubis au point d'eau 29 où le résidu sec est élevé dans les eaux par rapport à ses valeurs dans les eaux d'autres points. Cette anomalie peut être expliquée par la présence d'évaporites dans ce puits qui provoquent l'augmentation de salinité.

Le résidu sec augmente avec la profondeur de prélèvement c'est-à-dire en passant du groupe Kurnube au groupe Zarqa.

7-2-2-2-2- La carte des isochlores

La figure 7-7 montre la carte des teneurs en ion chlore dans la région de Baqa. La teneur en ion chlore sur cette carte est exprimée en mg/l.

Cette carte est en accord avec la carte du résidu sec. Dans la zone d'Ain El Basha, Um-Dananir et la zone du camp, cette carte montre un accroissement des teneurs en ion chlore vers l'axe de drainage. La variation des teneurs en ion chlore est faible dans cette zone et comprise entre 30 à 60 mg/l.

Dans la zone Abu Nsair et Mubis, la teneur en ion chlore dans les eaux est élevée. La carte montre un accroissement selon la direction Sud-Est, Nord-Ouest c'est-à-dire en fonction de l'éloignement par rapport à la zone d'alimentation.

Cette carte montre aussi une anomalie sur le point 29 où la teneur en chlore approche de 125mg/l . Cette anomalie peut être aussi expliquée par l'existence des évaporites dans ce point. La carte montre donc une augmentation de la teneur en ion chlore avec la profondeur et aussi d'un point à l'autre.

7-2-2-2-3- La carte d'équirapport $\frac{Mg}{Ca}$

Les concentrations en Mg et Ca à partir desquelles on a établi la carte d'équirapport $\frac{Mg}{Ca}$ est exprimée en mg/l (figure 7-8)

Il est classique d'étudier le comportement chimique des nappes à partir des rapports $\frac{Mg}{Ca}$ et il nous a paru intéressant de matérialiser cette étude par le tracé des courbes d'équirapports $\frac{Mg}{Ca}$ 0,02, 0,25, 0,30 ... jusqu'à 0,75.

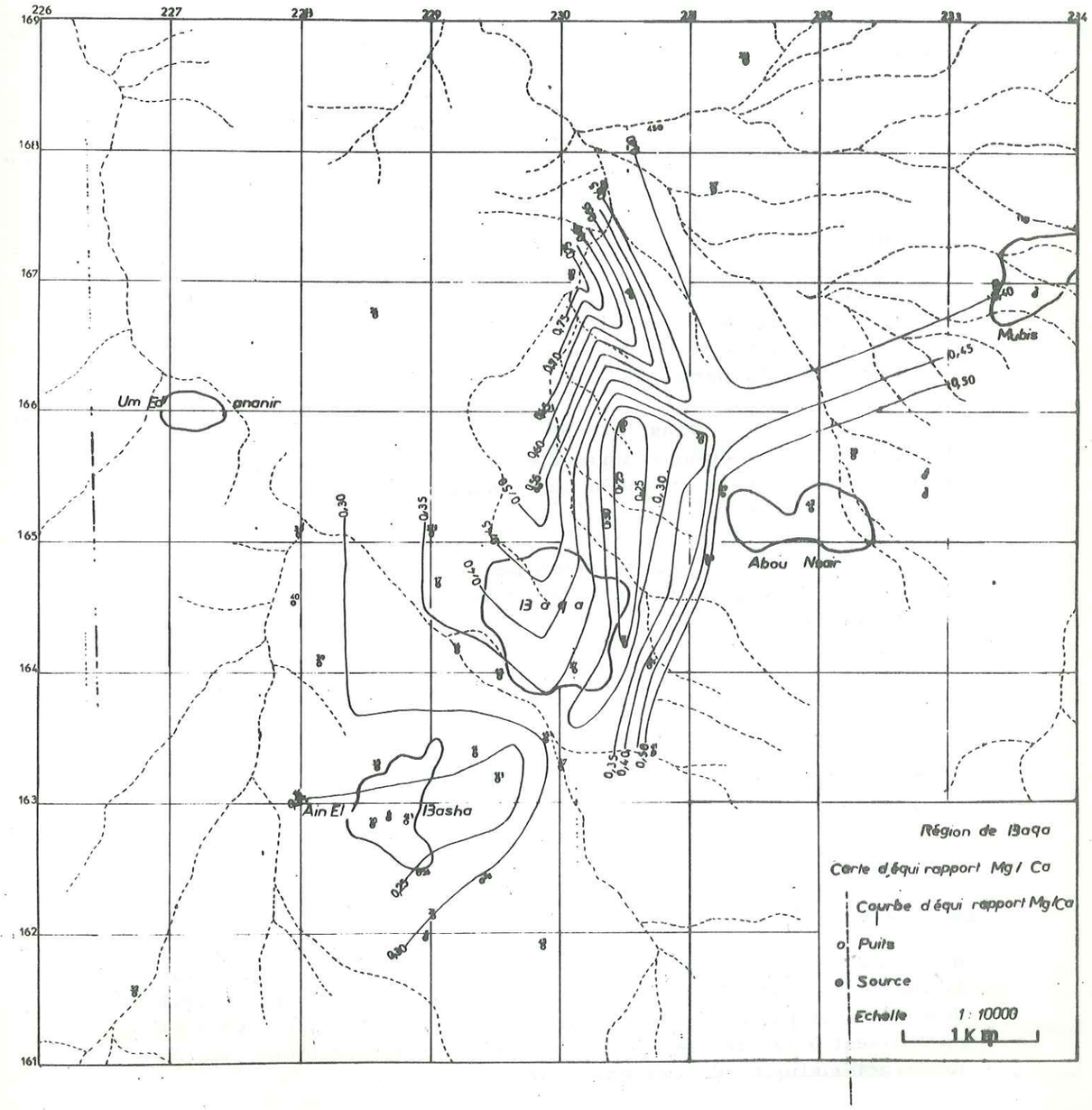


Fig. n° 7-8- CARTE D'EQUI RAPPORT Mg/Ca DANS LA REGION DE BAQA

L'allure générale des courbes de même rapport dans la zone d'Ain El Basha, la zone du camp et la zone d'Um-Ed-Dananir montre que ce rapport augmente vers l'axe de drainage. Les valeurs de ce rapport dans ces zones varie de 0,2 à 0,5.

Dans la zone d'Abu Nsair-Mubis, on remarque aussi l'augmentation de ce rapport du Sud-Est vers le Nord-Ouest, surtout dans la partie Nord de la région de Baqa.

Les valeurs de ce rapport varient dans la zone d'Abu Nsair-Mubis, de 0,25 à 0,75.

7-2-2-2-4- La carte des degrés hydrotimétriques

La figure 7-9 montre la carte des degrés hydrotimétriques sur laquelle, sont tracées certaines courbes d'égal degré hydrotimétrique. Ce degré varie dans toute la région de 20 à 30. Les plus forts degrés hydrotimétriques sont observés dans la partie Nord-Ouest de la région de Baqa entre la zone du camp et la partie Ouest de la zone Abu-Nsair-Mubis, tandis que les plus faibles degrés sont observés dans la partie Sud-Est de la zone d'Abu Nsair.

Dans la zone d'Ain El Basha, on remarque que le degré hydrotimétrique augmente vers l'axe de drainage, ceci peut être expliqué par la présence de la nappe superficielle près de la surface.

En général on peut dire que le degré hydrotimétrique dans la région est très faible ce qui indique des eaux de bonne qualité.

7-2-3- Chimie des eaux du groupe Kurnube

7-2-3-1- Dans la région de Jerash

La chimie des eaux du groupe Kurnube est connue dans plusieurs forages dans plusieurs localités mais surtout dans la région de Jerash.

7-2-3-1-1- Localité El Majdal

Dans cette localité, il y a quatre forages sur le groupe Kurnube

Faciès chimique et conductivité : Le faciès chimique des eaux du groupe Kurnube dans la localité El Majdal est celui de la figure 7-10 établie à partir du diagramme semi logarithmique de Schoeller. A partir de ce diagramme, on peut dire que ces eaux appartiennent à la famille des eaux bicarbonatées-calciques. La formule caractéristique de ces eaux est :

$$r\,HCO_3 > r\,Cl > r\,SO_4 \quad \text{et}$$
$$r\,Ca > r\,Na > r\,Mg$$

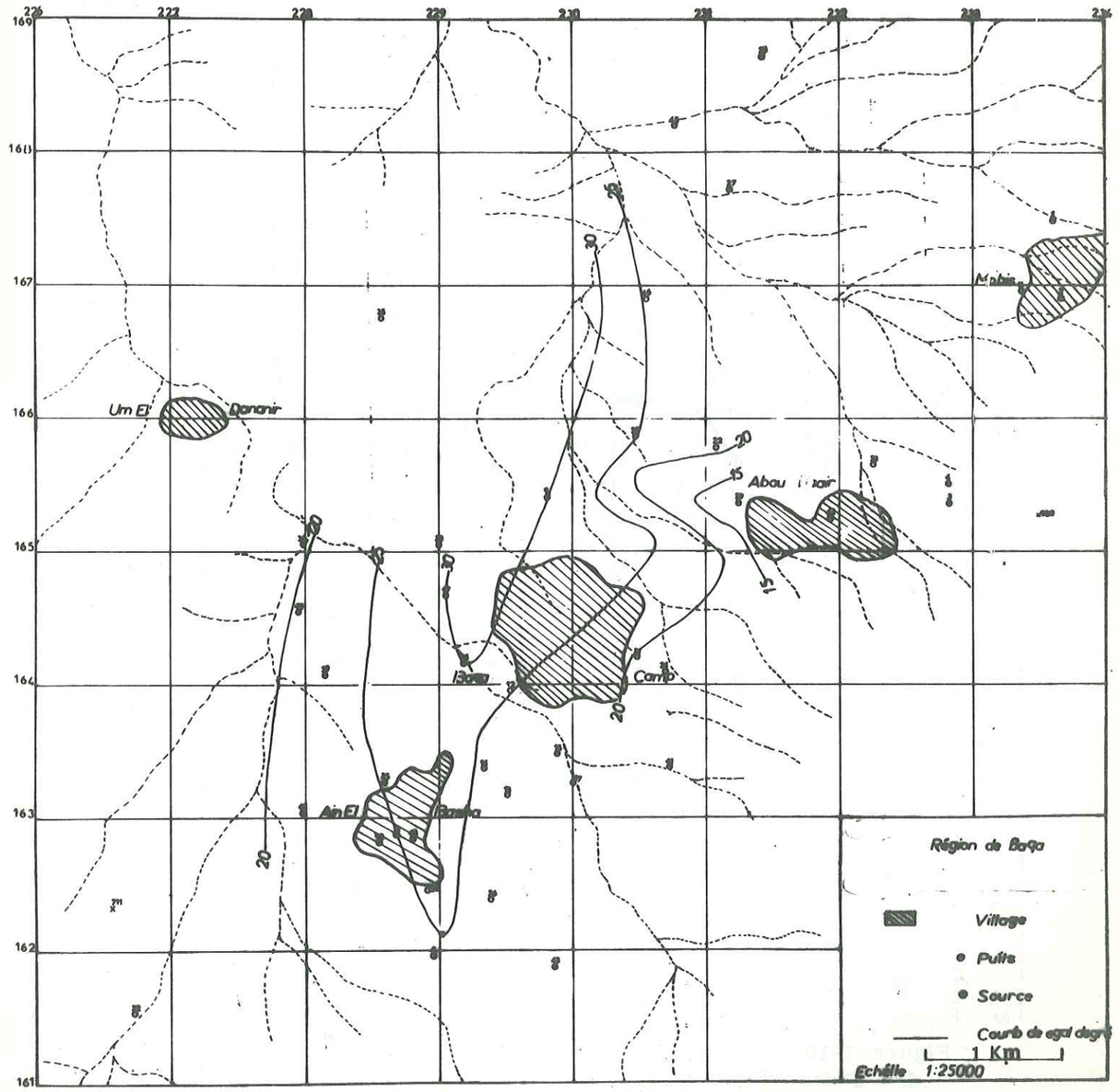


Fig. n° 7-9- CARTE DES DEGRES HYDROTIMETRIQUES DANS LA REGION DE BAQA

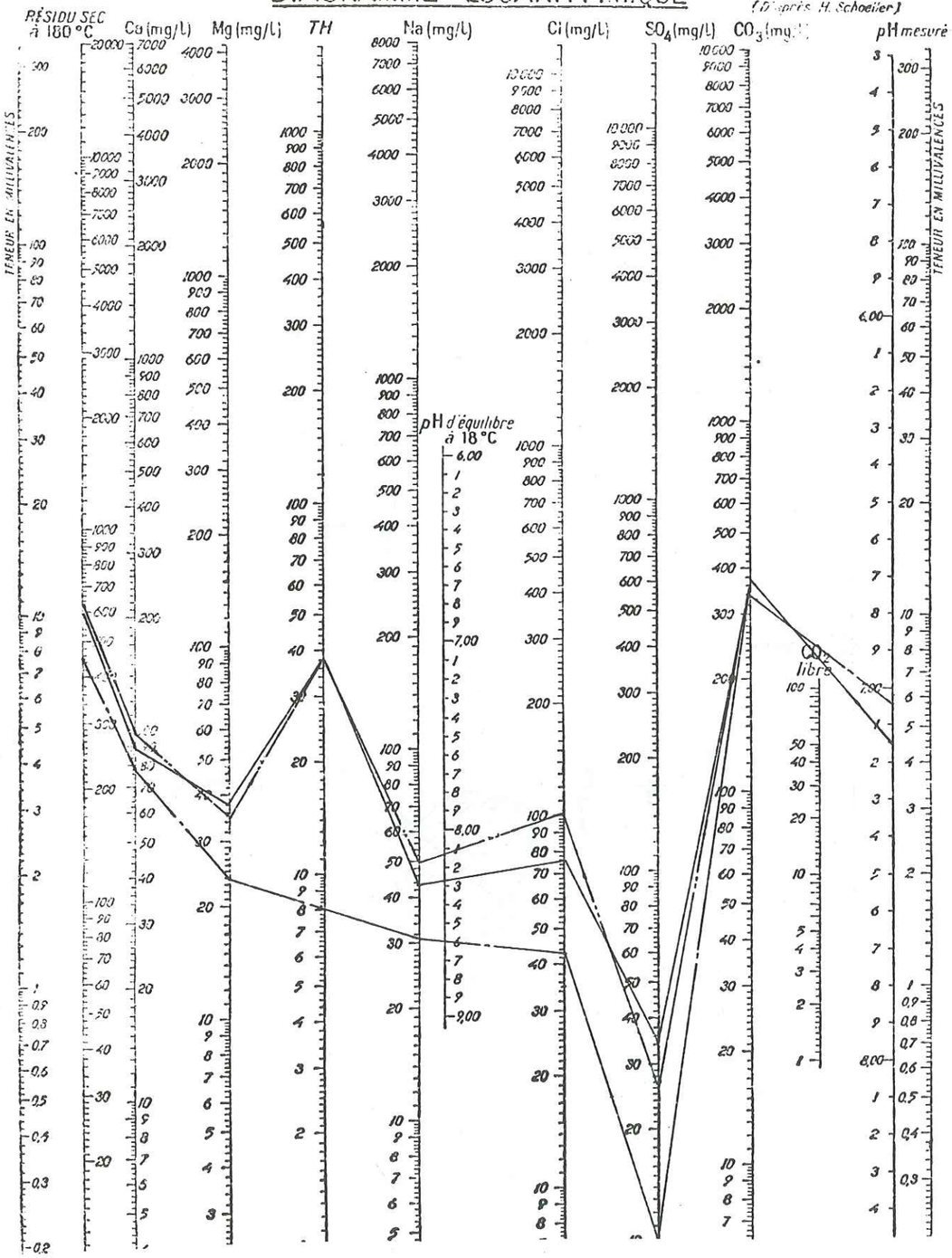


Figure 7-10

1 - Puits n° S 1 ————

2 - Puits n° S 2 ——.——

3 - Puits n° S 3 ——..——

groupe El Majdal

Les valeurs de la conductivité électrique de ces eaux sont comprises entre 0,7 et 0,98 m mhos/cm.

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques des eaux du groupe Kurnube dans la localité El Majdal.

Conductivité en m mhos/cm	0,7	à	0,98
Résidu sec en ppm	454	à	627
SO4 en mg/l	10	à	35,2
Cl en mg/l	43	à	103,3
Degré hydrotimétrique en degré français	29	à	38
S.A.R.	0,79	à	1,12

Ces caractéristiques indiquent que ces eaux sont des eaux douces bicarbonatées-calciques et sont très propres pour la consommation humaine et l'irrigation. On remarque une grande variation des valeurs des teneurs en ion chlore entre les eaux desquatre forages dans la localité, El Majdal sur le groupe Kurnube.

7-2-3-1-2- Dans la localité de Burma : dans cette localité on a 5 forages sur le groupe Kurnube.

Faciès chimique et conductivité, le faciès chimique des eaux de cette localité est celui de la figure 7-11. Ces eaux sont des eaux bicarbonatées. Dans cette famille on distingue deux groupes :

- un groupe dont la formule caractéristique est
  r HCO3 > r Cl > r SO4 et
  r Ca > r Mg > r Na

- un autre groupe dont la formule caractéristique est :
  r HCO3 > r Cl > r SO4 et
  r Ca > r Na > Mg

Les valeurs de la conductivité de ces eaux sont comprises entre 0,750 et 0,85 m mhos/cm.

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques des eaux du groupe Kurnube dans cette localité.

Conductivité en m mhos/cm	0,75	à	0,85
Résidu sec en ppm	480	à	506
SO4 en mg/l	25	à	36,5
Cl en mg/l	52	à	70
Degré hydrotimétrique en degré français	32	à	34,5
S.A.R.	0,65	à	0,97

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

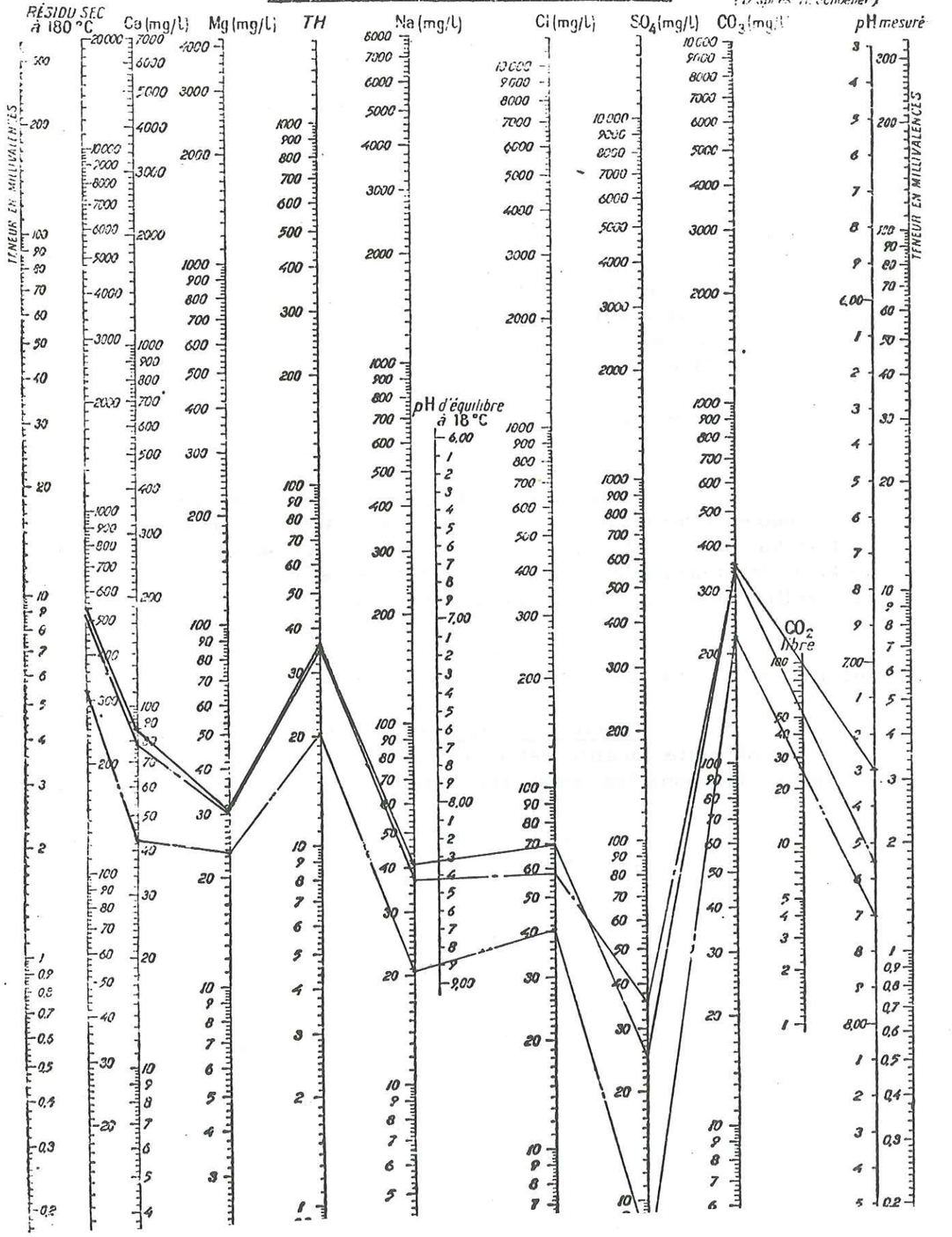


FIG 7-11

1 - Puits B1 ——·——

2 - Puits B3 ——·——

3 - Puits B2 —— Groupe de Burma

Ces eaux sont des eaux bicarbonatées calciques. Elles sont potables et sont bonnes pour l'irrigation.

7-2-3-1-3- Dans la localité de Quasir la chimie des eaux du groupe Kurnube dans cette localité n'est connue que sur deux forages.

Le faciès chimique de ces eaux est celui de la figure 7-12 établi à partir du diagramme semi logarithmique de Schoeller. Les eaux de cette localité sont des eaux bicarbonatées calciques dont la formule caractéristique est :

r HCO3 > r Cl > r SO4 et
r Ca > r Na > r Mg

Le tableau suivant montre quelques caractéristiques principales de ces eaux

Conductivité en m mhos/cm	0, 78	à	1, 200
Résidu sec en ppm	499	à	768
SO4 en mg/l	21	à	70
Cl en mg/l	79	à	144
Degré hydrotimétrique en degré français	30	à	46
S. A. R.	1.16	à	1, 4

Ces eaux sont de bonne qualité du point de vue de la potabilité et de l'irrigation.

7-2-3-1-4- Dans la localité d'oued Jerash : Dans cette localité l'eau du groupe Kurnube n'est connue que sur un seul forage. Le faciès chimique de l'eau de ce forage est celui de la figure 7-13 établie à partir du diagramme semi-logarithmique de Schoeller. On désignera ces eaux par le terme : eaux bicarbonatées calciques.

La formule caractéristique de ces eaux est la suivante :
r HCO3 > r Cl > r SO4 et
r Ca > r Na > r Mg

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques des eaux de cette localité.

Conductivité en m mhos/cm	0, 92
Résidu sec en ppm	5, 89
SO4 en mg/l	56, 6
Cl en mg/l	80
Degré hydrotimétrique en degré français	33
S. A. R.	1, 04

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

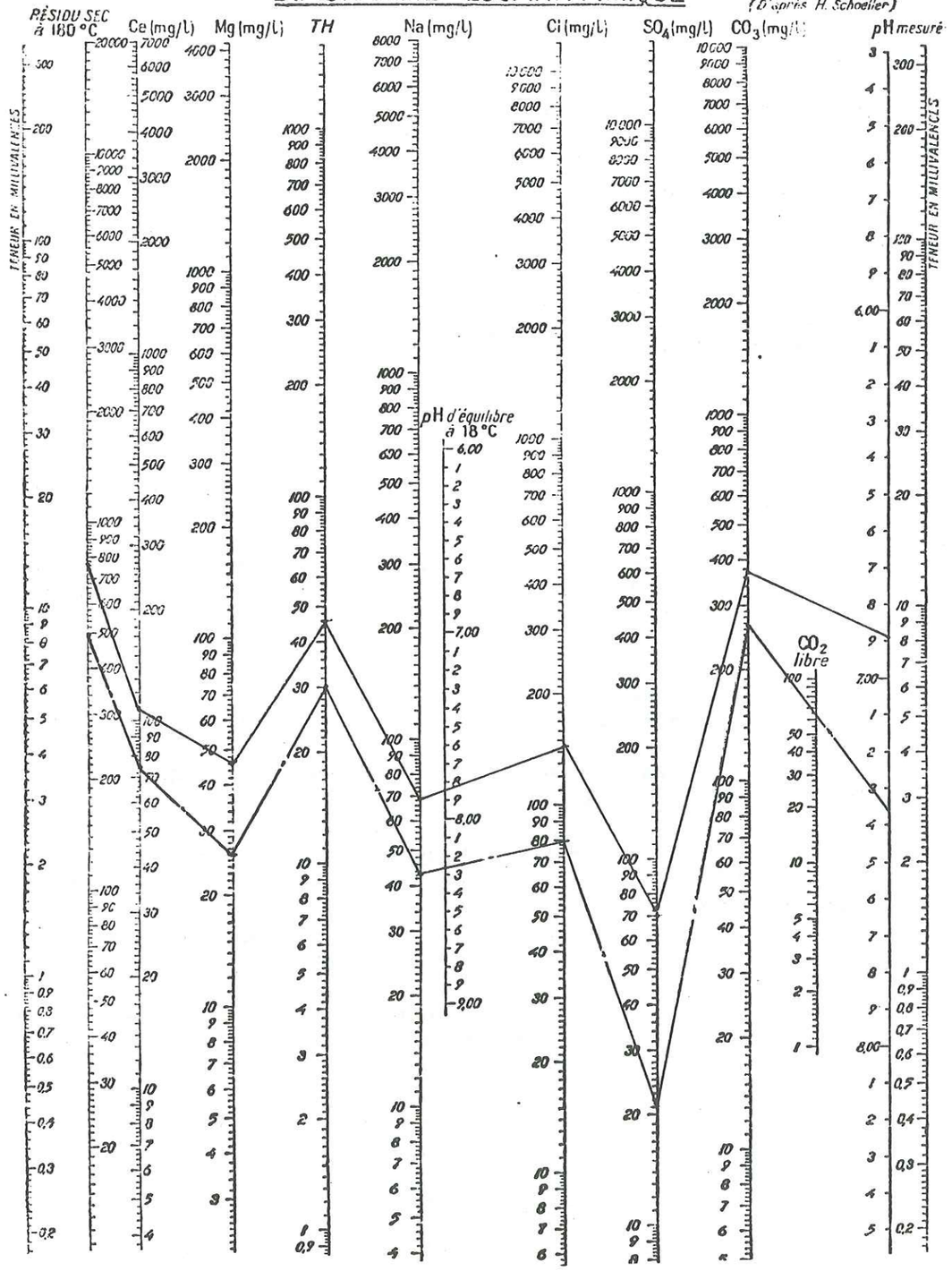


Figure 7-12

1 - Puits n° Q1 ——·——

2 - Puits n° Q2 ————

groupe d'oued Qusaire

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

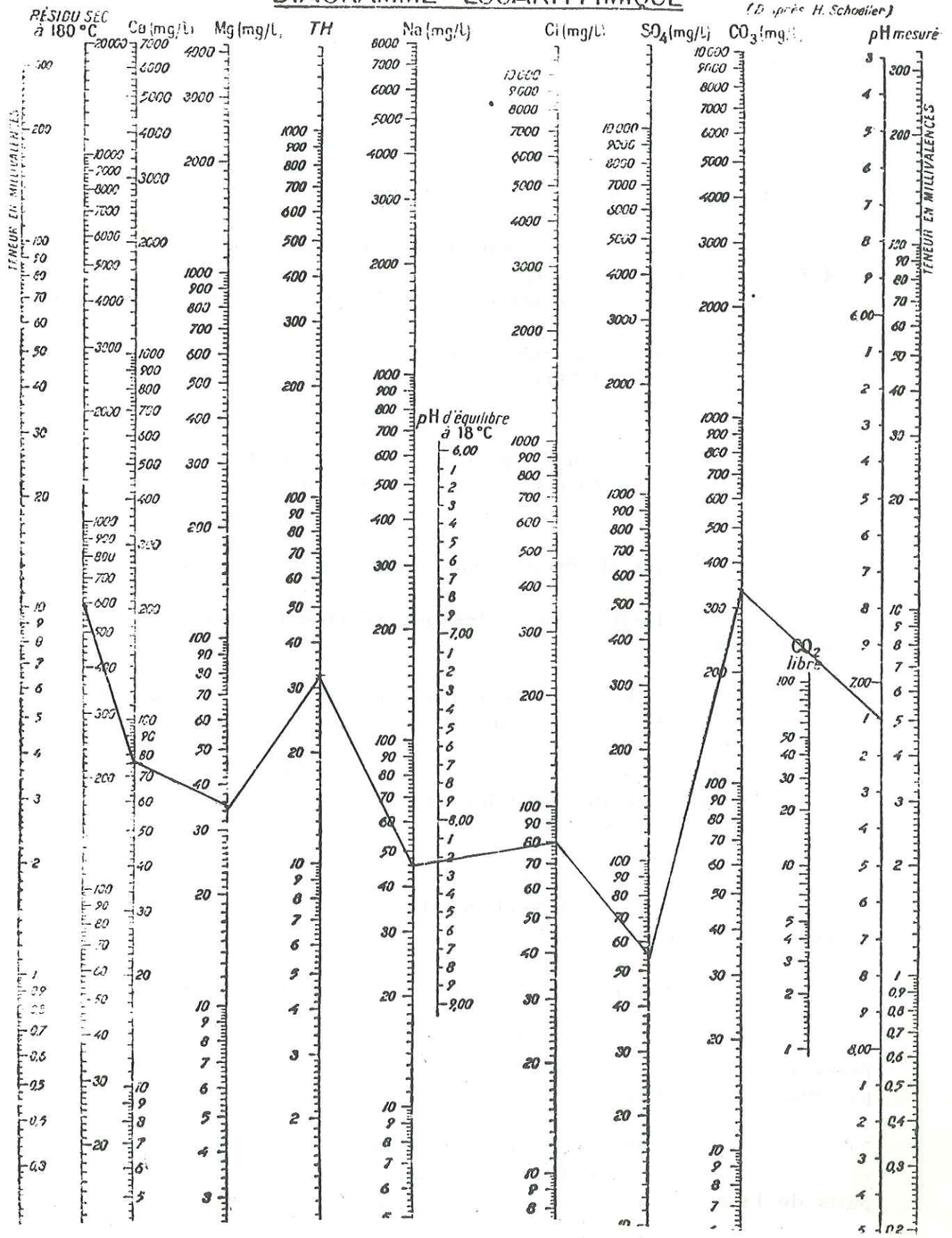


Figure 7-13

Puits n°1

oued Jerash

La qualité de ces eaux d'après ces caractéristiques est bonne.

7-2-3-2- Dans la région de Baqa

Les eaux du groupe Kurnube sont séparées des eaux du groupe Zarqa dans la région de Baqa seulement dans une partie limitée de la zone Ain El Basha. Ce sont les eaux des puits creusés à la main, c'est-à-dire des eaux superficielles.

Le faciès chimique de ces eaux est celui de la figure 7-14 établie à partir du diagramme de Schoeller, ces eaux sont bicarbonatées calciques. Dans cette famille, on distingue deux groupes :

* un groupe dont la formule caractéristique est :
  r HCO3 > r Cl > r SO4 et
  r Ca > r Na > r Mg

* un autre groupe dont la formule caractéristique est :
  r HCO3 > r Cl > r SO4 et
  r Ca > r Mg > r Na

Le pH de ces eaux varie entre 7,1 et 8.

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques de ces eaux.

Conductivité en m mhos /cm	0,535	à	0,925
Résidu sec en ppm	432	à	592
SO4 en mg/l	0	à	57,6
Cl en mg/l	24,85	à	73,72
Degré hydrotimétrique en degré français	20,9	à	32,88
S.A.R.	0,59	à	0,82

Ces eaux sont très bonnes pour l'irrigation et pour la consommation humaine.

7-2-4- Chimie des eaux de la formation Naur A 1/2

La chimie des eaux de la formation Naur est connue sur plusieurs points d'eau de trois localités dans la région de Jerash, soit par des sources soit par des forages.

7-2-4-1- Chimie des eaux de la localité oued Birkataine

Dans cette localité, on a des eaux de source et des puits de la même formation Naur A 1/2.

Le faciès chimique de ces eaux est celui de la figure 7-15 établie à partir du diagramme de Schoeller. Ces eaux sont bicarbonatées-calciques.

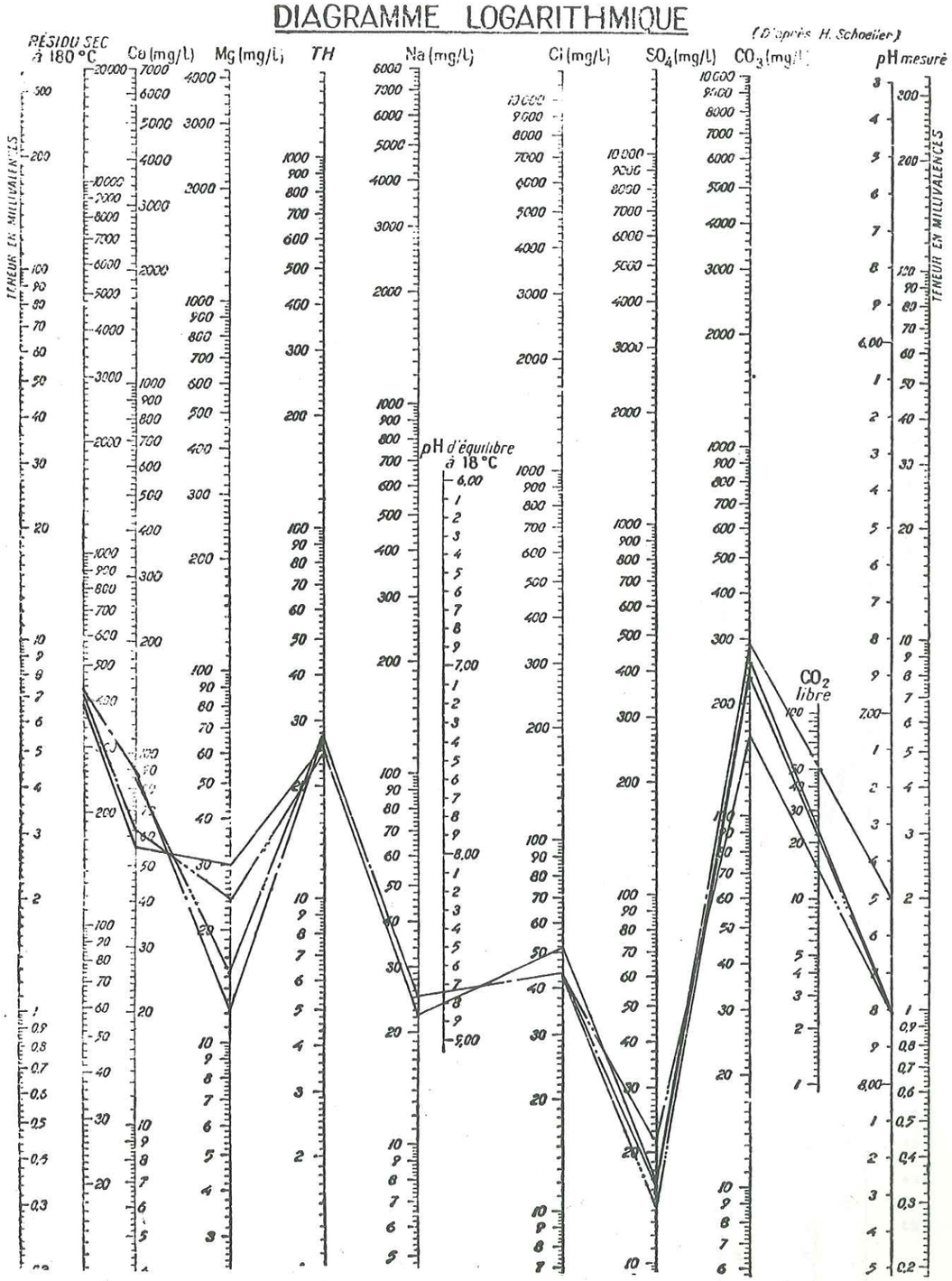


FIG 7_14

1 - Puits n° 1 ——·——
2 - Puits n° 2 ———
3 - Puits n° 3 ——·——groupe d'Ain El Basha nappe supérieure

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

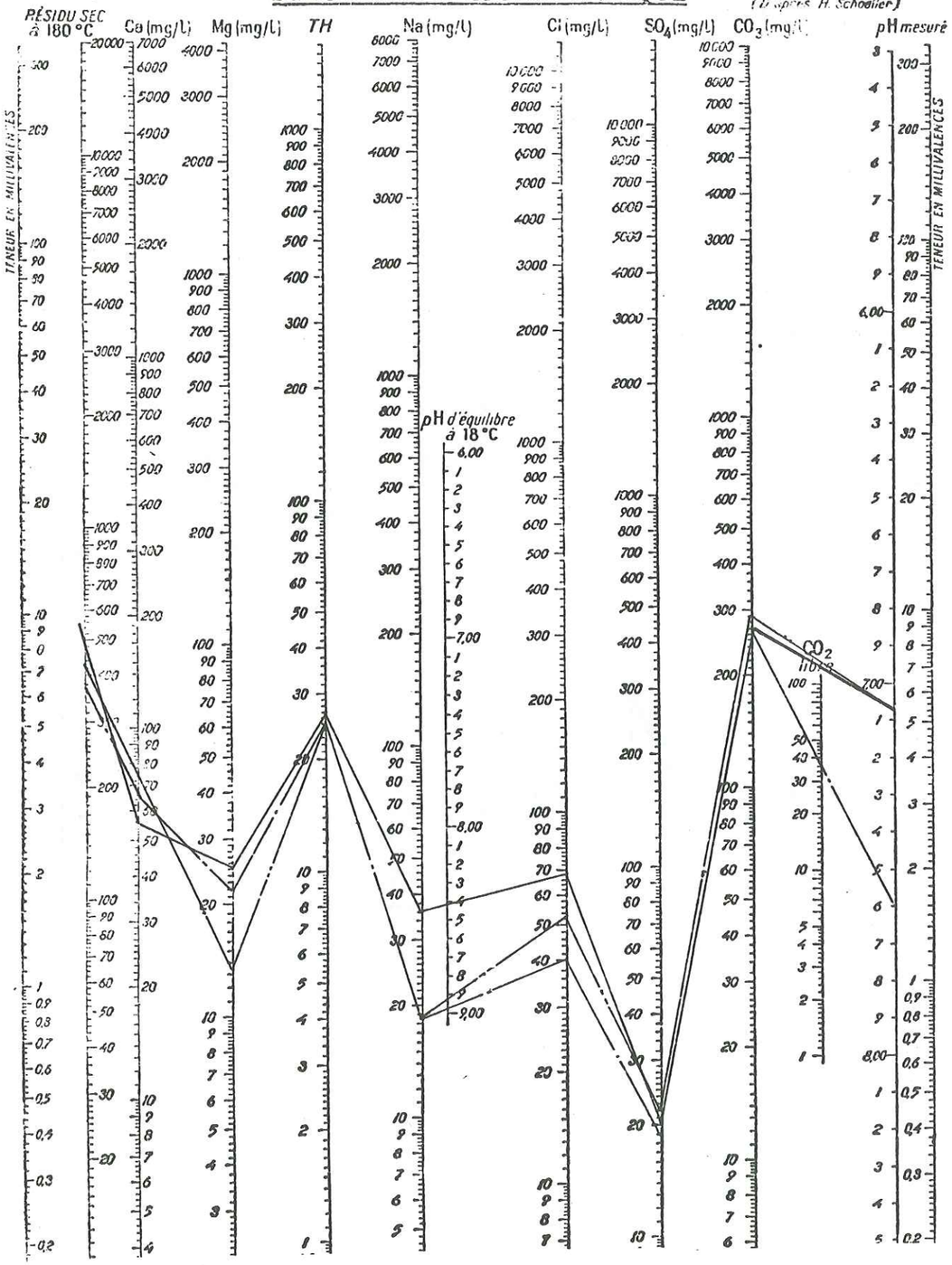


FIG 7-15

1- source El Birkatein ——·——

2 - Puits n° 1 ————

Source El Shwahide ——··——
groupe El Birkatein

Leur formule caractéristique est la suivante :
r HCO3 > r Cl > r SO4 et
r Ca > r Na > rMg

La conductivité de ces eaux est comprise entre les valeurs 0, 575 et 0, 705. On remarque sur un même point d'eau que la conductivité augmente généralement avec la profondeur du captage.

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques des eaux de la formation Naur A 1/2 dans cette localité en vue d'une éventuelle utilisation, soit pour la consommation humaine , soit pour l'irrigation.

Conductivité en m mhos	0, 575	à	0, 705
Rédisu sec enmg/l	368	à	485
SO4 en mg/l	19, 2	à	22, 08
Cl en mg/l	40, 8	à	68, 5
Degré hydrotimétrique en degré français	24, 0	à	27
S. A. R.	0, 46	à	98

Les caractéristiques de ces eaux indiquent qu'elles sont bonnes aux point de vue potabilité et irrigation.

7-2-4-2- Les eaux de la localité oued El Majar

Les eaux de la formation Naur dans cette localité sont connues sur six forages et deux sources.

Le faciès chimique de ces eaux est celui des figures 7-16 et 17 établies à partir du diagramme semi-logarithmique de Schoeller. Les eaux dans cette localité sont bicarbonatées-calciques.

La formule caractéristique de ces eaux est :

r HCO3 > r Cl > r SO4 et
r Ca > r Na > Mg

Les valeurs de la conductivité électrique de ces eaux sont comprises entre 0, 65 et 0, 77 m. mhos/cm et on remarque que la conductivité augmente généralement avec la profondeur du captage et aussi d'amont à l'aval.

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques des eaux de la formation Naur dans cette localité oued El Majdar

Conductivité en m mhos/cm	0, 65	à	0, 77
Résidu en mg/l	416	à	492
SO4 en mg/l	11, 52	à	58
Cl en mg/l	48	à	87
Degré hydrotimétrique en degré français	26	à	32
S. A. R.	0, 69	à	1, 24

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

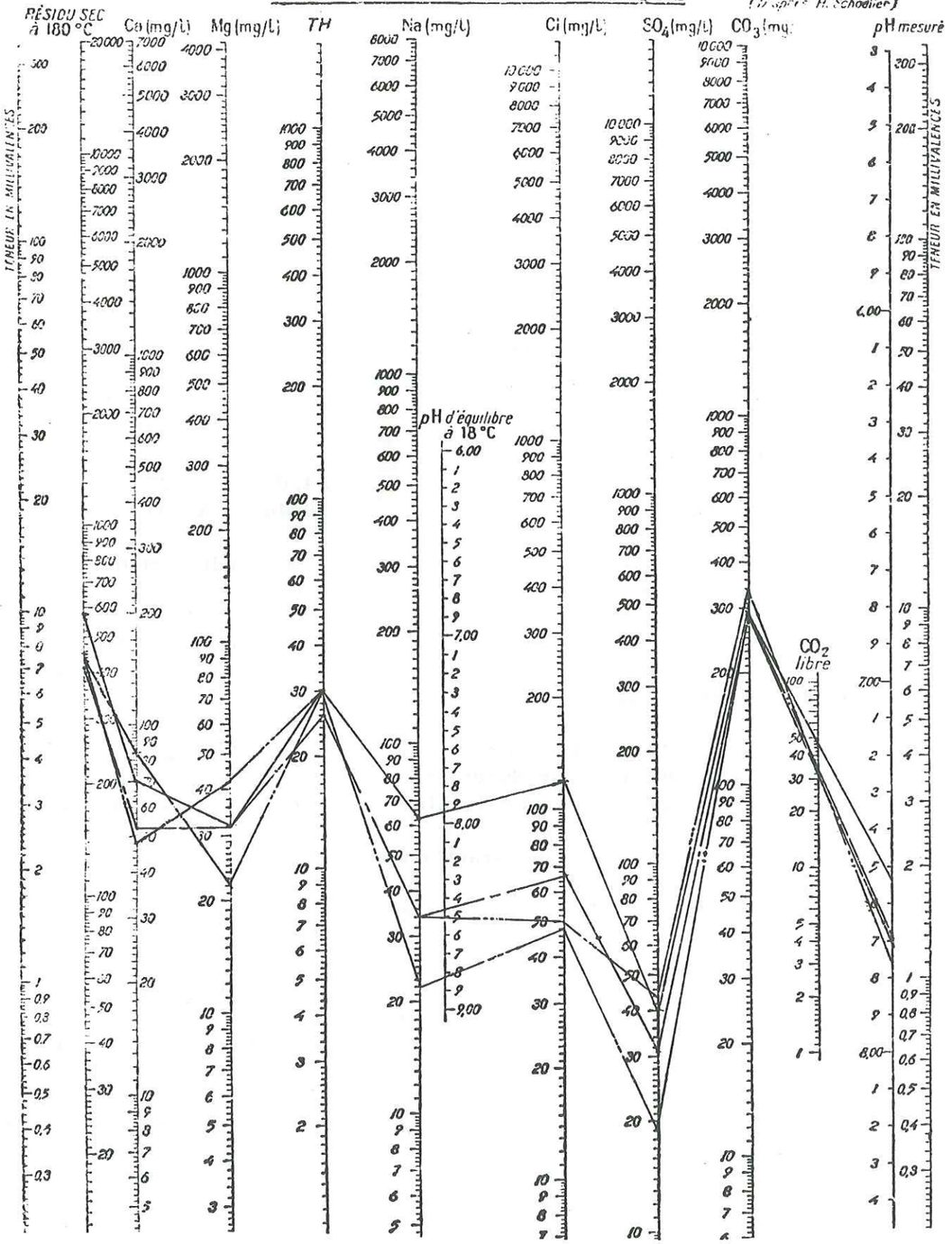


Figure 7-16

1 - Puits J7 ——
2 - Puits J2 — . —
3 - Puits J5 — .. — Groupe de l'oued El Majar
4 - Puits J6 — ... —

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

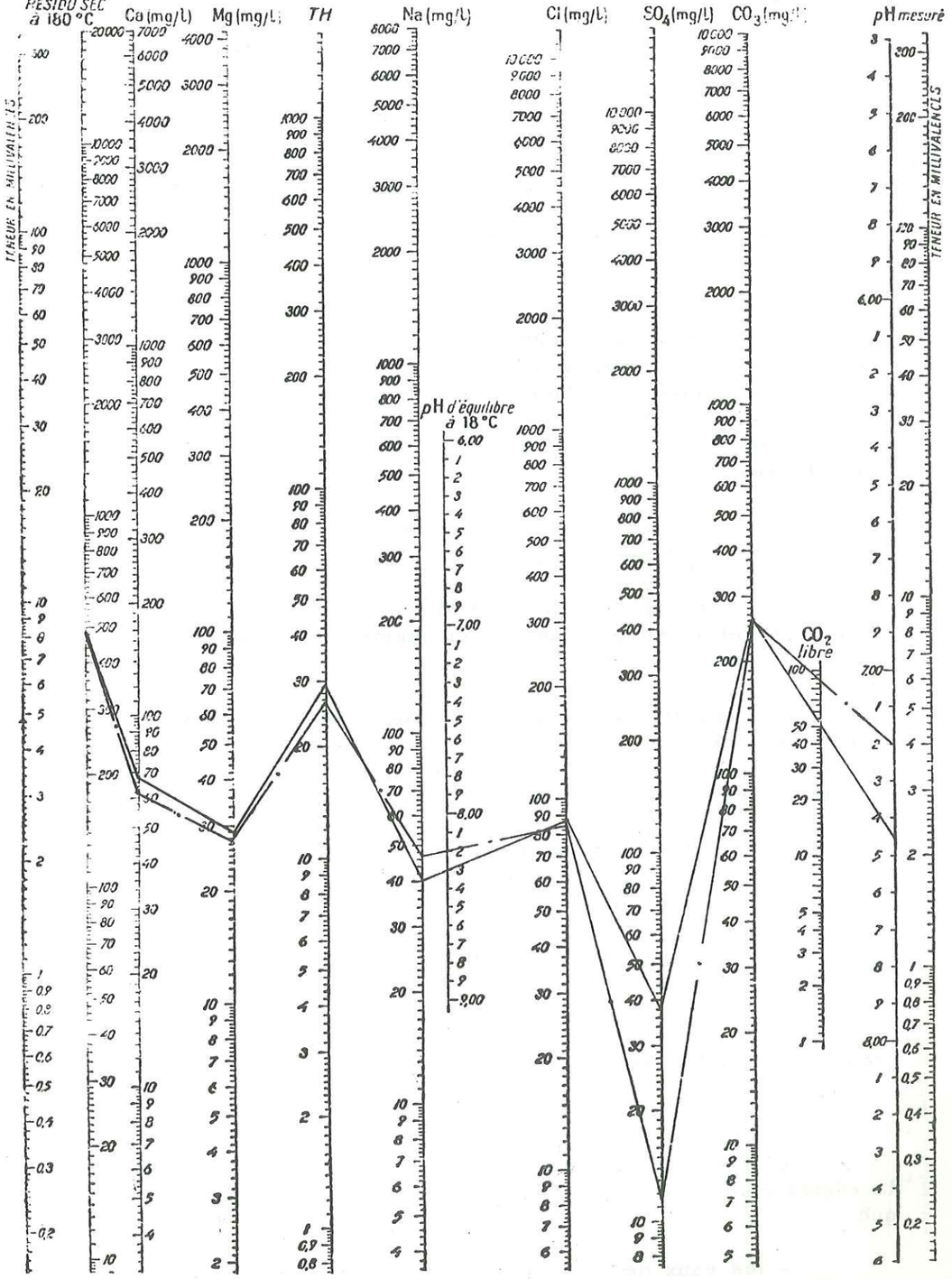


Figure 7-17

1 - Puits J1 — . —
2 - Source El Tanour —— groupe El Tanour

Les principales caractéristiques de ces eaux indiquent que ces eaux sont potables et bonnes pour l'irrigation.

7-2-5- Chimie des eaux de la formation Hummer A4

Les eaux de cette formation se trouvent seulement dans la région de Salt et la chimie de ces eaux est connue sur plusieurs sources qui sont la ressource essentielle en eaux de cette région et sur quatre forages seulement dans la région de Salt.

La figure 7-18 montre le faciès chimique de ces eaux, pour les quatre forages dans la région de Salt. Cette figure est établie à partir du diagramme semi logarithmique de Schoeller. Les eaux de la formation " Hummer A 4 " d'après la classification de O. A. ALEKINE, 1953, appartiennent à la classe des eaux bicarbonatées et au groupe des eaux calciques . On désignera ces eaux par le terme eaux-bicarbonatées-calciques. La formule caractéristique est :

r HCO3 > r Cl > r SO4 et
r Ca > r Na > r Mg

Les valeurs de la conductivité de ces eaux sont comprises entre 0,65 et 1,260 m. mhos/cm et augmentent d'amont vers l'aval dans la localité oued Es-Salt.

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques des eaux de la formation Hummer A 4 en vue d'une éventuelle utilisation, soit pour la consommation familliale, soit pour l'irrigation des terrains de culture.

Conductivité en m. mhos/cm	0,65	à	1,26
Résidu sec en ppm	416	à	806
SO4 en mg/l	0	à	91
Cl en mg/l	35,5	à	112
Degré hydrotimétrique	28	à	46,7
S. A. R.	0,54	à	1,38

Les principales caractéristiques de ces eaux indiquent que ces eaux sont bonnes pour la consommation et l'irrigation.

7-3- CONCLUSION

D'après les résultats des analyses chimiques des points d'eau dans la région étudiée et la répartition des faciès chimiques, on peut conclure que :

- les eaux de tous les secteurs sont bonnes du point de vue potabilité et irrigation sauf en quelques points d'eau de la formation Main Zarqa Z1, dans la région de Jerash à proximité de la rivière

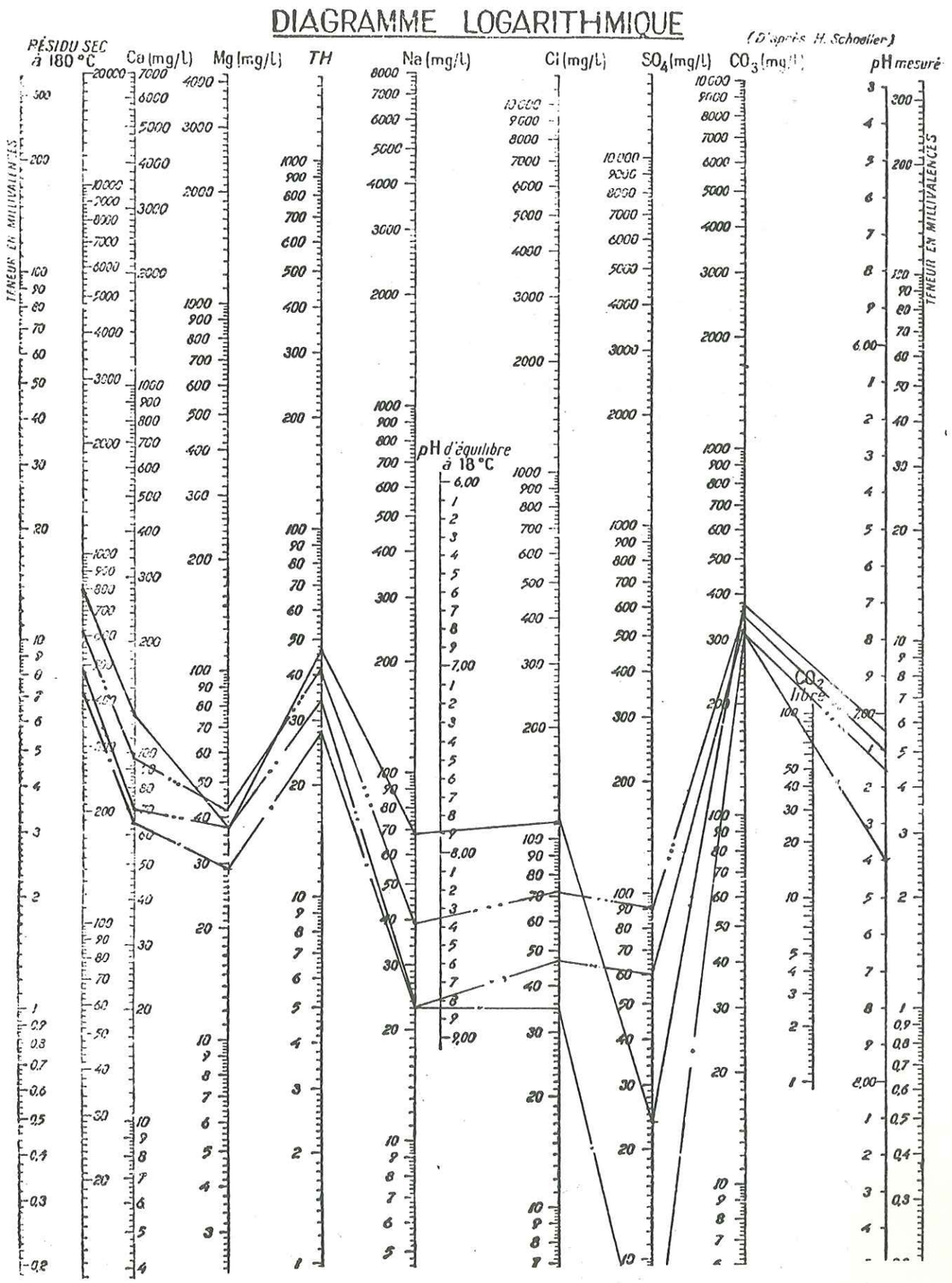


FIG 7-18

1 - Puits Salt n° 1 _____ 3 - Puits n° 3 _____ .. _____
2 - Puits salt n° 2 ____.____ 4 - Puits Yazidya n° 1 ----Groupe de Salt

Zarqa. En ces points, les eaux sont sulfatées sodiques et chlorurées sodiques et ne sont bonnes ni pour la consommation, ni pour l'irrigation.

D'autre part dans le reste de la région étudiée, on remarque qu'il y a des variations faibles des teneurs en anions et en cations selon la localité, les formations et les profondeurs des forages.

On remarque que dans la région de Baqa, il existe une anomalie au point d'eau n° 29 où la teneur en Cl et So4 et le résidu sec sont élevés par rapport à ces valeurs dans les eaux des autres points.

Ceci peut s'expliquer par la présence dans ce puits d'évaporites qui provoquent cette anomalie.

C H A P I T R E VIII

==========

VIII- DETERMINATION DES CARACTERES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES DE LA REGION ETUDIEE ET DE L'INFLUENCE DES POMPAGES SUR LES PUITS, SUR LES SOURCES DANS LA REGION DE JERASH

==========

8-1- INTRODUCTION

8-2- INTERPRETATION DES ESSAIS

8-3- COURBES DE TARISSEMENT

8-4- ETUDE DE L'INFLUENCE DES POMPAGES SUR LES PUITS ET SUR LES SOURCES DANS LA REGION DE JERASH

VIII- DETERMINATION DES CARACTERES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES DE LA REGION ETUDIEE ET ETUDE DE L'INFLUENCE DES POMPAGES SUR LES PUITS , SUR LES SOURCES DANS LA REGION DE JERASH

8-1- INTRODUCTION

Pour la détermination des divers paramètres hydrodynamiques des aquifères calcaires et gréseux dans la région étudiée, on a d'abord appliqué à plusieurs essais de pompage dans ces aquifères , l'équation d'approximation logarithmique de C. Jacob et C. Theis 1942 valable pour le régime d'écoulement non permanent et ensuite la méthode de Theis.

Le problème de la détermination des paramètres hydrodynamiques par les méthodes classiques reste toujours difficile à résoudre.

Nous avons aussi appliqué les méthodes de E. Maillet et Tison pour la détermination des valeurs du coefficient de tarissement et de la capacité d'emmagasinement de l'aquifère Naur A 1/2 dans la région de Jerash, grâce aux mesures effectuées sur plusieurs sources alimentées par cet aquifère.

On a ensuite calculé la porosité et la perméabilité à l'aide d'essais de pompage et au laboratoire grâce au perméa-porosimètre à air.

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la porosité des grès est comprise entre 24.79 % et 25,03 % tandis que celles des grès dolomitiques est de l'ordre de 13,18 %.

Pour les grès, la perméabilité mesurée parallèlement au litage est égale à 8,63 darcy soit 2.24×10^{-7} m/s. tandis que la valeur de la perméabilité mesurée perpendiculairement est de l'ordre de 1.33 darcy soit $0,344 \times 10^{-7}$ m/s.

La perméabilité des grès dolomitiques calcareux est 0,0116 darcy = $0,628 \times 10^{-7}$ m/s.

La grande différence entre les valeurs de la perméabilité obtenue d'après les essais de pompage et les valeurs mesurées au laboratoire est due à l'effet de la porosité secondaire qui se développe dans les joints et les fissures.

8-2- INTERPRETATION DES ESSAIS DE POMPAGE

8-2-1- Rappel des équations

L'interprétation des essais de pompage a été faite suivant plusieurs méthodes.

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

Méthode de résolution graphique des formules de non équilibre :

$$\Delta = 0,183 \frac{Q}{T} \log \frac{2,25\ Tt\ (1)}{X\ 25}$$

ou de façon plus générale ;

$$\Delta = \frac{114,6Q}{T} W(u) \qquad (2)$$

où W (u) est la fonction du puits dans laquelle

$$u = \frac{1,87\ r^2 s}{Tt}$$

Nous avons calculé la transmissivité à partir des courbes de rabattement et de remontée par la formule d'approximation logarithmique de Theis Jacob.

Méthode graphique d'approximation logarithmique :

Plusieurs types de représentation graphique de la formule de non-équilibre existent, mais nous allons utiliser la droite : rabattement logarithmique du temps.

Il est évident que la formule (1) peut s'écrire :

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

C'est une fonction de la forme Y = a (log b + log x) dans laquelle la constante est déterminée par

a = 0,183 Q/T et les variables sont Y = Δ et logx = log t

La droite représentant cette fonction est obtenue en portant sur un diagramme semi-logarithmique en abscisses les logarithmies du temps t et en ordonnées les rabattements Δ . La constante a = 0,183 Q/T est donc déterminée par la tangente de cette courbe

$$0,183\ Q/T = \text{tang}\ x = \frac{S\Delta}{S \log t}$$

La valeur de $S\Delta/S$ log t est donnée par l'accroissement du rabattement Δ dans un cycle logarithmique c'est-à-dire un intervalle C séparant une valeur quelconque de t d'une valeur dix fois plus grande.

Dans ce cas logt = 1 et par conséquent

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

Donc

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

où T = transmissivité en m2/sec
Q = débit de pompage en m3/sec
C = coefficient angulaire de la droite.

On a calculé la transmissivité aussi à partir de la courbe de remontée, par la formule d'approximation logarithmique de Theis-Jacob.

$$\Delta = \frac{0,183\ Q}{T} \log t/t'$$

T = transmissivité en m2/s
Q = débit en m3/s
t = temps écoulé depuis le début du pompage
t' = temps écoulé depuis l'arrêt du pompage

Cette formule n'est valable que pour des valeurs de t et t' assez grandes.

Pour calculer T, il faut porter les données du pompage avec en abcisse les logarithmes de t/t' et en ordonnées pour un seul débit constant, les rabattements résiduels. Pour simplifier la formule

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

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

L'utilisation de la formule suppose que soient admises les hypothèses simplificatrices suivantes :

- nappe horizontale d'épaisseur constante
- régime d'écoulement non permanent

" Calcul du coefficient d'emmagasinement "

a) La valeur de (S) coefficient d'emmagasinement peut être calculée d'aprus la courbe de rabattement d'un piezomètre.

$$S = \frac{2,25 \times T \times to}{r\ 2}$$

S = coefficient d'emmagasinement
T = transmissivité en m2/sec
to = temps où le rabattement est égal à zéro en sec
r = distance entre le puits et le puits d'observation.

N'ayant qu'un seul puits d'observation dans notre région au voisinage du puits 17 B dans la région de Baqa on a essayé de calculer le coefficient d'emmagasinement par d'autres méthodes.

b) Dans le cas général, en choisissant un point arbitraire sur la droite représentative, et en introduisant ses coordonnées et t dans la formule (1) on a puisque

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

$$\Delta = C \log 2,25\ \frac{Tt}{S} \quad \text{(pour les puits pompé)}$$

où S est la seule inconnue car on suppose x = 1 m

8-2-2- Calcul de T, S et interprétation des courbes

Pour chaque puits par l'approximation de Jacob et Theis.

8-2-2-1- Les forages dans la région de Baqa

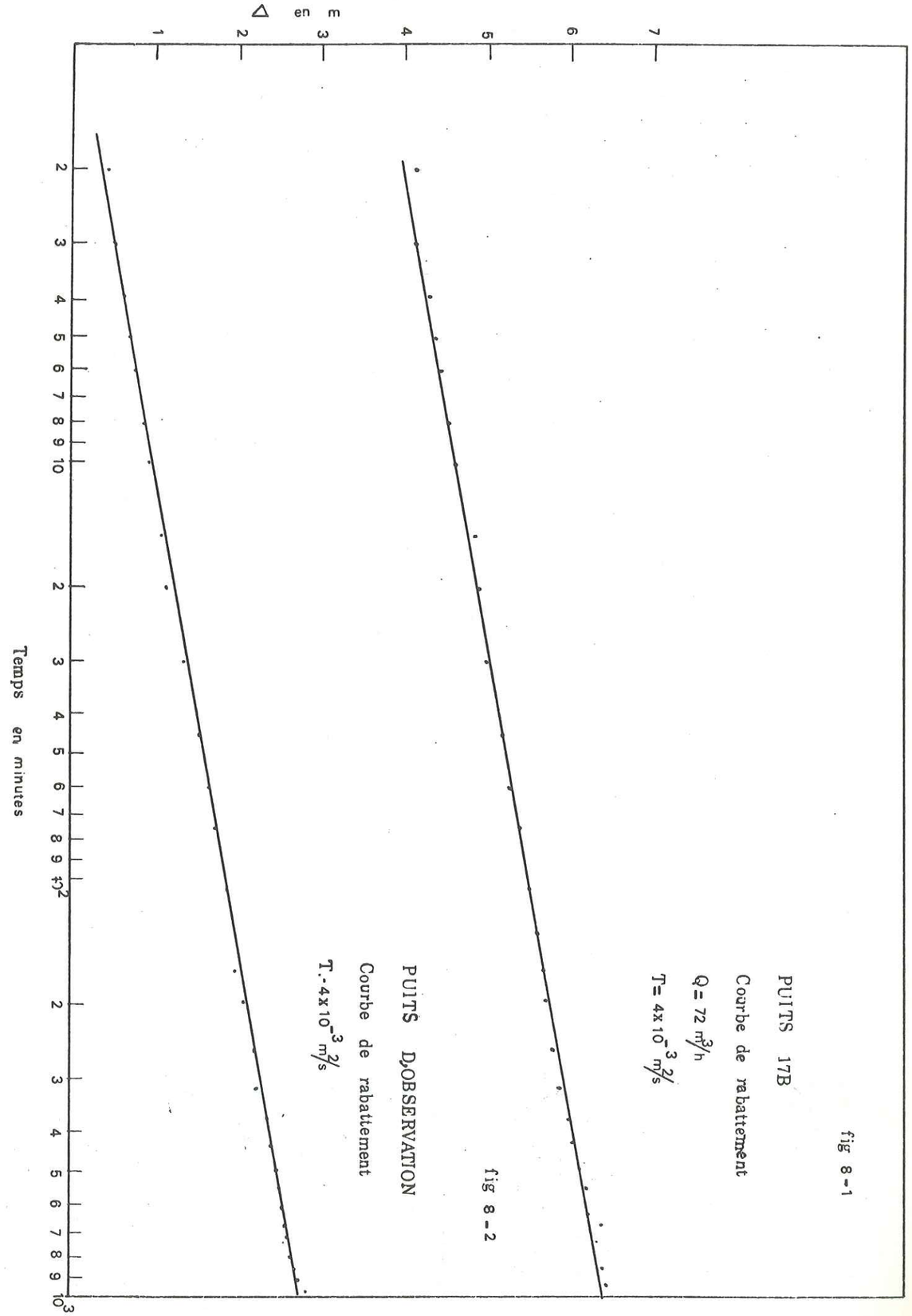
8-2-2-1-1- Puits n° 17. Il y a un puits d'observation au voisinage de ce puits a la distance de 10 m. Pendant l'essai de pompage sur le puits n° 17 avec un débit constant, on a mesuré simultanément les niveaux de l'eau dans les deux puits, pendant le rabattement et on a calculé les valeurs de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement d'après les courbes de rabattement obtenues.

Pour le puits pompé n° 17 sur la courbe de rabattement (figure 8-1), on a

C = 0,9 m
Q = 72 m3/h = 0,02 m3/sec

$$T = \frac{0,183 \times Q}{C} = \frac{0,183 \times 0,02}{0,9}$$

$$T = 4,06 \times 10^{-3} \text{ m2/sec}$$



Pour le puits d'observation situé à 10 m du puits pompé, sur la courbe de rabattement (Figure 8-2) on a

$C = 0,9$ m
$Q = 72$ m3/h $= 0,02$ m3/s.
$T = \frac{0,183 \times Q}{C} = \frac{0,183 \times 0,02}{0,9}$
$T = 4,06 \times 10^{-3}$ m2/s.

D'après les deux courbes de rabattement du puits pompé et du puits d'observation, les pertes de charge sont de l'ordre de 3,5 m pour les premières minutes, puis les pertes de charge sont constantes comme dans le puits d'observation.

L'aquifère a une influence dans notre forage comme celui du puits d'observation après la première minute de pompage. Les pertes de charges dans le puits sont constantes pendant l'essai de pompage. A partir de la courbe de rabattement du puits d'observation, on a calculé le coefficient d'emmagasinement.

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

avec
$T = 4,06 \times 10^{-3}$
$r = 10$ m
$to = 50$ sec
$S = 0,45$ %

Cette valeur est très faible car pour la première minute il y avait un rabattement dû aux pertes de charge.

On a donc essayé de calculer le coefficient d'emmagasinement à partir d'un point arbitraire de la courbe de rabattement du puits 17 a par l'application de la formule $\Delta = c \log 2,25\ T\ t/s$.

$S = 0,38$ %

Les deux valeurs de la transmissivité T sont très faibles.

8-2-2-1-2- Le puits n° 33 : les valeurs de la transmissivité T ont été calculées à partir de la courbe de rabattement (figure 8-3). Sur cette courbe, on distingue deux étapes.

- première étape

$C1 = 7,2$
$Q = 40$ m3/h $= 0,011$ m3/s.
$T1 = \frac{0,183 \times 0,011}{7,2} = 0,00028$
$T1 = 0,28 \times 10^{-3}$ m3/s.

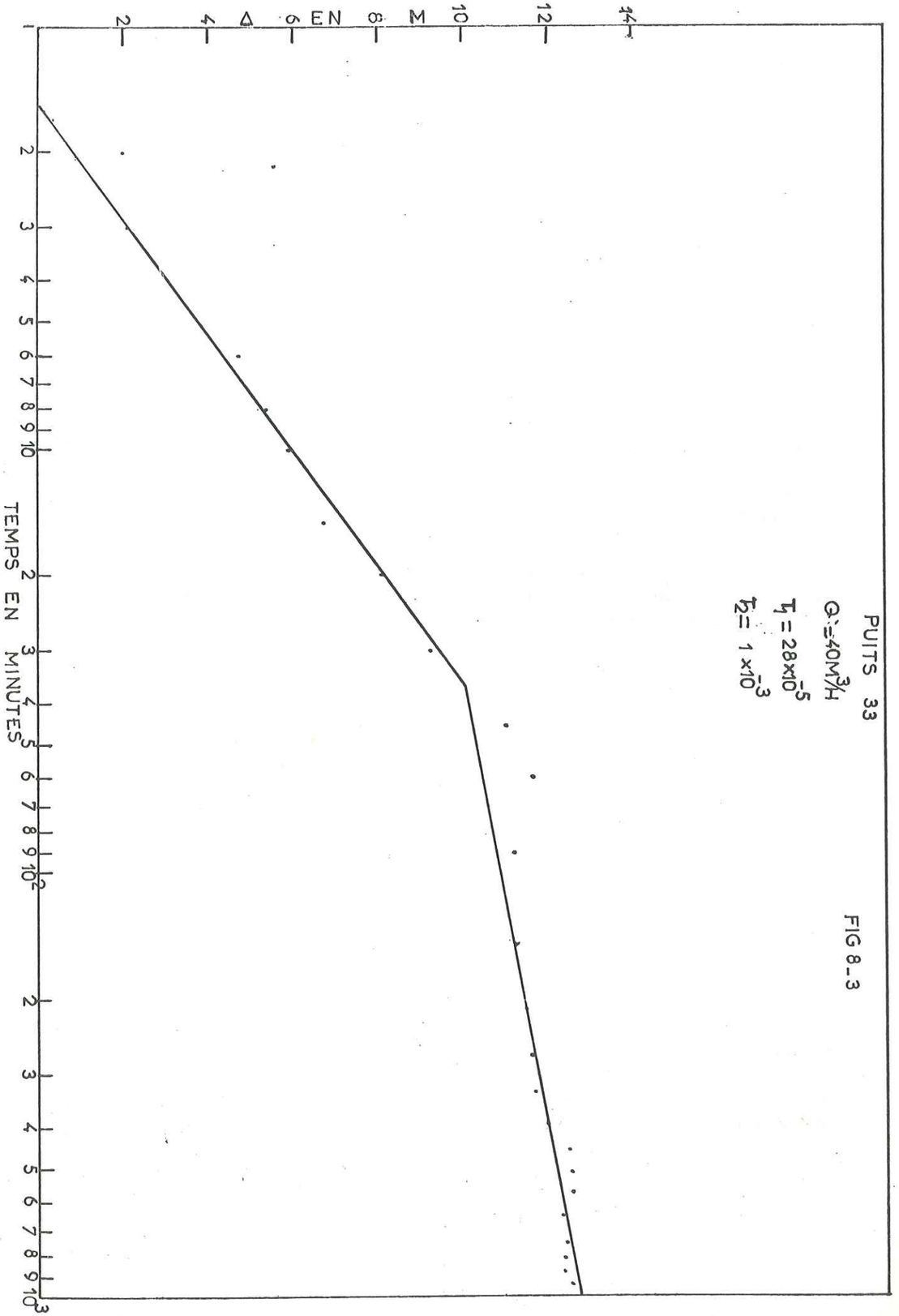


FIG 8-3

- Deuxième étape

C2 = 1,9 m
Q = 40 m3/h = 0,011 m3/s.
$T2 = \frac{0,183 \times 0,011}{1,9} = 1,07 \times 10^{-3}$ m2/s.

A partir de la courbe de rabattement, on remarque que :

- il y a des pertes de charge pendant les premières minutes de pompage.
- on peut conclure qu'il y a un phénomène de drainance provenant d'un aquifère trouvé à la profondeur de 93 m (le niveau d'eau de la nappe profonde se trouve à la profondeur de 142 m). La drainance a commencé 45 minutes après le début du pompage où le rabattement est environ 11 m. à cause de la diminution de la pression d'eau.

8-2-2-1-3- Puits n°29. Les valeurs de la transmissivité (T) ont été calculées à partir de la courbe de rabattement - Figure 8-4 -. Sur cette courbe on peut déterminer deux étapes.

- Première étape avec

C1 = 2,55 m
Q = 45 m3/h = 0,0125 m3/s
$T1 = \frac{0,183 \times 0,0125}{2,55} = 0,8 \times 10^{-3}$ m2/s.

- Deuxième étape avec

C2 = 0,4 m
Q = 45 m3/h = 0,0125 m3/s.
$T2 = \frac{0,183 \times 0,0125}{2,55}$
$T2 = 5,7 \times 10^{-3}$ m2/s.

Dans ce forage, on a rempli de graviers tout l'espace annulaire entre le tubage du puits et le terrain adjacent, c'est-à-dire que l'on a réalisé un filtre de gravier pour éviter l'entrée de sable du terrain adjacent dans le tubage. Les valeurs de la transmissivité obtenue à partir de la courbe de rabattement sont différentes

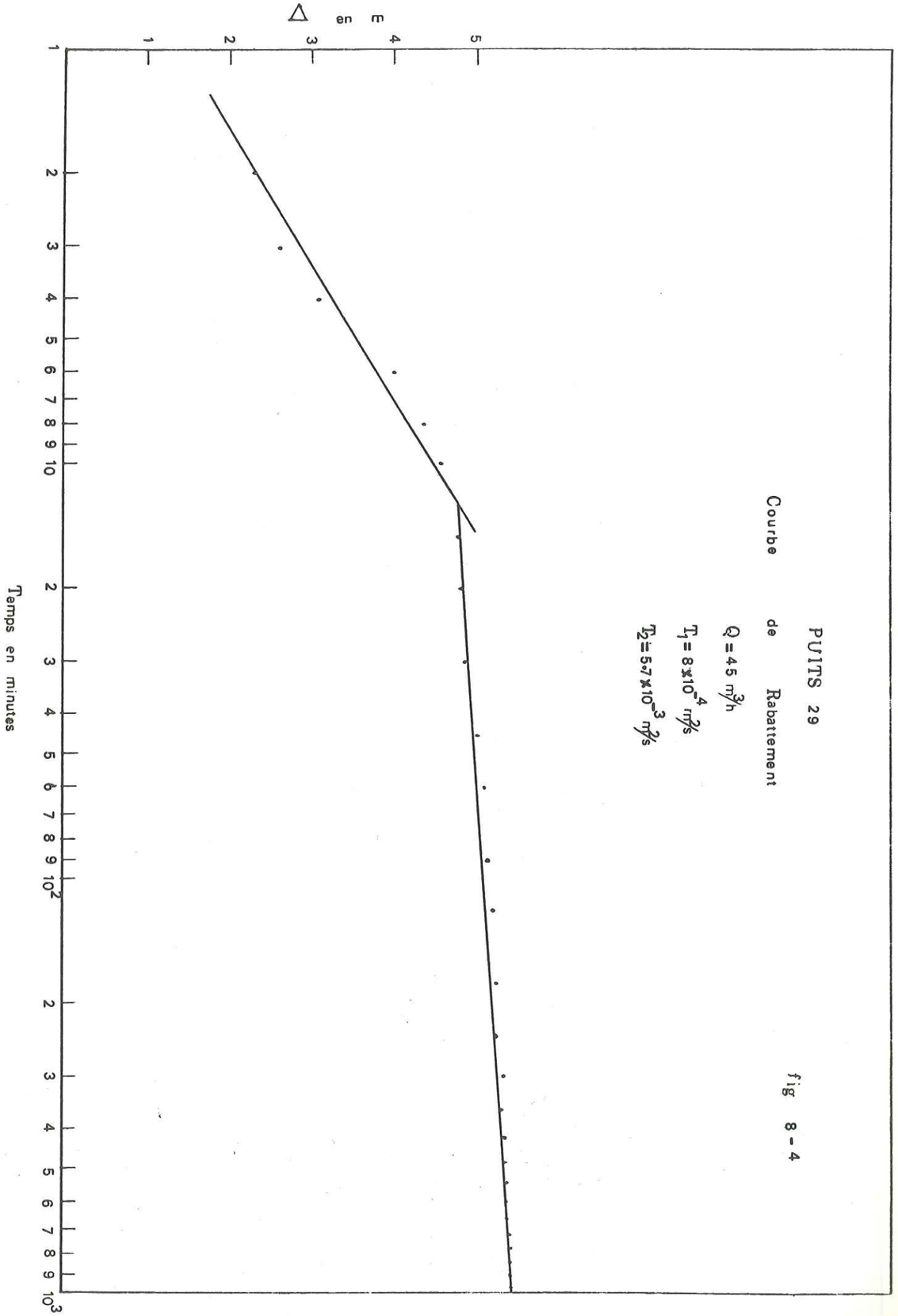


fig 8-4

il y a des pertes de charge normales, mais grandes jusqu'à 12 minutes après le début de pompage. Ceci peut s'expliquer par l'existence du filtre de gravier dans ce forage. Les deux valeurs de la transmissivité peuvent indiquer que l'aquifère a une perméabilité loin du forage plus forte que la perméabilité près du forage et que celle du filtre de gravier.

8-2-2-1-4- Le puits 34 a. Les valeurs de la transmissivité (T) ont été calculées à partir de la courbe de remontée et de la courbe de rabattement - Figure 8-5 -

A partir de la courbe de rabattement. Sur cette courbe on peut distinguer deux étapes :

- Première étape avec

C1 = 3,7 m =
Q = 23 m3/h = 0,0063 m3/sec.

$$T1 = \frac{0,183 \times Q}{C1}$$

$T1 = 0,31 \times 10^{-3}$ m2/s

- Deuxième étape avec

C2 = 4,3 m
Q = 23 m3/h = 0,0063 m3/sec.

$$T2 = \frac{0,183 \times Q}{C2}$$

$T2 = 0,26 \times 10^{-3}$ m2/s.

Valeurs de T obtenues par la courbe de remontée - Figure 8-6 -
Sur cette courbe on peut distinguer trois étapes :

- Première étape avec

C1 = 13,5 m
Q = 23 m3/h = 0,0063 m3/s.

$$T1 = \frac{0,183 \times 0,0063}{13,5} = 0,0000866 \text{ m2/s}$$

$T1 = 0,086 \times 10^{-3}$ m2/s.

- Deuxième étape avec

C2 = 33,6 m
Q = 23 m3/h = 0,0063 m3/s

$$T2 = \frac{0,183 \times 23}{33,6 \times 3600} = 0,0000347 \text{ m2/s.}$$

$T2 = 0,0347 \times 10^{-3}$ m2/s.

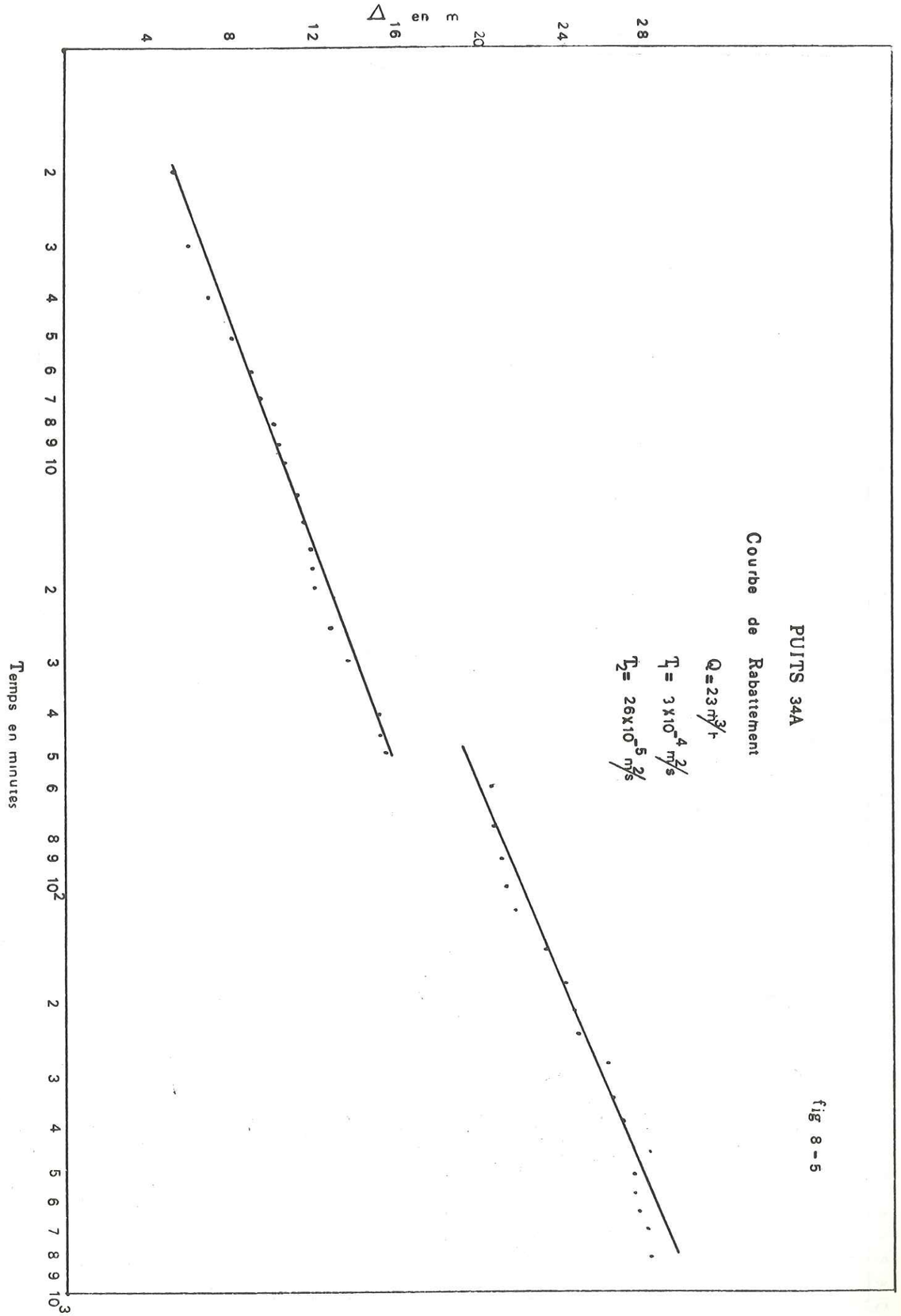


fig 8-5

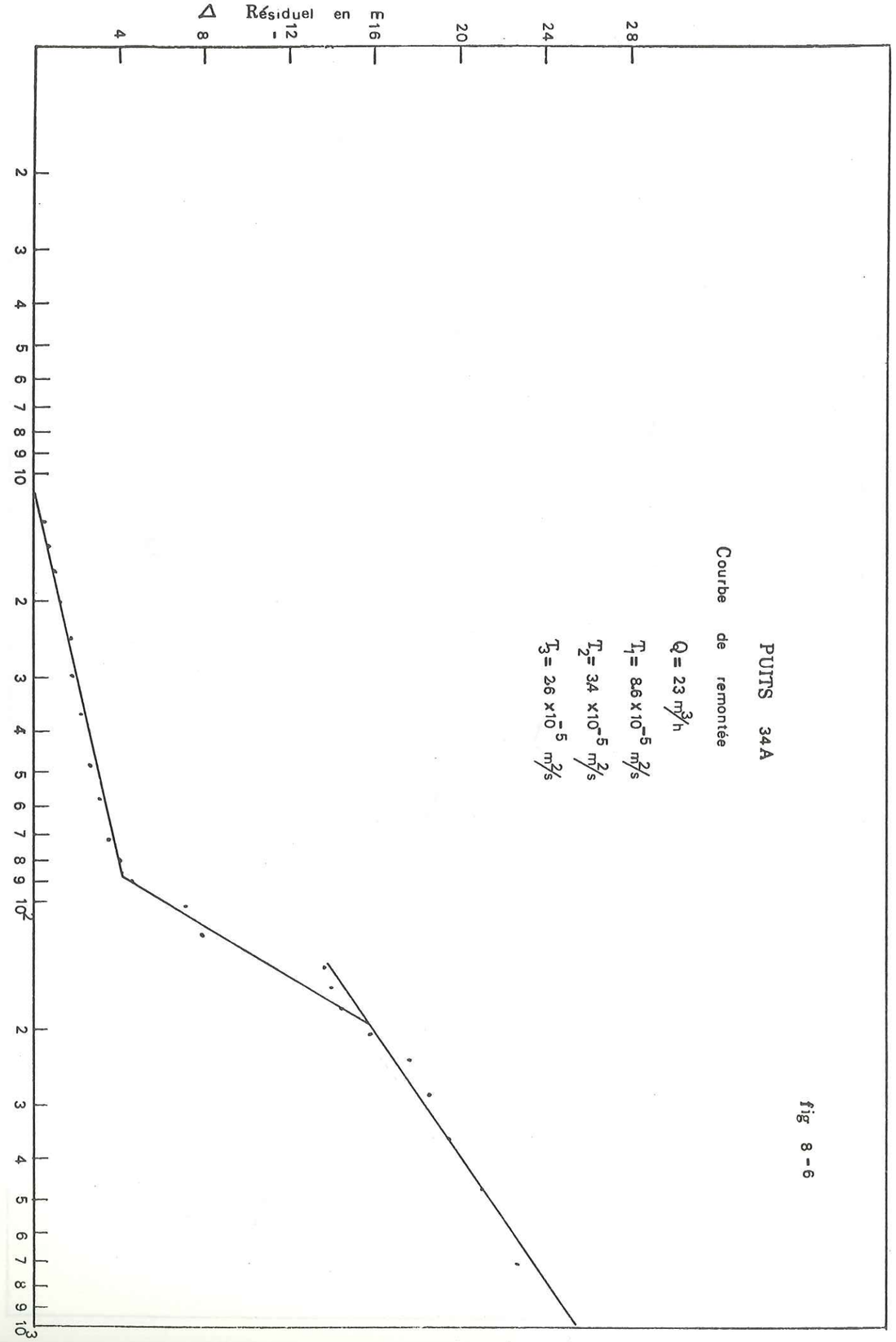


fig 8-6

- Troisième étape avec

C3 = 4,5 m
Q = 23 m3/h = 0,00638 m2/s.

$$T3 = \frac{0,183 \times 0,00638}{4,5}$$

$$T3 = 0,259 \times 10^{-3} \text{ m2/s.}$$

Si on excepte les fluctuations des niveaux d'eau pendant l'essai de pompage, il existe un phénomène de drainage qui apparaît à la quinzième minute après le commencement du pompage. Ce phénomène commence a être visible quand nous avons un abaissement du niveau d'eau d'environ 16 mètres. 280 minutes après le commencement du pompage, une alimentation de notre aquifère par une autre source d'alimentation constante a commencé. On a provoqué un abaissement du niveau d'eau d' environ 28 mètres.

8-2-2-1-5- Le puits n° 36 . Dans ce forage il y avait un filtre de gravier entre le tubage et le terrain adjacent pour éviter l'entrée du sable dans le tubage.

Les valeurs de la transmissivité ont été calculées à partir de la courbe de rabattement et de la courbe de remontée.

Sur la courbe de rabattement on distingue deux étapes - figure 8-7 avec des valeurs différentes de T

- Première étape avec

C1 = 2,4 m
Q = 56 m3/h = 0,0155 m3/s.

$$T1 = \frac{0,183 \times 0,0155}{2,4}$$

$$T1 = 1,18 \times 10^{-3} \text{ m2/s.}$$

- Deuxième étape avec

C2 = 0,2 m
Q = 56 m3/h = 0,0155 m3/s.

$$T2 = \frac{0,183 \times 0,0155}{0,2}$$

$$T2 = 14,18 \times 10^{-3} \text{ m2/S}$$

Pour la courbe de remontée, on a une seulé étape
Figure 8-8

C = 0,77
Q = 56 m3/h = 0,0155 m3/s.

$$T = \frac{0,183 \times 0,0155}{0,77} = 0,00369 \text{ m2/s.}$$

$$T = 3,69 \times 10^{-3} \text{ m2/s.}$$

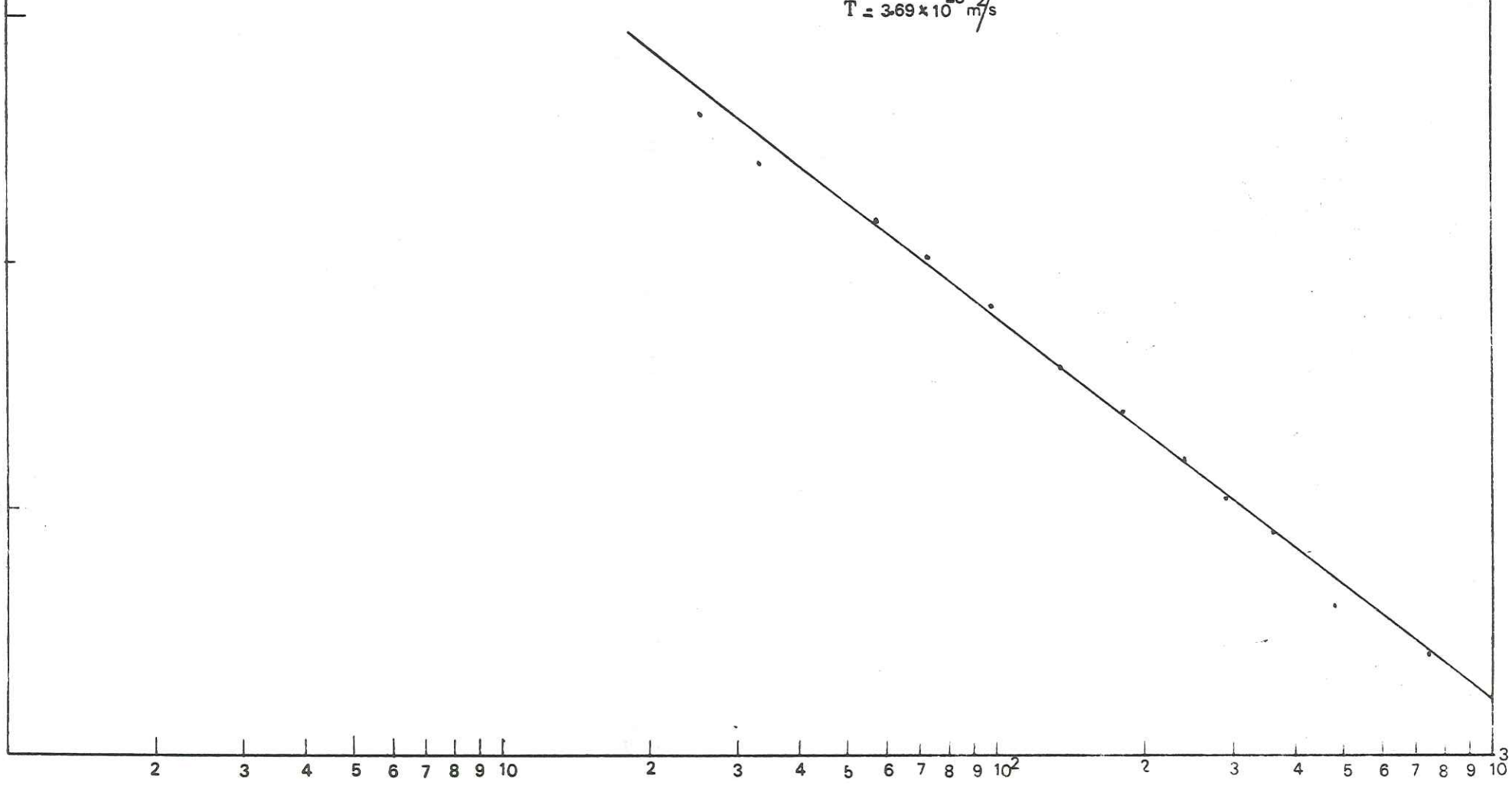
fig 8 - 8

PUITS 36

Courbe de remontée

$Q = 56\ m^3/h$

$T = 3.69 \times 10^{-3}\ m^2/s$



PUITS 36

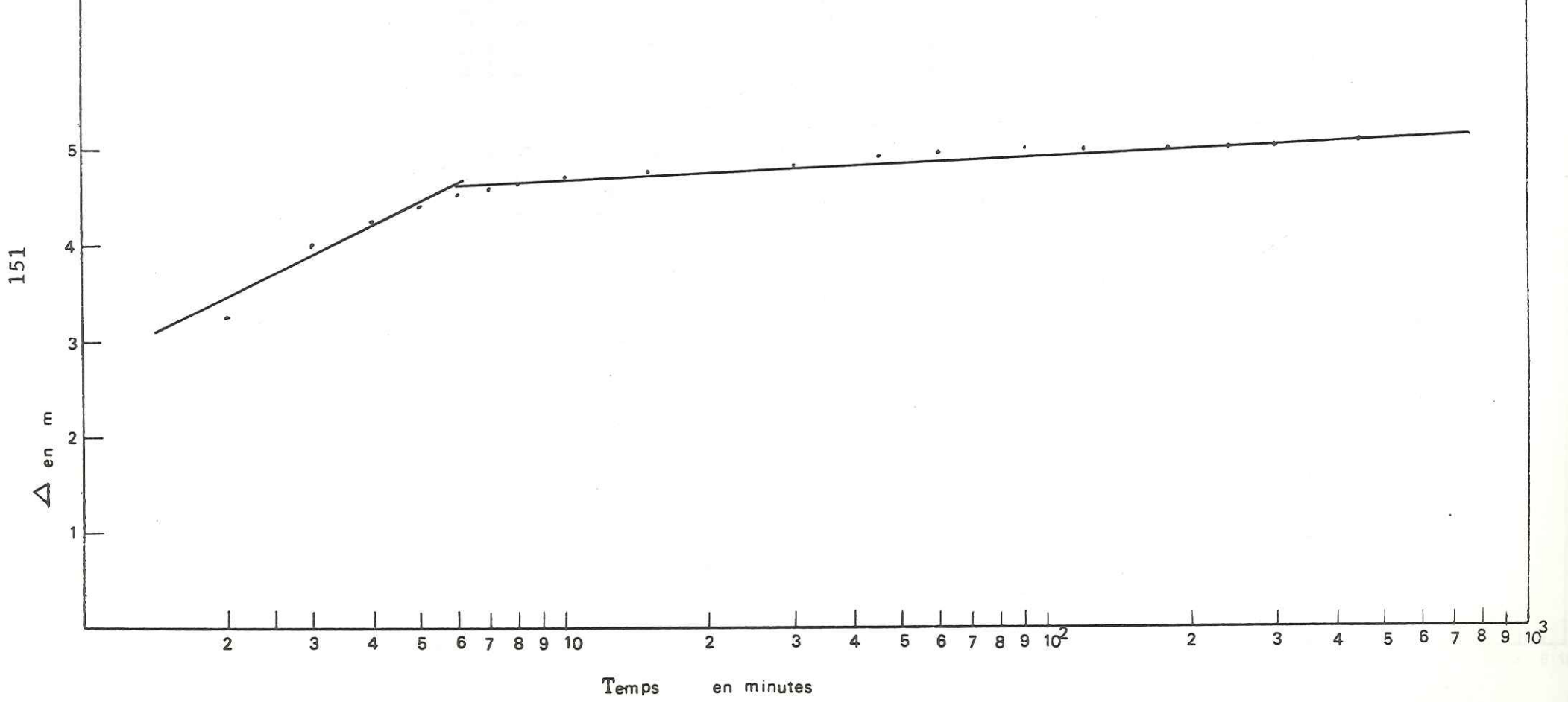
fig 8 - 7

Courbe de rabattement

$Q = 56\ m^3/h$

$T_1 = 1.18 \times 10^{-3}\ m^2/s$

$T_2 = 14 \times 10^{-3}\ m^2/s$



A partir des deux courbes et différentes étapes on a obtenu des valeurs différentes de la transmissivité. Pour la courbe de rabattement, 1 minute après le commencement du pompage il y a une perte de charge d'environ 2,65 m et on distingue deux valeurs différentes de T qui indiquent que près de ce forage la valeur de T est petite tandis qu'elle devient plus grande loin de ce forage. La distance où se trouve la limite de l'aquifère riche a été calculée par la formule suivante :

$$R = \sqrt{\frac{Tt}{S}} \times 1,5$$

T = transmissivité
t = temps ou intervient le changement de transmissivité
S = coefficient d'emmagasinement
R = distance

$$R = \sqrt{\frac{1,18 \times 10^{-3} \times 360}{0,0045}} \times 1,5$$

$$= 15 \text{ m}$$

La présence du filtre de gravier dans ce forage provoque des pertes de charge et diminue la perméabilité de l'aquifère près du forage.

8-2-2-1-6- Le puits n° 37 . Sur la courbe de remontée après l'essai de pompage, on distingue deux étapes - figure 8-9

- Première étape avec

C1 = 11 m
Q = 62 m3/h = 0,0172 m3/s.

$$T1 = \frac{0,183 \times 0,0172}{11^{-3}}$$

$$T1 = 0,2 \times 10^{-3} \text{ m2/s.}$$

- Deuxième étape avec

C2 = 2,15 m
Q = 62 m3/h = 0,0172 m3/s.

$$T2 = \frac{0,183 \times 0,0172}{2,15^{-3}}$$

$$T2 = 1,4 \times 10^{-3}$$

Sur la courbe de rabattement - figure 8-10, on distingue 3 étapes :

- Première étape avec

C1 = 6,7 m

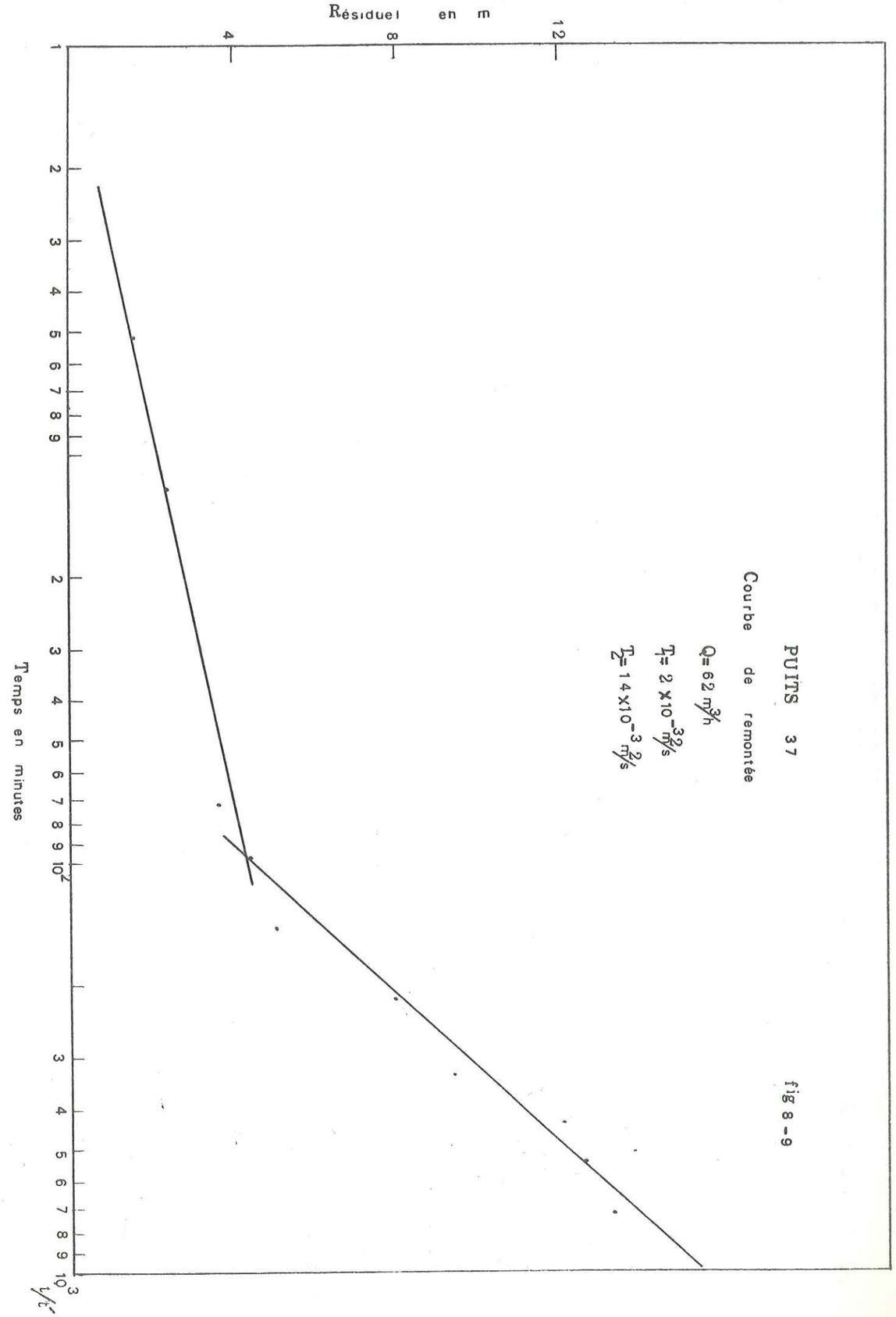


fig 8-9

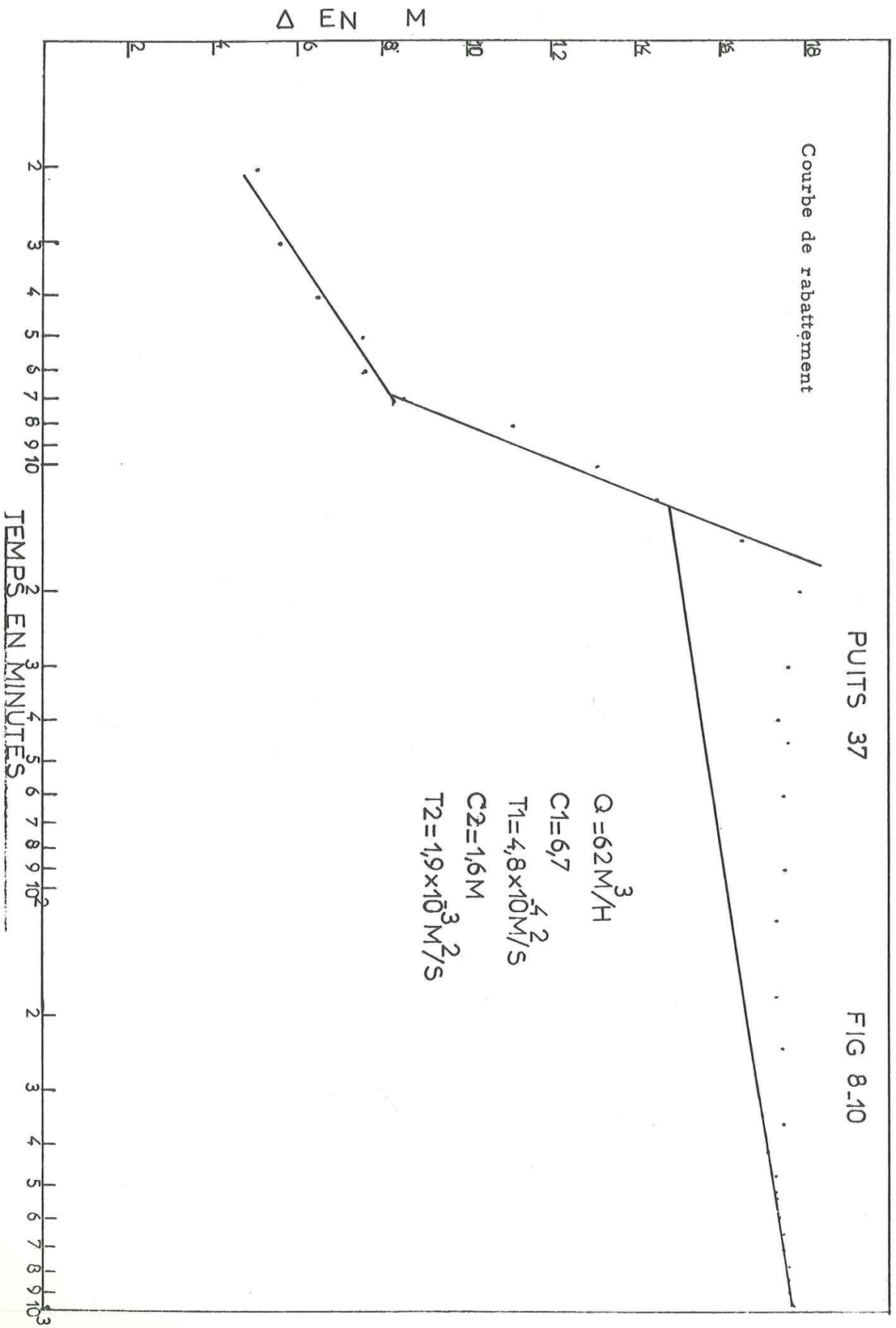


FIG 8-10

Q = 62 m3/h = 0,0172 m3/s.

$T1 = \frac{0,183 \times 0,0172}{6,7} = 4,8 \times 10^{-4}$ m2/s.

- Deuxième étape avec: C_2 très élevé et on n'a pas calculé la valeur de T_2

- Troisième étape avec :

C3 = 1,6 m
Q = 62 m3/h = 0,0172 m2/s.

$T3 = \frac{0,0183 \times 0,0172}{1,6\ m}$

$T3 = 1,9 \times 10^{-3}$ m2/s.

D'après la courbe de rabattement, on peut constater qu'il y avait des pertes de charges anormales pendant le pompage entre les 12ème et 15 ème premières minutes de pompage.

Il se produit un développement dans le puits pendant la durée du pompage et on peut le voir très bien à partir de la 15 ème minute sur la courbe de rabattement.

Les valeurs de la transmissivité sont bonnes sur la courbe de rabattement à partir de la 20ème minute car on dépasse le temps de grande influence des pertes de charge.

8-2-2-1-7- Le puits n° 16. Pour ce forage on a calculé les valeurs de la transmissivité à partir de la courbe de rabattement. Sur cette courbe, on a deux étapes (Figure 8-11)

- Première étape avec

C1 = 6,9 m
Q = 60 m3/h = 0,0166 m3/s.

$T1 = \frac{0,183 \times 0,0166}{6,9} = 0,4 \times 10^{-3}$ m2/s

- Deuxième étape avec

C2 = 1,9 m
Q = 60 m3/h = 0,0166 m3/s.

$T2 = \frac{0,183 \times 0,0166}{1,9}$

$T2 = 1,6 \times 10^{-3}$ m2/s.

La courbe de rabattement montre qu il y a des pertes de charges anormales pour la première minute qui donne un rabattement de 3,5 m

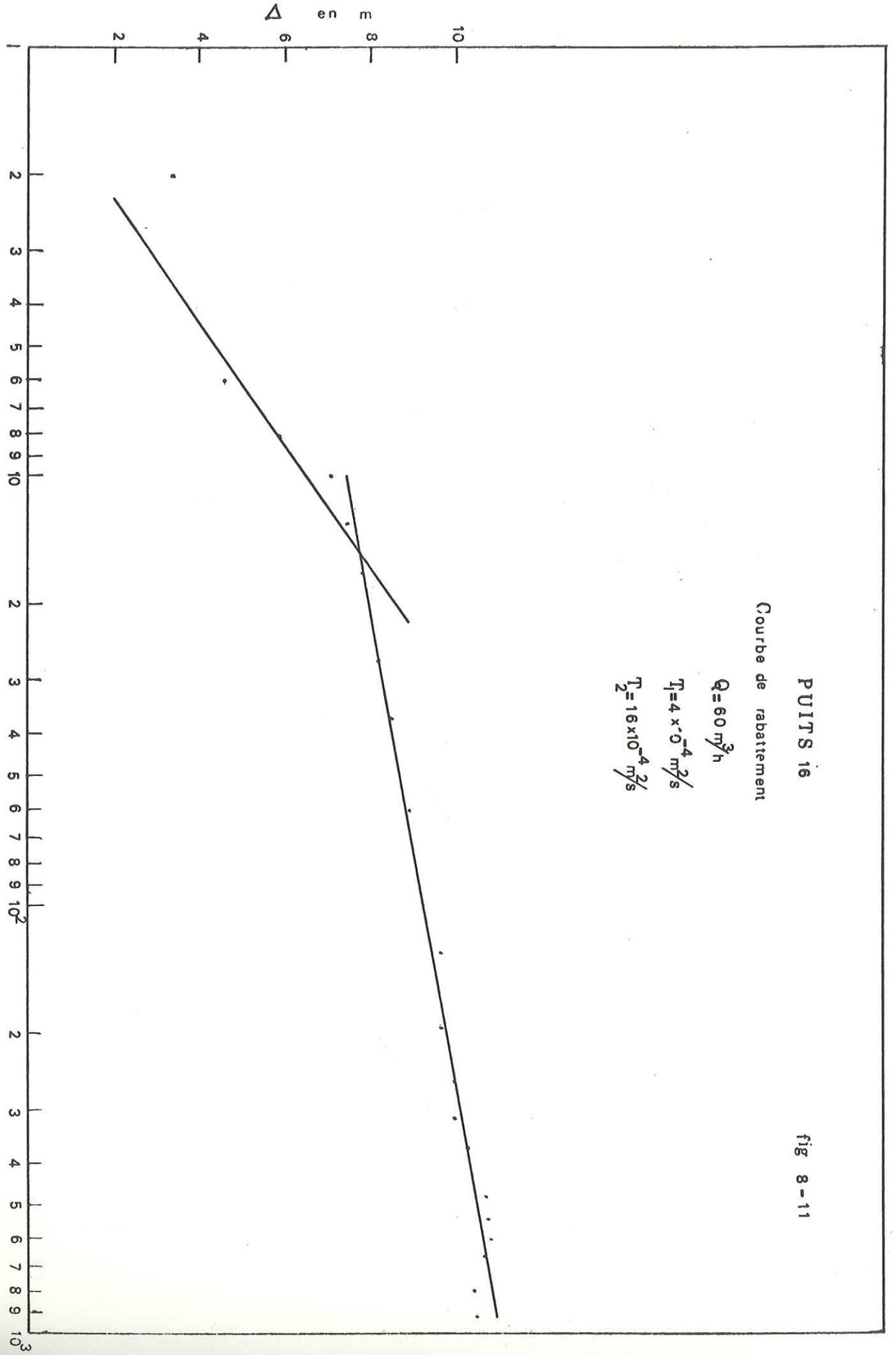


fig 8-11

Entre la première et la dixième minute après le commencement pompage, il n'y a presque plus de pertes de charge et le puits donne toute l'eau que peut fournir l'aquifère en fonction de la transmissivité réelle.

8-2-2-1-8- Le puits n° 17a : Pour ce forage, on a calculé les valeurs de la transmissivité à partir de la courbe de rabattement et de la courbe de remontée.

La valeur de T obtenue par la courbe de remontée
Figure 8-12

Sur cette courbe on a une seule étape avec :

C = 1,44 m
Q = 60 m3/h = 0,0166 m3/s.
$T = \frac{0,183 \times 0,0166}{1,44} = 0,0021$ m2/s
$T = 2,1 \times 10^{-3}$ m2/s.

La valeur de T obtenue par la courbe de rabattement
Fig. 8-13

C = 8,5
Q = 60 m3/h = 0,0166 m3/s.
T = 0,183 x 0,0166 = 0,0035 m2/s.
$T = 3,5 \times 10^{-3}$ m2/s.

D'après les courbes de rabattement et de remontée, on peut constater que pour les deux premières minutes il y avait une perte de charge normale d'environ 2 m. Pendant l'essai de pompage les pertes de charge étaient constantes.

8-2-2-1-9- Puits n° 43 . Les valeurs de la transmissivité ont été calculées par les courbes de rabattement et de remontée.

Valeur de la transmissivité par la courbe de rabattement
Sur la courbe de rabattement on a une seule étape avec (figure 8-14.)

C = 0,85 m
Q = 80 m3/h = 0,0222 m3/s.
$T = \frac{0,183 \times 0,022}{0,85}$
$T = 4,7 \times 10^{-3}$ m2/s.

Valeur de la transmissivité par la courbe de remontée (Figure 8-15)

Sur cette courbe on a deux étapes :

PUITS 17a

fig 8-13

Courbe de rabattement

$Q = 60 m^3/h$

$T = 35 \times 10^{-4} m^2/s$

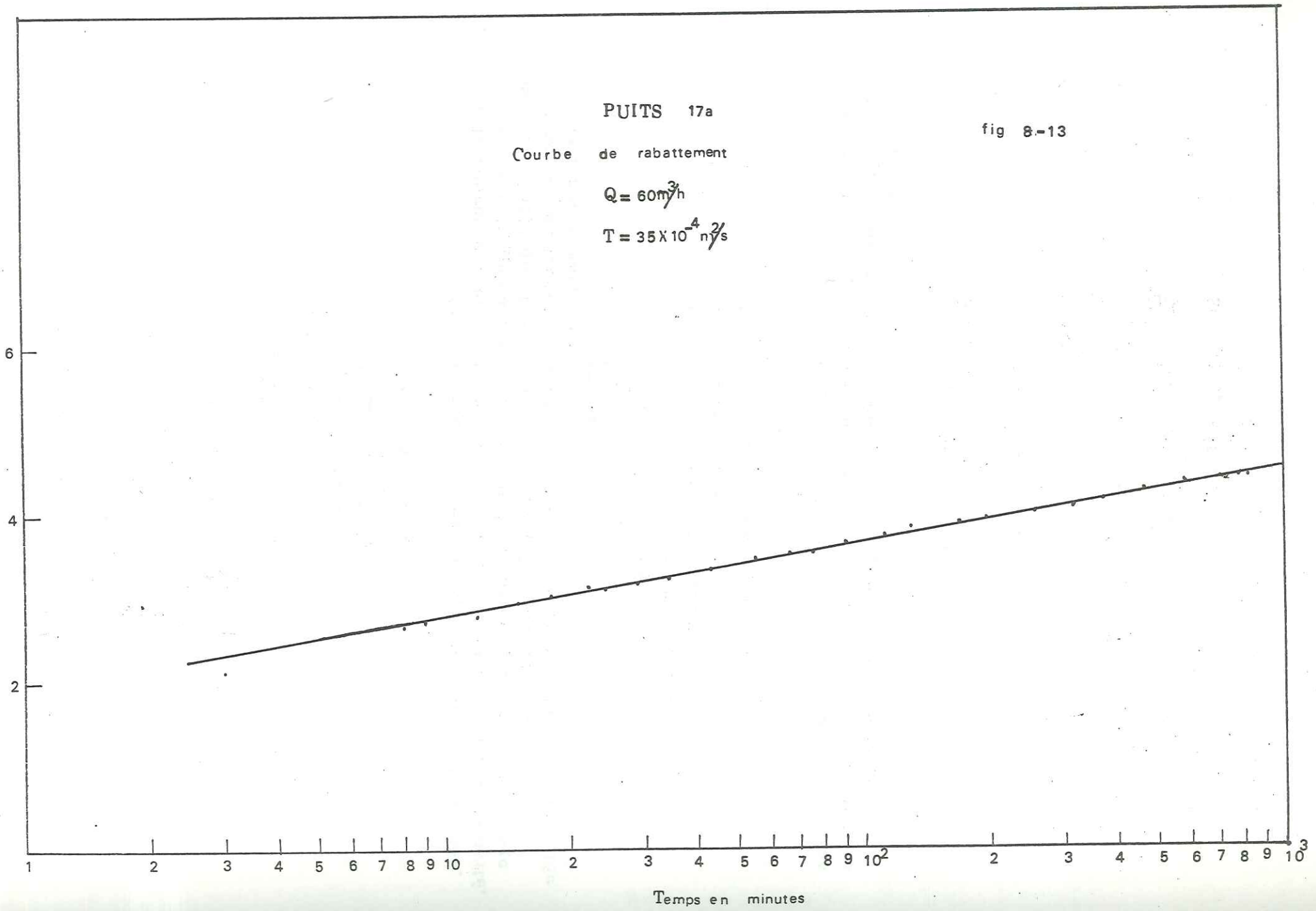


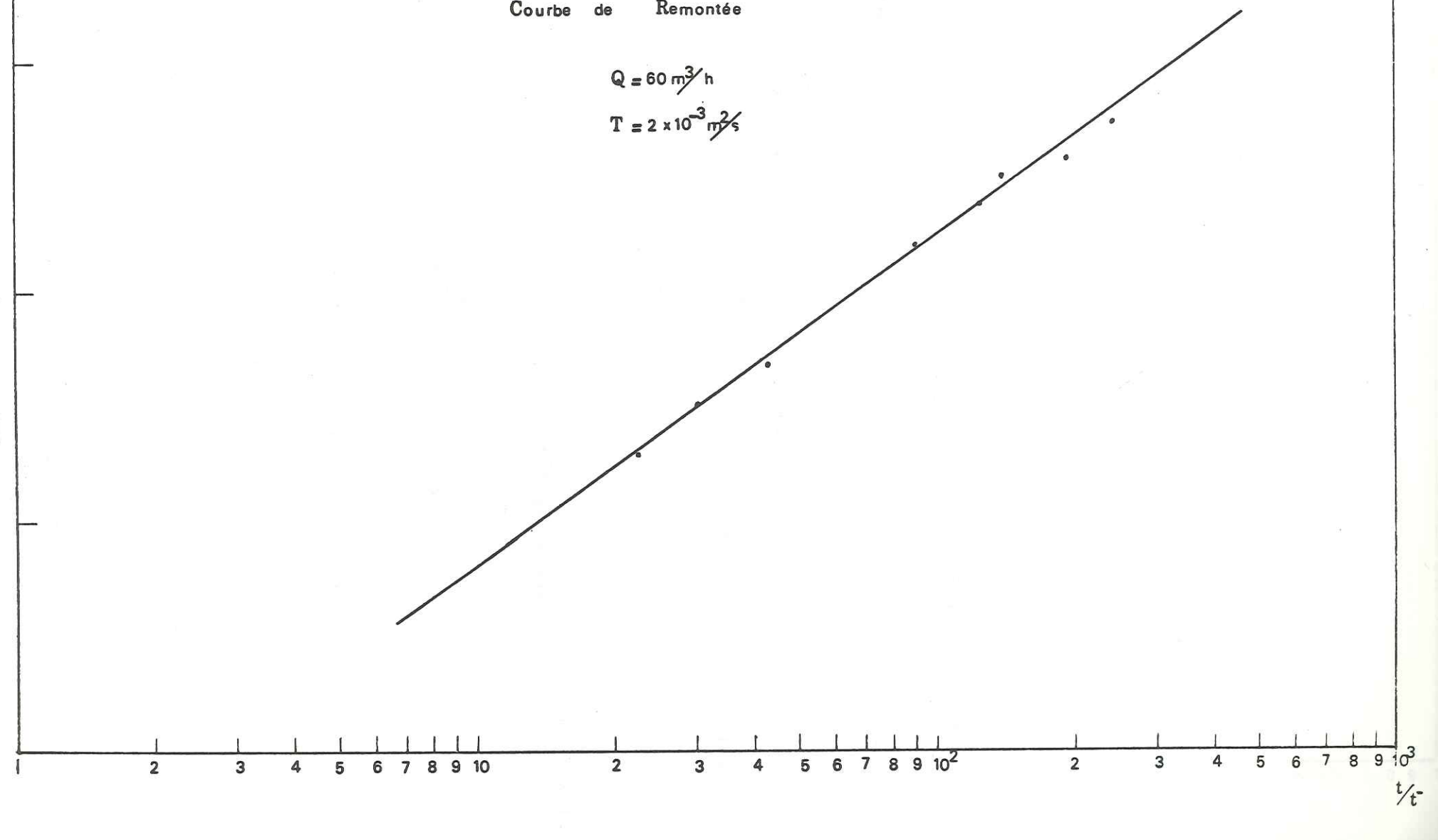
fig 8-12

PUITS 17a

Courbe de Remontée

$Q = 60 m^3/h$

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



- Première étape avec :

C1 = 0,56 m
Q = 80 m3/h = 0,0222 m3/s.

$$T1 = \frac{0,183 \times 0,0222}{0,65}$$

$$= 7,26 \times 10^{-3} \text{ m2/s.}$$

- Deuxième étape avec :

C2 = 0,81
Q = 0,0222 m3/s.

$$T2 = \frac{0,183 \times 0,0222}{0,85}$$

$$T2 = 5 \times 10^{-3} \text{ m2/s.}$$

On remarque que les valeurs obtenues sont proches. Sur la courbe de remontée, on a obtenu deux valeurs de la transmissivité, ce qui peut s'expliquer par le fait que la transmissivité près du forage est plus faible que loin du forage où l'aquifère est plus riche. La distance où se trouve la limite de l'aquifère le plus riche a été calculée par la formule suivante :

$$R = \sqrt{\frac{T\ t}{S}} \times 1,5$$

T = transmissivité en m2/s.
t = temps de changement en seconde
S = coefficient d'emmagasinement
R = distance en m

$$R = \sqrt{\frac{7,26 \times 10^{-3} \times 1800}{0,0095}} \times 1,5 = 56 \text{ m}$$

La limite de l'aquifère riche se trouve à 56 mètres de notre forage (peut etre zone fracturée). On a calculé le coefficient d'emmagasinement à l'aide d'un point arbitraire A. Les coordonnées de ce point sont :

t = 100 minutes = 5000 sec.
Δ = 3,5 m

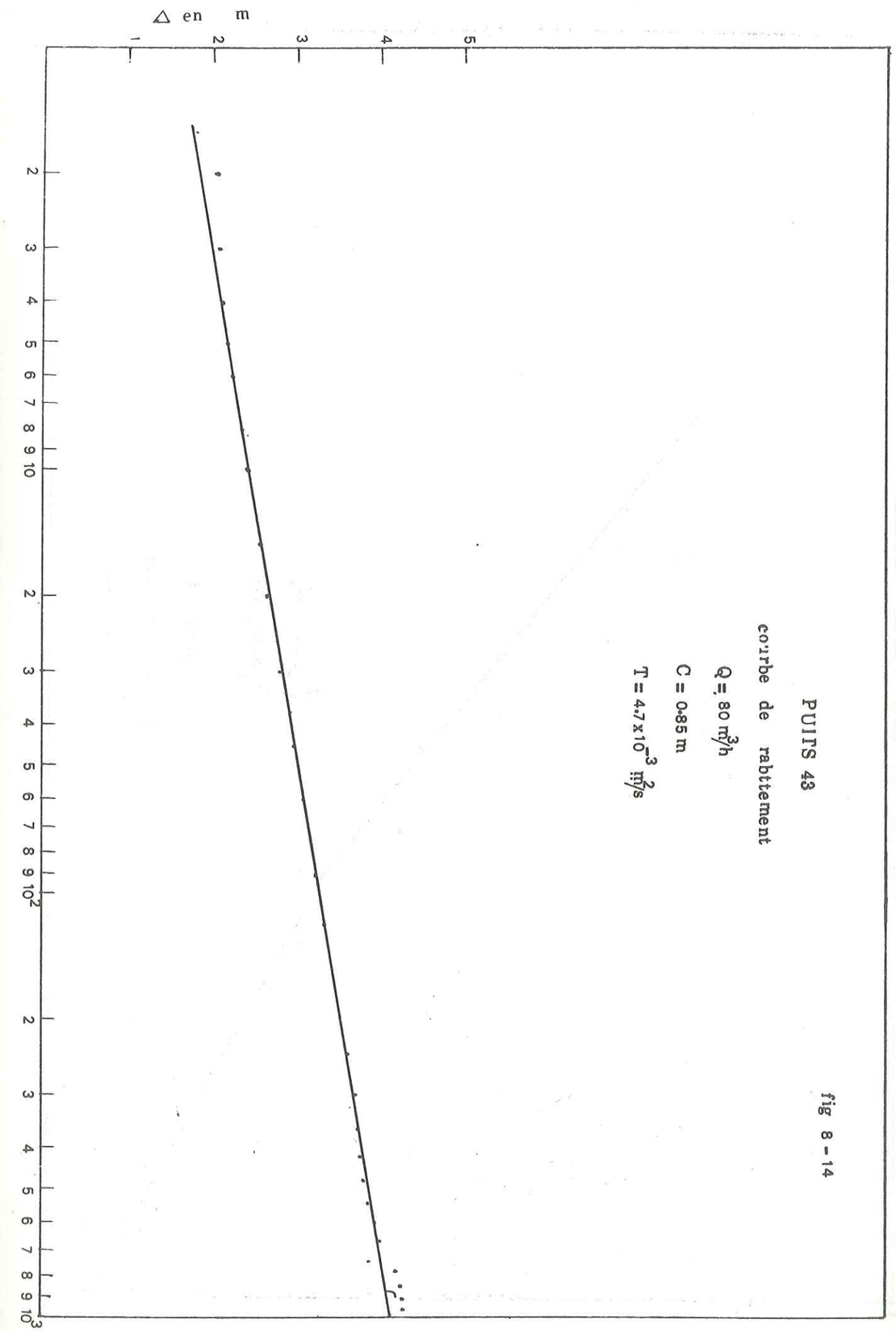
En appliquant la formule

$$\Delta = C \log 2,25\ T\ t\ /\ S.$$

On a

$$\frac{\Delta}{C} = \log 2,25\ T\ t/S.$$

Si $\log 2,25\ T\ t/S = x$



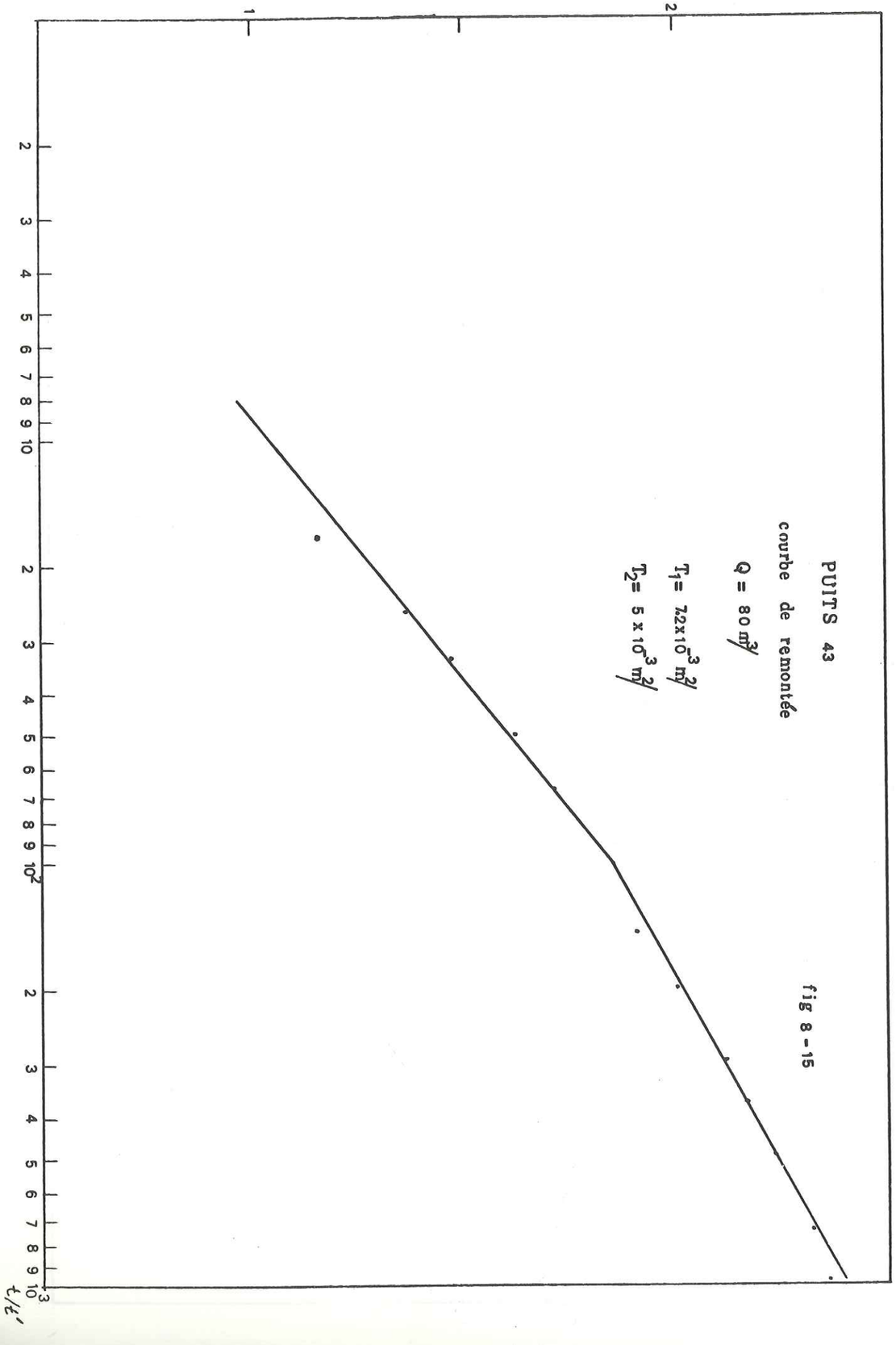


fig 8 - 15

$$\frac{\Delta}{C} = \log x = 4,117$$

$x = 6660$

$$S = \frac{2,25\ T\ t}{660}$$

$= 0,958\ \%$ 1 %

8-2-2-2- Les forages dans la région de Jerash

8-2-2-2-1- Les forages sur les calcaires.

8-2-2-2-1-1- Le forage n° J1 : (Gharabeh)

Les valeurs de la transmissivité pour ce forage ont été calculées à partir des courbes de rabattement et de remontée.

Courbe de rabattement (Figure 8-16)

Sur cette courbe on ne distingue qu'une seule étape avec :

$C = 0,47$
$Q = 110$ m3/h $= 0,0305$ m3/s.

$$T = \frac{0,183 \times 0,0305}{0,47}$$

$T = 11 \times 10^{-3}$ m2/s.

Courbe de remontée (Figure 8-17)

Sur cette courbe on a deux étapes

- Première étape

$C1 = 5$ m
$Q = 110$ m3/h $= 0,0305$ m3/s.

$$T1 = \frac{0,183 \times 0,0305}{5}$$

$= 1.1 \times 10^{-3}$ m2/s.

- Deuxième étape avec

$C2 = 0,6$ m
$Q = 110$ m3/h $= 0,0305$ m3/s

$$T2 = \frac{0,183 \times 0,0305}{0,6}$$

$T2 = 10 \times 10^{-3}$ m2/s.

On ne tient pas compte de la valeur de la transmissivité obtenue à partir de la courbe de rabattement car on a eu des oscillations du niveau de l'eau pendant l'essai de rabattement

PUITS j1

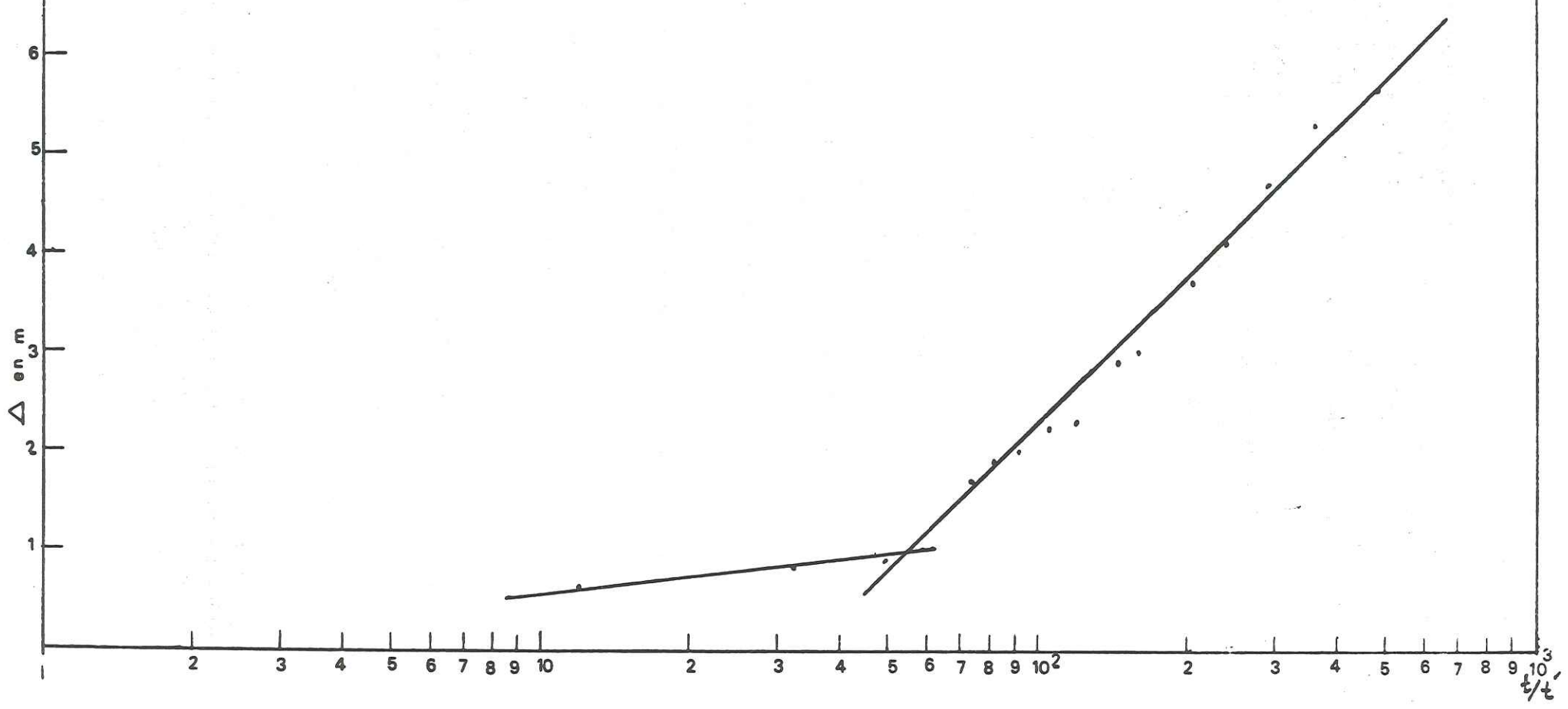
Courbe de remontée

fig 8 - 17

$Q = 110\ M^3/h$

$T_1 = 11 \times 10^{-3}\ M^2/s$

$T_2 = 10 \times 10^{-3}\ M^2/s$



PUITS J1

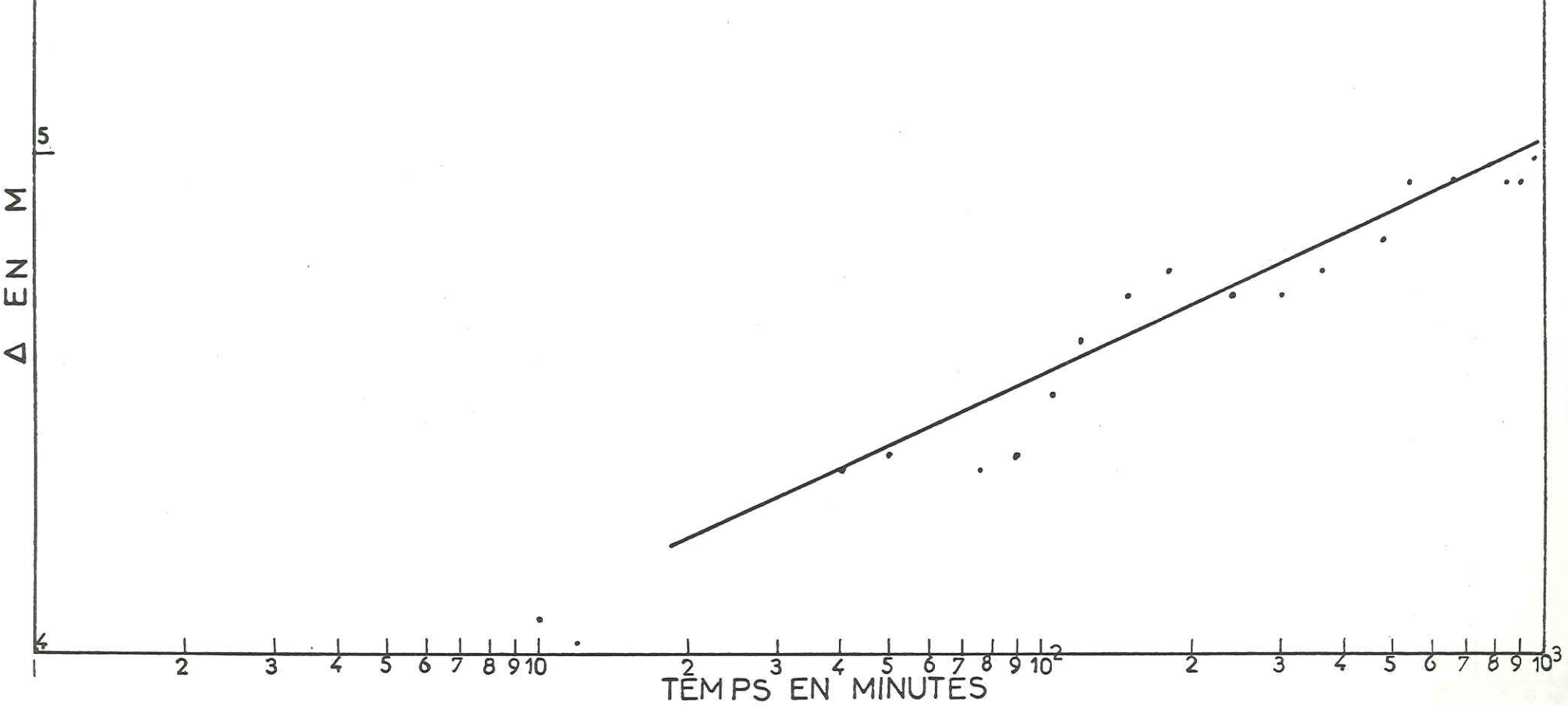
FIG 8_16

$Q = 110 M^3/H$

$C = 0{,}47 M$

$T = 11 \times 10^{-3}\ M^2/S$

Courbe de rabattement



qui peuvent être dues à la fracturation des calcaires.

A partir de la courbe de remontée on a deux valeurs de la transmissivité T1 et T2 et on peut constater que la valeur T2 = 10 x 10^{-3} m2/s. est la plus représentative de l'aquifère de la région car dans ce cas desoscillations du niveau de l'eau n'interviennent pas beaucoup dans la courbe représentative de la remontée. On peut constater aussi qu'il y avait des pertes de charges anormales pendant les premières minutes (environ 4 mètres)

8-2-2-2-1-2- Le forage n° J2 (Ayoub Haddad)

Pour ce forage on a calculé la valeur de la transmissivité à partir de la courbe de remontée et de la courbe de rabattement.

Courbe deremontée - Figure 8-18- Sur cette courbe on a une seule étape avec :

C = 9,8 m
Q = 20 m3/h = 0,0055 m3/s.
$$T = \frac{0,183 \times 0,0055}{9,8} = 0,1 \times 10^{-3} \text{ m2/s.}$$

Courbe de rabattement. On distingue deux étapes figure 8-19

- Première étape avec

C1 = 3,6 m
Q = 20 m3/h = 0,0055 m3/s.
$$T1 = \frac{0,183 \times 0,0055}{3,6}$$
$$T1 = 0,28 \times 10^{-3} \text{ m2/s.}$$

- Deuxième étape avec

C2 = 10,2
Q = 0,0055 m3/s
$$T2 = \frac{0,183 \times 0,0055}{10,2}$$
$$T2 = 0,1 \times 10^{-3} \text{ m2/s.}$$

A partir de la courbe de rabattement, on peut constater qu'il y a une diminution de l'alimentation. Entre 15 et 300 minutes car on est arrivé à une barrière de l'aquifère karstique et à un assèchement des fissures karstiques dans notre aquifère.

Au bout de 8 heures apparait une alimentation qui parait constante et dont le débit serait de 20m3/h. Sur la courbe de remontée on peut constater que l'alimentation relativement forte au début diminue 7 minutes et devient presque constante malgré une légère fluctuation due à l'influence des fissures.

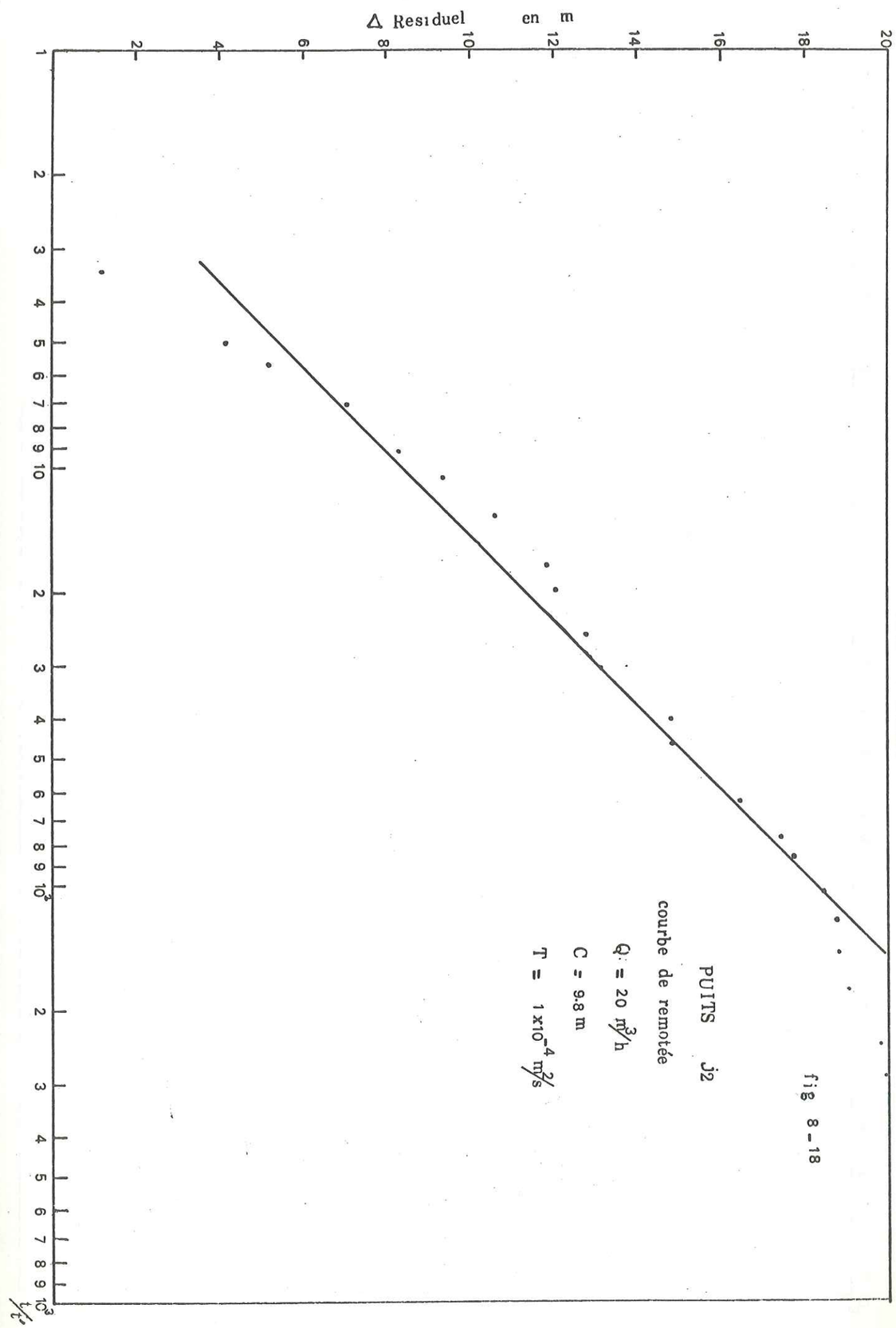


fig 8-18

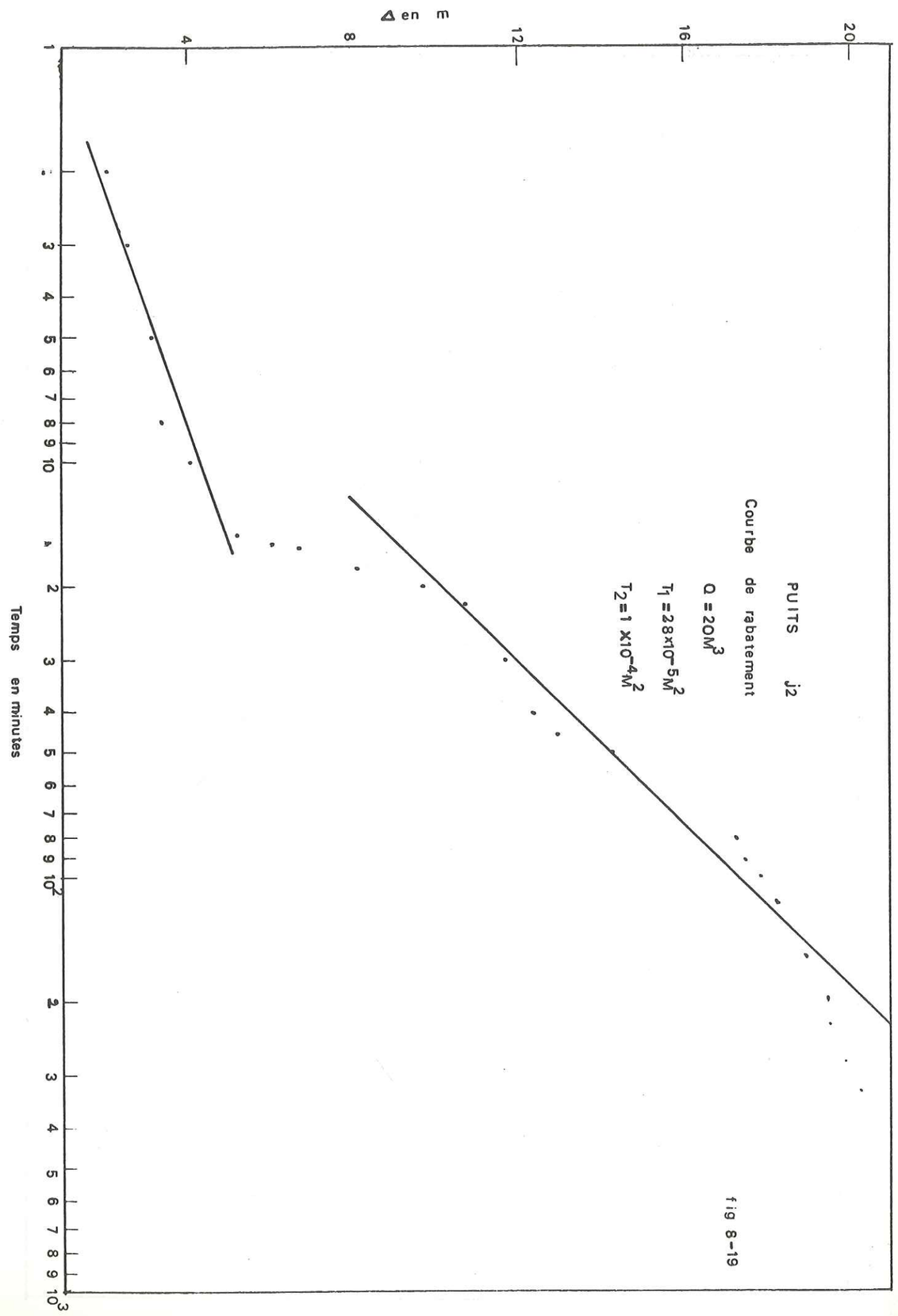


fig 8-19

8-2-2-2-1-3- Un forage dans le groupe Kurnube Puits n° J4 (Abdul Jawad n° 8)

Les valeurs de la transmissivité ont été calculées par les deux courbes.

Courbe de remontée (figure 8-20) Sur cette courbe on distingue deux étapes :

- Première étape avec :

C1 = 15 m
Q = 40 m3/h
$T1 = \frac{0,183 \times 40}{15 \times 3600} = 0,1 \times 10^{-3}$ m2/s.

- Deuxième étape avec :

C2 = 7 m
Q = 40 m3/h
$T2 = \frac{0,183 \times 40}{7 \times 3600} = 0,2 \times 10^{-3}$ m2/s.

Courbe de rabattement : (figure 8-21) Sur cette courbe on distingue deux étapes :

- Première étape avec :

C1 = 8
Q = 40 m3/h
$T1 = \frac{0,183 \times 40}{8 \times 3600}$
$T1 = 0,25 \times 10^{-3}$ m2/s.

- Deuxième étape avec :

C2 = 12 m
Q = 40 m3/h
$T2 = \frac{0,183 \times 40}{12 \times 3600} = 0,16 \times 10^{-3}$ m2/s.

Les deux courbes indiquent qu'il y a deux valeurs de la transmissivité ; pour chaque courbe les deux valeurs sont proches. La valeur T1 est la valeur de la transmissivité près du forage tandis que la valeur T2 est la valeur de la transmissivité loin du forage.

Les pertes de charges sont normales et ne sont pas très grandes.

fig 8 - 21

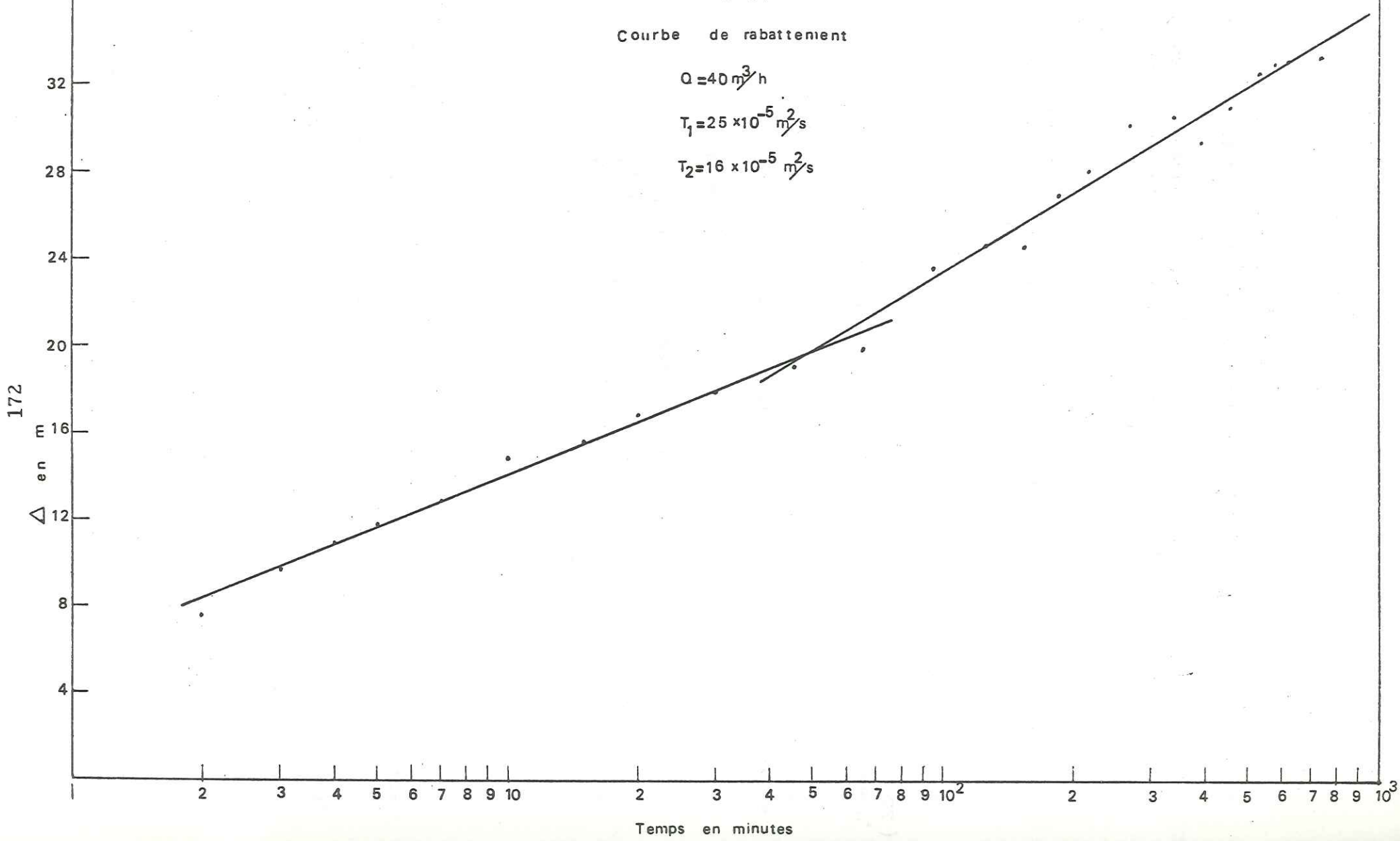
PUITS J4

Courbe de rabattement

$Q = 40\ m^3/h$

$T_1 = 25 \times 10^{-5}\ m^2/s$

$T_2 = 16 \times 10^{-5}\ m^2/s$



172

fig 8 - 20

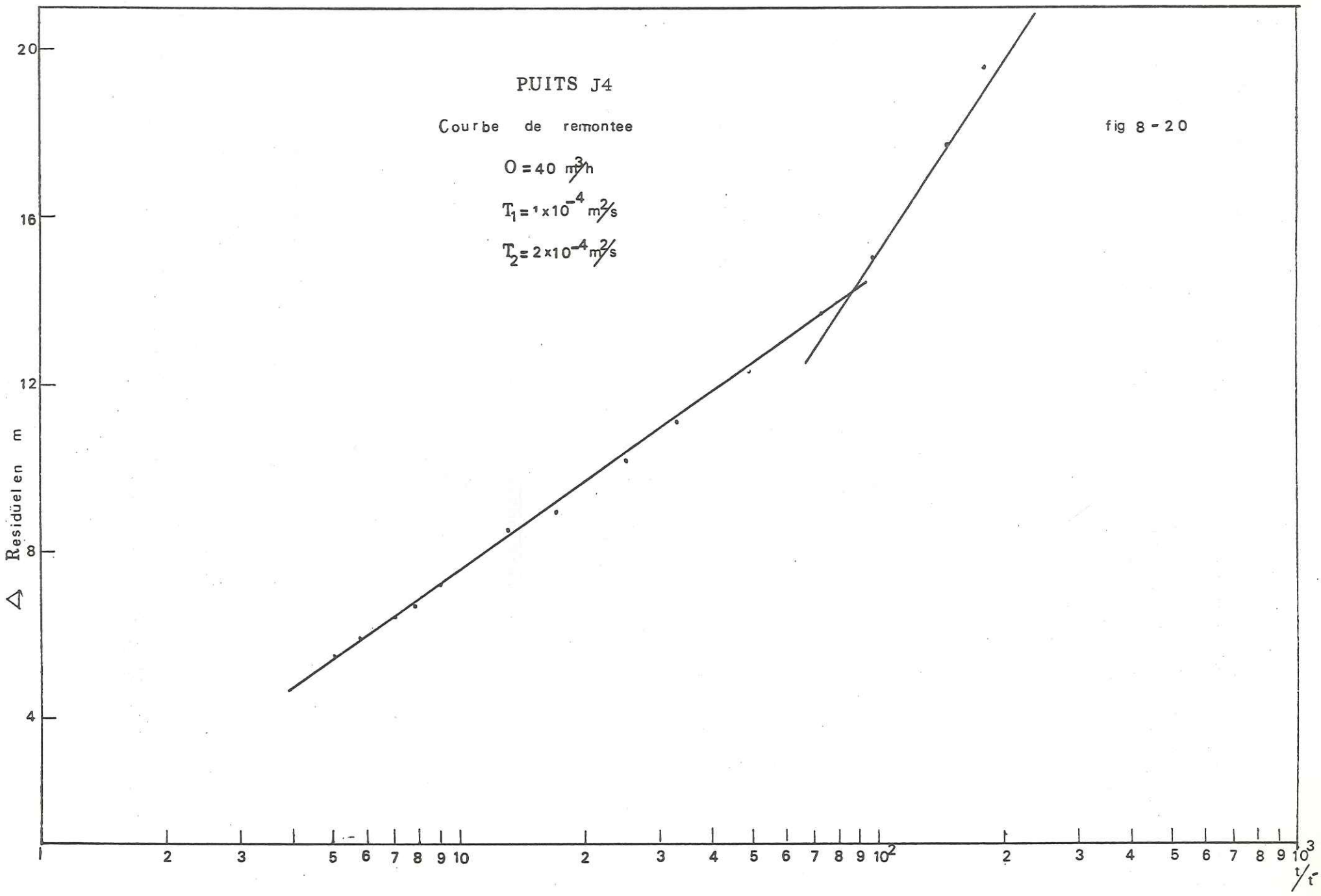
PUITS J4

Courbe de remontee

$Q = 40\ m^3/h$

$T_1 = 1 \times 10^{-4}\ m^2/s$

$T_2 = 2 \times 10^{-4}\ m^2/s$



171

8-2-3- Calcul de la transmissivité T et S - coefficient d'emmagasinement par la méthode de Theis

Pour appliquer cette méthode, on doit satisfaire aux conditions suivantes :

- la nappe est captive
- l'écoulement vers le puits est en régime transitoire, c'est-à-dire que l'évolution du rabattement n'est pas négligeable dans le temps, ou encore que le gradient hydraulique ne reste pas constant.
- l'eau provenant d'emmagasinement est libérée instantanément avec la baisse de la charge hydraulique.
- le diamètre du puits de pompage est très faible, c'est-à-dire que l'on peut négliger l'emmagasinement dans le volume du puits.

Cette méthode est basée sur la formule :

$$\Delta = \frac{Q\ W\ (u)}{4\ \pi\ T}$$

Δ = rabattement en mètre
W (u) fonction de puits " Well function "
Q = débit de pompage en m3/s.

Mode opératoire

- construire une " courbe type " de la fonction du puits de Theis sur une feuille bi-logarithmique en portant les valeurs de W (u) en fonction de u.

Il est souvent plus pratique d'utiliser la courbe " inverse ", obtenue en portant les valeurs de W (u) en fonction de 1/u (figure 8-22)

- porter de la même façon sur une autre feuille bi-logarithmique de même module le rabattement en fonction du temps.

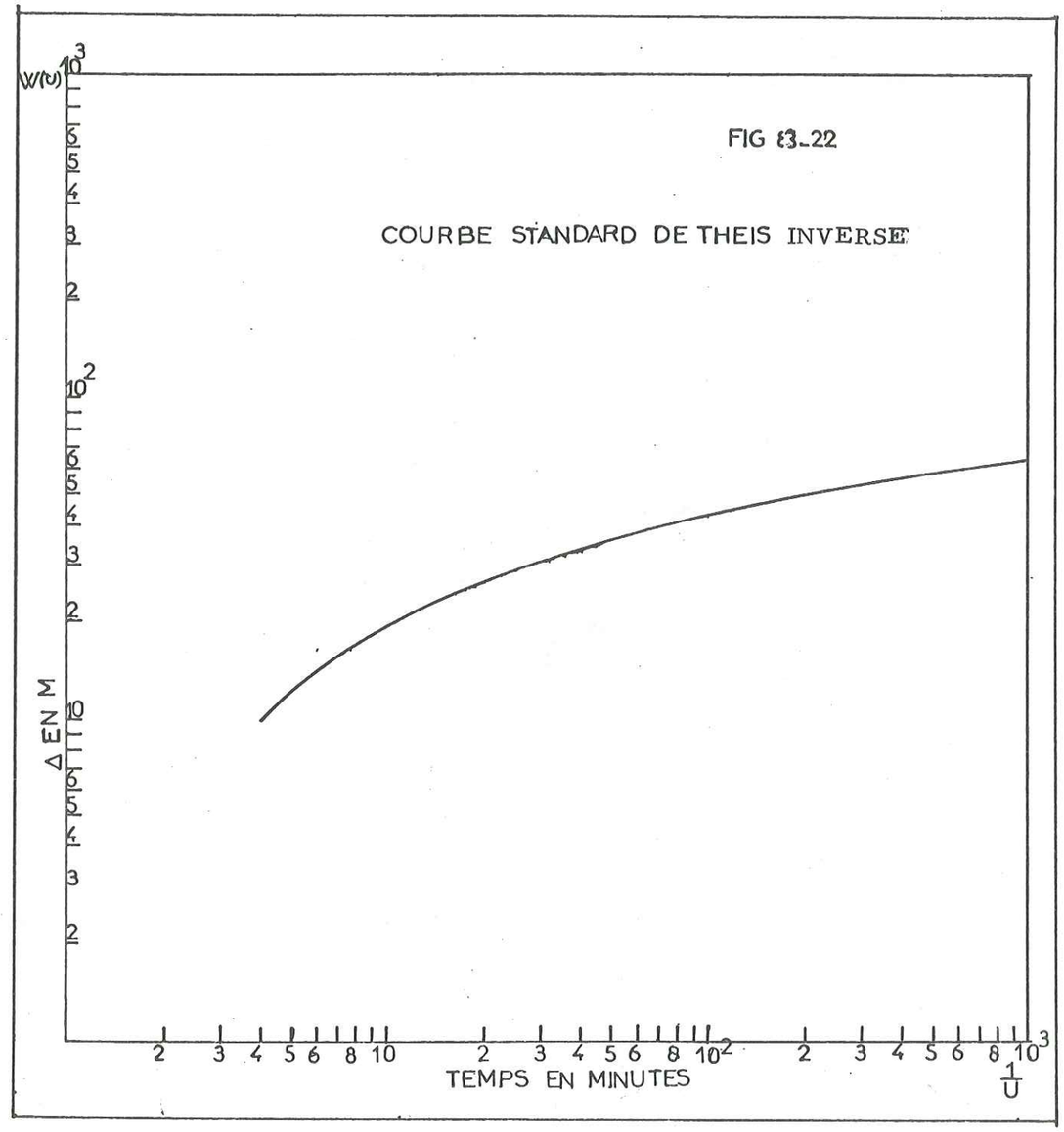
- superposer la courbe d'essai à la courbe type en maintenant les axes de coordonnées respectivement parallèles entre eux et chercher la meilleure coïncidence possible entre les deux courbes.

- choisir un point de référence arbitraire A que l'on appellera point pivot, dans la zone de chevauchement des deux feuilles et chercher pour ce point les coordonnées W (u), $\frac{1}{u}$, Δ et t.

Il n'est pas nécessaire que le point pivot soit situé sur la courbe type.

FIG 8-22

COURBE STANDARD DE THEIS INVERSE



La transmissivité est donc calculée par la formule

$$T = \frac{Q\ W\ (u)}{4\ \pi\ \Delta}$$

Le coefficient d'emmagasinement est égal à $S = 4\ T\ t\ u/x^2$ pour un pompage avec un piézomètre et $S = 4\ T\ t\ U$ pour un puits pompé.

Nous allons appliquer cette méthode sur quelques puits intéressants et représentatifs de notre région.

8-2-3-1- Dans le secteur de Baca

8-2-3-1-1- Puits n° 16 . Pour ce puits, sur une feuille bi-logarithmique on a porté les valeurs de Δ en fonction du temps - figure 8-23.

D'après cette courbe et la courbe type de Theis, on a

$\Delta = 5$ m
$t = 10 \times 60 = 600$ s.
$\frac{1}{u} = 65 \qquad u = 0,0015$
$W\ (u) = 2,9$

Le débit de pompage $Q = 0,0166$ m3/s.

$$T = \frac{QW\ (u)}{4\ \Delta\ \pi}$$
$T = 7,6 \times 10^{-4}$ m2/s.
$= 4\ T\ t\ u$
$= 2,7\ \%$

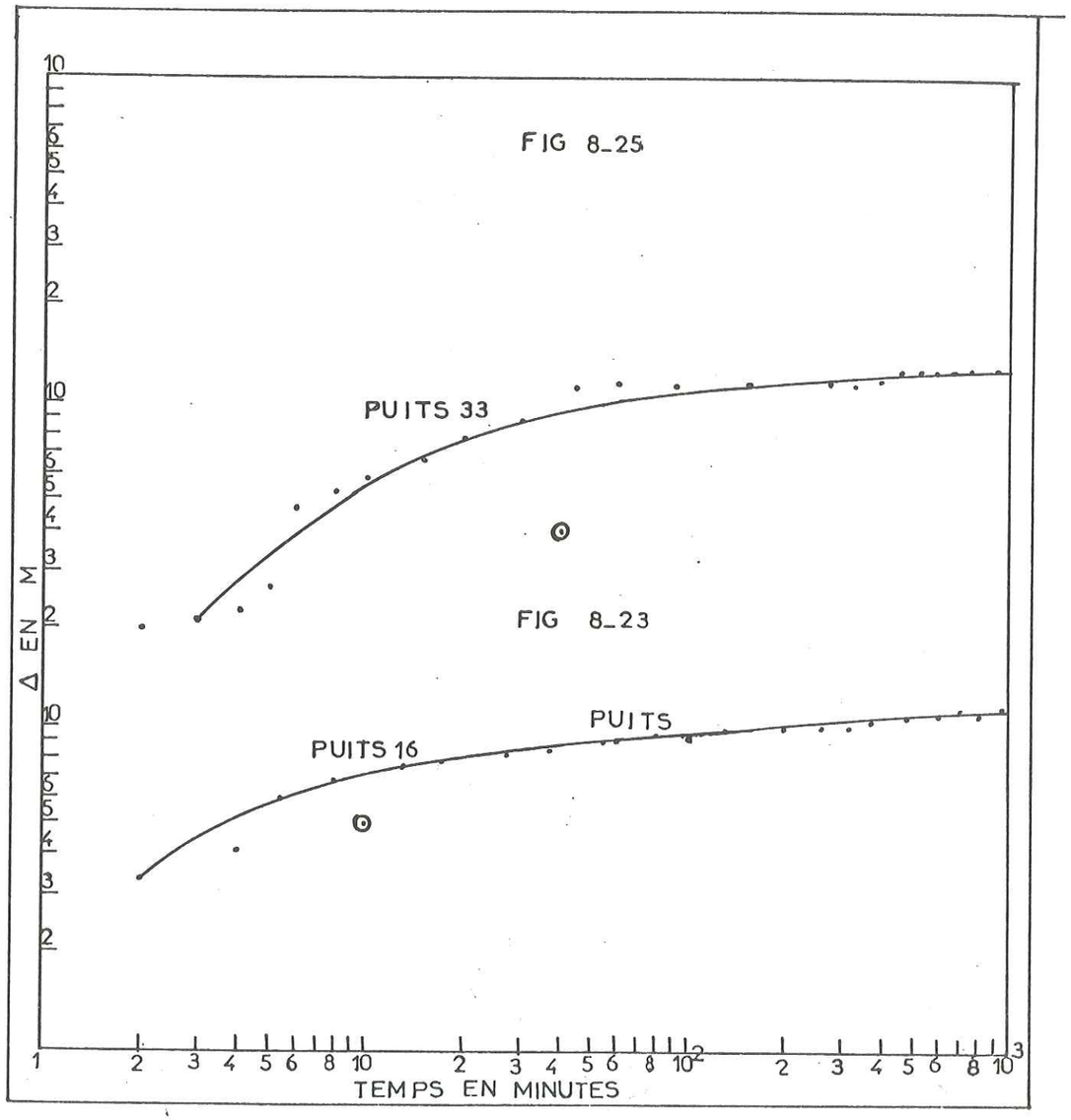
8-2-3-1-2- Puits n° 17. Pour ce puits, on a tracé sur une feuille bi-logarithmique les valeurs de Δ en fonction du temps(figure 8-24)

D'après cette courbe et la courbe type de Theis on a :

$\Delta = 3$ m
$t = 3 \times 60 = 180$ s.
$\frac{1}{u} = 38 \qquad U = 0,0263$
$W\ (u) = 2,7$

Le débit de pompage $Q = 0,02$ m3/s.

Donc $T = \frac{QW\ (u)}{4\ \Delta\ \pi} = 1,4 \times 10^{-3}$ m2/s.



$S = 4\ T\ t\ u$
$S = 2,6\ \%$

8-2-3-1-3- Puits n° 17a. D'après la courbe de en fonction du temps de ce puits et la courbe type de Theis, Fig.n° 8-30, on a :

$\Delta = 2$
$t = 4 \times 60 \quad 240$ s.
$W(u) = 2,7$
$\frac{1}{u} = 42 \qquad u = 0,0238$

Le débit de pompage $Q = 0,0166$ m3/s.

Donc $T = \frac{Q\ W(u)}{4 \Delta \pi}$
$T = 1,7 \times 10^{-3}$ m2/s.
et $S = 4\ T\ t\ u$
$S = 3,8\ \%$

8-2-3-1-4- Puits n° 29. D'après la courbe Δ en fonction du temps de ce puits et la courbe type de Theis, Fig. n° 8-24 on a :

$\Delta = 3$ m
$t = 9 \times 60 = 540$ s.
$\frac{1}{u} = 36 \qquad u = 0,0277$
$W(u) = 2,3$

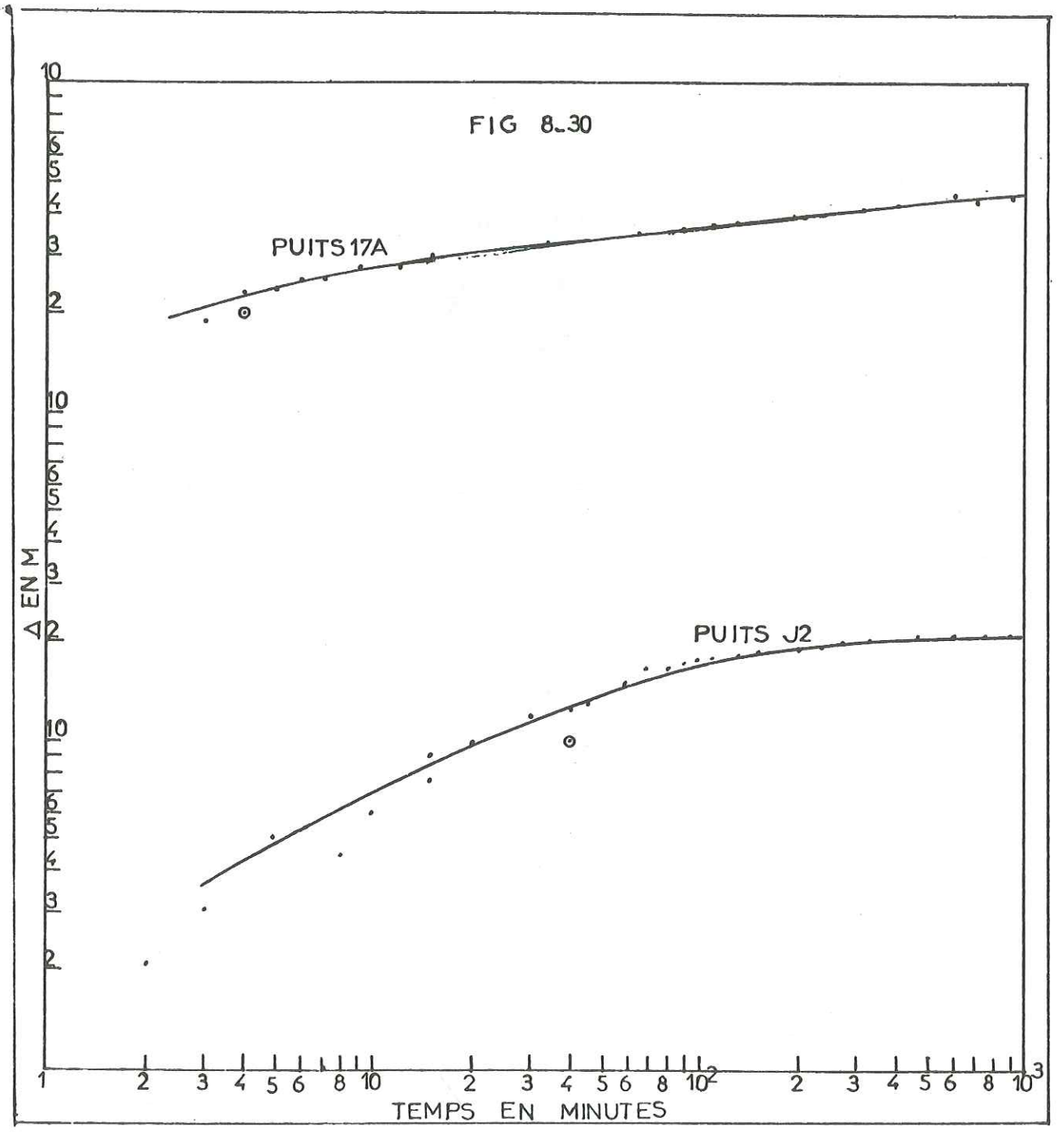
Le débit de pompage $Q = 0,0125$ m3/s.

$T = \frac{Q\ W(u)}{4 \Delta \pi}$
$T = 7,6 \times 10^{-4}$ m2/s.
$S = 4\ T\ t\ U$
$S = 4,5\ \%$

8-2-3-1-5- Puits n° 33. Pour ce puits, on a porté sur une feuille bi-logarithmique, les valeurs de Δ en fonction du temps t (figure 8-25)

D'après cette courbe et la courbe type de Theis, on a :

$\Delta = 4$ m
$t = 40 \times 60$ sec.
$\frac{1}{u} = 105 \qquad U = 0,00952$
$W(u) = 1,8$



Le débit de pompage Q = 0,011 m3/s.

$T = \frac{Q W(u)}{4 \Delta \pi} = 0,011$ m3/s.

$T = 3,9 \times 10^{-4}$ m2/s.

et $S = 4 T t U$

$S = 3,5$ %

8-2-3-1-6- Puits n° 36. Pour ce puits, on a tracé sur une feuille bi-logarithmique les valeurs de Δ en fonction du temps t (figure 8-26).

D'après cette courbe et la courbe type de Theis on a :

$\Delta = 3$ m

$t = 5 \times 60 = 300$ s.

$\frac{1}{u} = 67$ U = 0,0149

W (u) = 2,8

Le débit de pompage Q = 0,0155 m3/s.

$T = \frac{Q W(u)}{4 \Delta \pi}$

$T = 1,15 \times 10^{-3}$ m2/s.

$S = 4 T t u$

S = 2 %

8-2-3-1-7- Puits n° 43. Sur une feuille bi-logarithmique, on a porté les valeurs de Δ en fonction de temps t (figure 8-27). D'après cette courbe et la courbe type de Theis, on a :

$\Delta = 2$ m

$t = 15 \times 60 = 900$ s.

$\frac{1}{u} = 290$ U = 0,0034

W (u) = 4

$T = \frac{Q W(u)}{4 \Delta \pi}$

$T = 3,5 \times 10^{-3}$ m2/s.

$S = 4 T t U$

S = 4,2 %

8-2-3-1-8- Puits 34 a (figure 8-28)

$\Delta = 10$ m

t = 20 minutes = 1200 s.

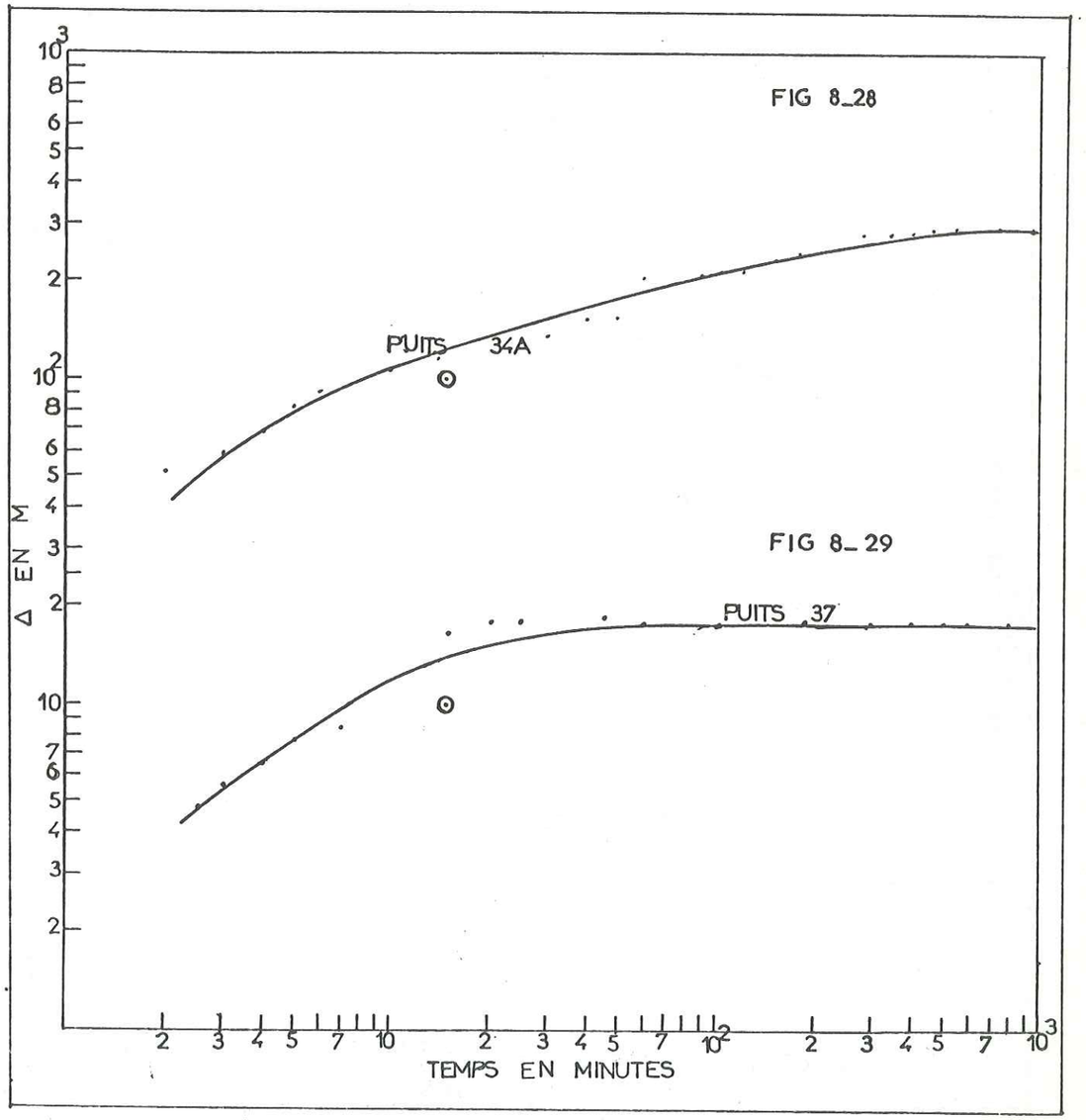


FIG 8_28
PUITS 34A
FIG 8_29
PUITS 37
Δ EN M
TEMPS EN MINUTES

FIG 8-31

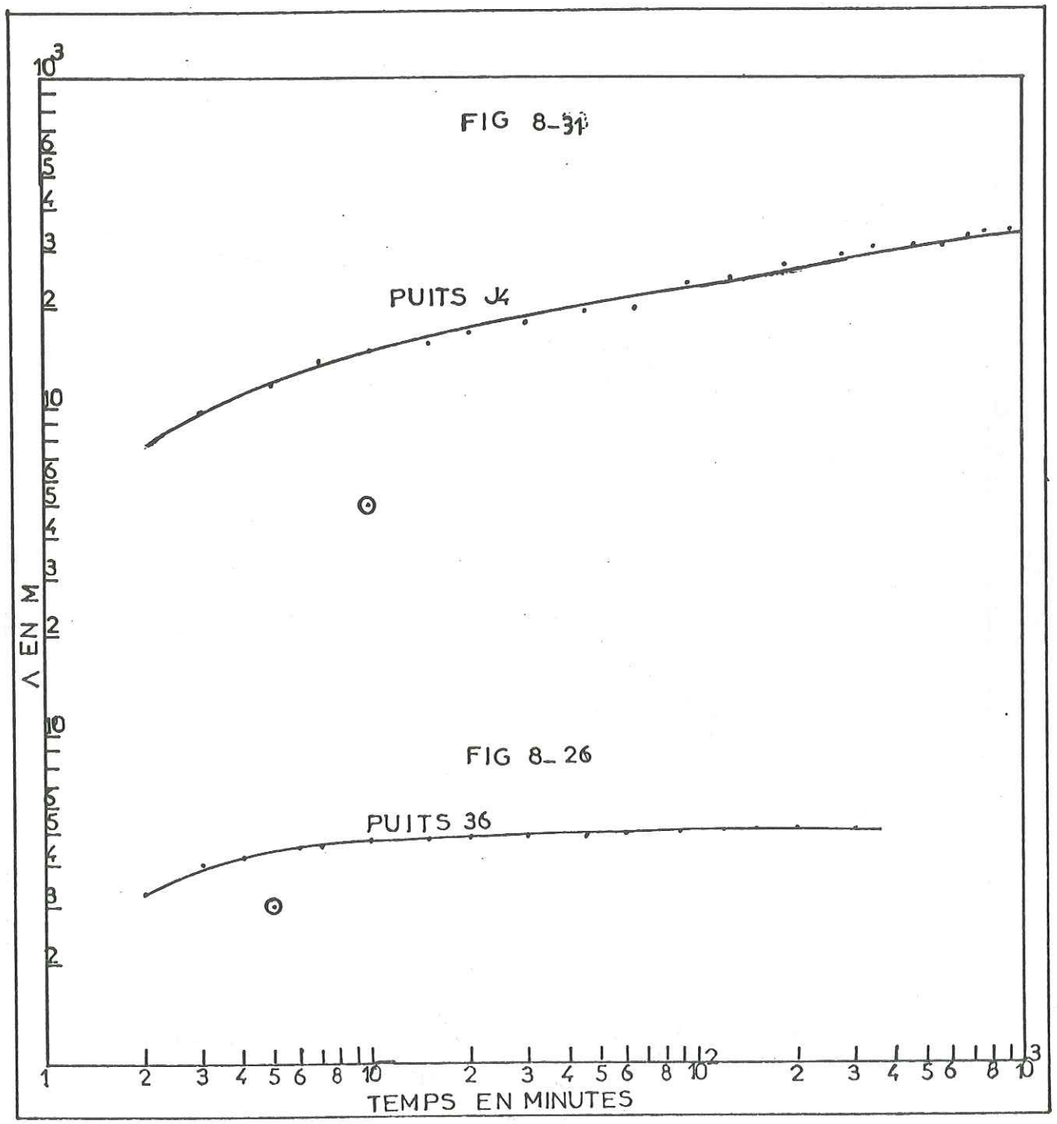
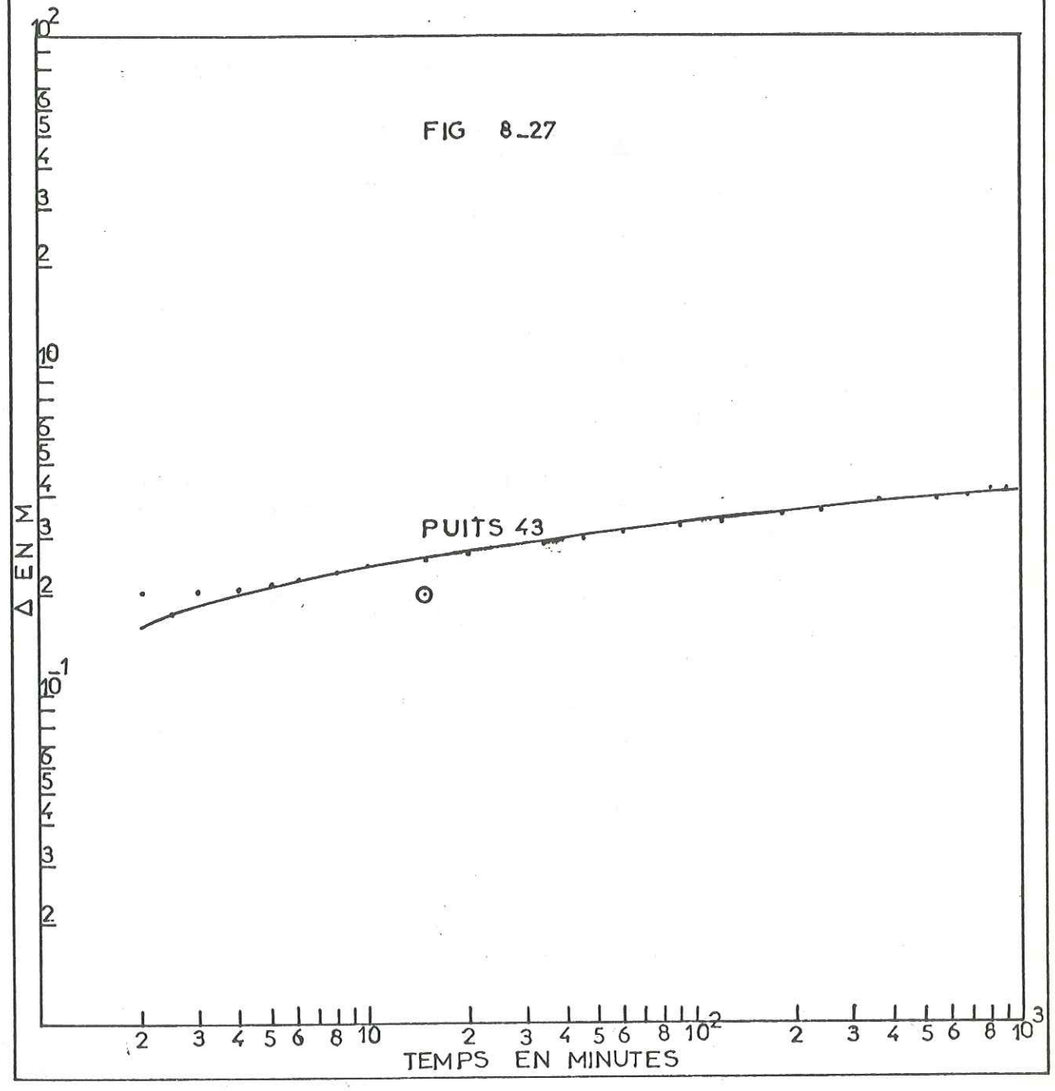


FIG 8-26

FIG 8-27



W(u)= 2, 5

$\frac{1}{u}$ = 40 U = 0, 025

Le débit du forage = 0, 0063 m3/s.

$T = \frac{Q\ W\ (u)}{4\ \Delta\ \pi}$

T = 1, 2 x 10^{-4} m2/s.

S = 4 T t u = 1, 4 %

8-2-3-2-1-9- Puits n° 37 - figure 8-29

Q = 63 m3/h = 0, 0175 m3/s.

Δ = 10 m

t = 15 minutes x 60 = 900 s.

W (u) = 2, 4

$\frac{1}{u}$ = 36 = 0, 0277

$T = \frac{Q\ W\ (u)}{4\ \Delta\ \pi}$ = 3, 3 x 10^{-4} m2/s.

S = 4 T t u = 3, 2 %

8-2-3-2- Dans la région de Jerash

8-2-3-2-1- Puits n° J2 . Pour ce puits, on a porté sur une feuille bi-logarithmique les valeurs de Δ en fonction de temps t figure 8-30.

D'après cette courbe et la courbe type de Thies on a :

Δ = 10 m

t = 40 x 60 = 2400 s.

$\frac{1}{u}$ = 42 U = 0, 0238

W (u) = 2, 7

Le débit de pompage = 0, 0055 m3/s.

$T = \frac{Q\ W\ (u)}{4\ \Delta\ \pi}$

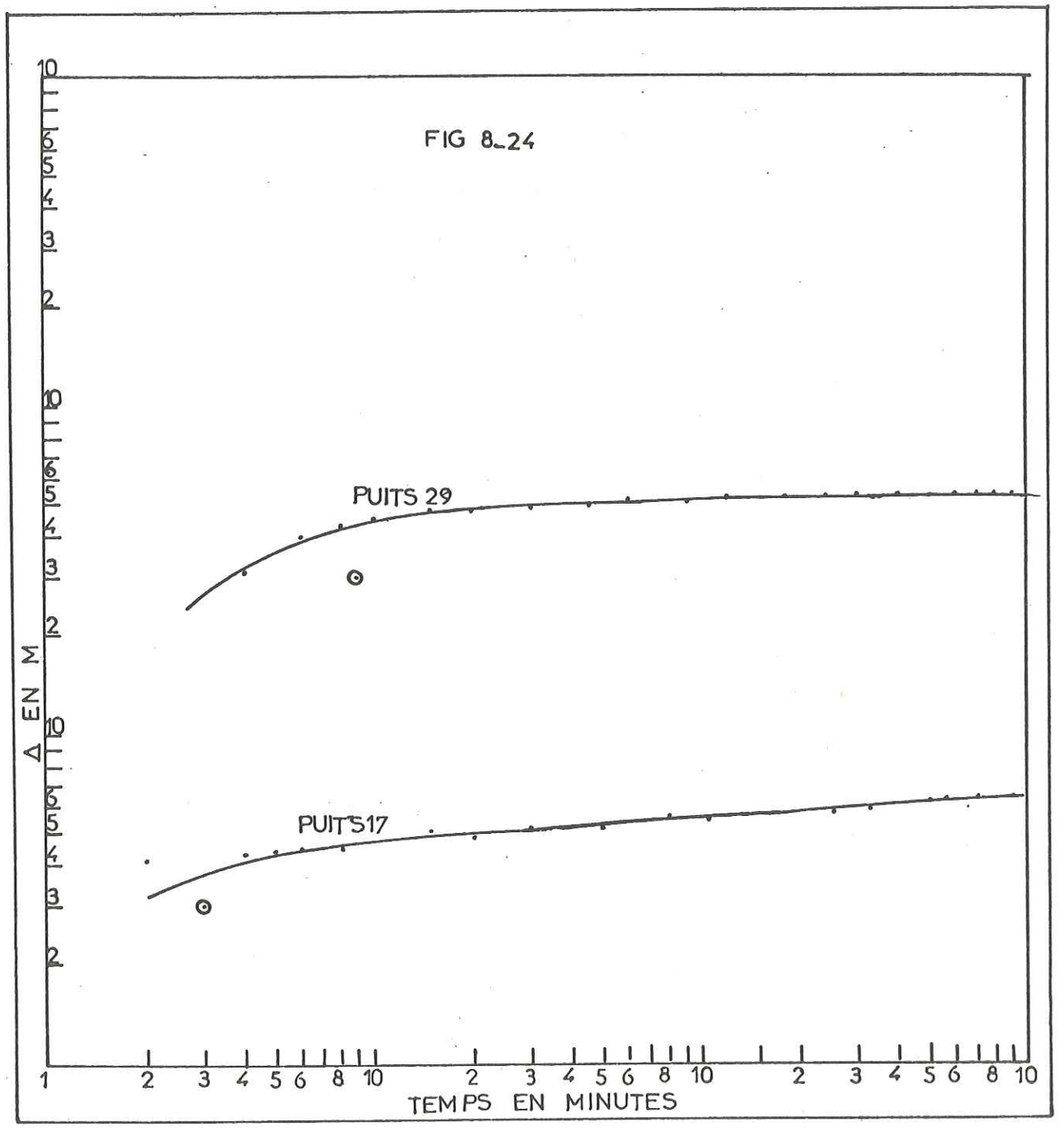
T = 1, 18 x 10^{-4} m2/s

S = 4 T + U = 2, 6 %

8-2-3-2-2- Puits n° J4 . Sur une feuille bi-logarithmique on a porté les valeurs de Δ en fonction de temps t - figure 8-31.

D'après cette courbe et la courb e type de Thiès on a :

FIG 8-24



Δ = 5 m
t = 10 x 60 = 600 s.
W (u) = 3
$\frac{1}{u}$ = 48 U = 0,0208

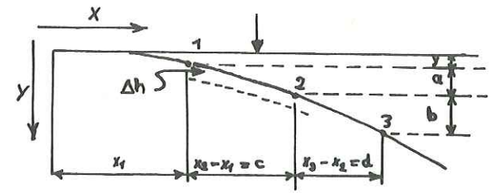
Le débit de pompage Q = 0,011 m3/s.

$$T = \frac{Q\ W(u)}{4\ \Delta\ \pi}$$

$T = 2,6 \times 10^{-4}$ m2/s.
S = 4 T t u
S = 1,29 %

8-2-4 : Calcul du coefficient d'emmagasinement par la méthode de Rorabaugh

Le coefficient d'emmagasinement peut être calculé à partir de l'équation établie par Rorabaugh (1960) dans la cas ou l'on étudie trois piézomètres alignés sur une même ligne de courant dans un aquifère de grandes dimensions en régime de tarissement - voir la figure la diffusivité de la nappe est exprimée par : $T/S = \frac{\Delta h}{\Delta t} \frac{cd\ (c+d)}{2(bc-ad)}$



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

t: est le temps écoulé entre nappe haute et nappe basse exprimé en secondes.

Les valeurs de C et D sont déterminées et mesurées à partir des cartes piézométriques en nappe basse.

Les valeurs A et B sont les différences des niveaux d'eau que l'on peut déterminer aussi à partir de la carte piézométrique A, B, C, D sont exprimées en mètres.

Pour vérifier les valeurs du coefficient d'emmagasinement calculé par les autres méthodes, nous avons appliqué la formule de Rorabaugh dans différentes zones dans la région de Baqa.

1- Sur une ligne située sur les puits 36,18 et 12

L'application numérique donne

$\frac{T}{S} = 0,068$

or $T = 1,15 \times 10^{-3}$

donc S = 1,7 %

2 - Sur une ligne située sur les puits 47, 15 et 12. on a

$\frac{T}{S} = 0,205$

or $T = 3 \times 10^{-3}$

donc S = 1,5 %

TABLEAU N° 8-1

VALEURS DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES T ET S CALCULEES PAR LES DIVERSES METHODES

	N° puits	Valeurs de la transmissivité en m^2 / s calculées par Courbe de rabattement	Courbe de remontée	Courbe de Theis	Valeur du coefficient d'emmagasinement calculées par Courbe de rabattement	Courbe de Theis
Region de Baqa	16	1×10^{-3}	-	$0,76 \times 5^{3}$	-	2,7 %
	17	$4,06 \times 10^{-3}$	-	$1,4 \times 10^{-3}$	0,45 %	2,6
	17B	$4,06 \times 10^{-3}$	-	-	0,45 %	-
	17A	$3,5 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-3}$	-	3,8 %
	29	$3,2 \times 10^{-3}$	-	$0,76 \times 10^{-3}$	-	4,5 %
	34a	$0,28 \times 10^{-3}$	$0,12 \times 10^{-3}$	$0,12 \times 10^{-3}$	-	1,4 %
	33	$0,6 \times 10^{-3}$	-	$0,39 \times 10^{-3}$	-	3,5 %
	36	$7,7 \times 10^{-3}$	$3,69 \times 10^{-3}$	$1,15 \times 10^{-3}$	0,6 %	2 %
	37	$1,19 \times 10^{-3}$	$0,8 \times 10^{-3}$	$0,33 \times 10^{-3}$	-	3,2 %
	43	$4,7 \times 10^{-3}$	$6,13 \times 10^{-3}$	$3,5 \times 10^{-3}$	1 %	4,2 %
Region de Jerash	J1	11×10^{-3}	$5,55 \times 10^{-3}$	-	3, 6 %	-
	J2	$0,19 \times 10^{-3}$	$6,1 \times 10^{-3}$	$0,11 \times 10^{-3}$	-	2,6 %
	J4	$0,265 \times 10^{-3}$	$0,15 \times 10^{-3}$	$6,25 \times 10^{-3}$	-	1,29 %

3 - Sur une ligne située sur les puits 29, 22, 46, on a

$\frac{T}{S} = 0,0328$

$T = 7,6 \times 10^{-4}$

donc $S = 2,3$ %

4 - Sur une ligne située sur les puits 41, 37 et 12, on a

$\frac{T}{S} = 0,01$

d'où $T = 3,3 \times 10^{-4}$

donc $T = 3,3$ %

8-2-5- Conclusion et comparaison entre les valeurs des caractéristiques hydrodynamiques

Le tableau 8-1résume les valeurs de la transmissivité T et du coefficient d'emmagasinement S calculées par les diverses méthodes. D'après ce tableau on peut conclure :

- la moyenne des valeurs de la transmissivité calculées à partir des droites de rabattement : logarithme du temps est de l'ordre de $3,137 \times 10^{-3}$ m2/s.

- la moyenne des valeurs de la transmissivité calculées à partir des courbes de remontée est de l'ordre de $2,568 \times 10^{-3}$ m2/sec.

- la moyenne des valeurs de la transmissivité calculées à partir de la courbe standard de Theis est de l'ordre de $1,12 \times 10^{-3}$ m2/sec.

Pour la plupart des puits, les courbes de rabattement et de remontée ont toujours tendance à donner des valeurs plus fortes que la réalité. Tandis que les valeurs moyennes de la transmissivité $1,2 \times 10^{-3}$ m2/s. calculées à partir de la courbe standard de Theis sont plus représentatives de l'ensemble de l'aquifère dans la région de Baqa.

Le coefficient d'emmagasinement moyen calculé à partir des courbes de rabattement est beaucoup plus faible que celui calculé à partir de la courbe standard de Theis 3,1 % qui paraît mieux représenter la réalité. Le coefficient d'emmagasinement moyen calculé à partir de la formule de Rorabaugh est près de celui calculé à partir de la courbe standard de Theis.

Le coefficient d'emmagasinement moyen 2,2 % calculé à partir de la formule de RORABAUGH est très proche de celui calculé à partir de la courbe standard de Theis.

On considère donc que les valeurs de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement calculées à partir de la courbe standard de Theis car elles représentent mieux la réalité que les autres valeurs calculées par d'autres méthodes.

8-3- COURBES DE TARISSEMENT DES SOURCES

8-3-1 - Introduction

Nous avons établi pour onze sources situées dans les régions de Jerash, Baqa et de Salt, les courbes de tarissement.

A partir d'un certain temps après le début de la crue, les courbes de variation des débits des sources traduisent une décrue rapide, suivie d'une décroissance relativement lente, marquée par une faible pente.

L'analyse des courbes de tarissement des sources permet de calculer la capacité d'emmagasinement.

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

L'analyse des courbes de tarissement des sources a été faite par les méthodes de Maillet et de Tison.

8-3-2- Formule de Maillet

Pour un milieu aquifère homogène et isotrope Maillet a établi l'équation de la courbe de tarissement. Il est évident que ces conditions ne sont pas souvent réalisées dans les calcaires

$$Q_t = Q^\circ \, e^{-\alpha t}$$

d'où $\log Qt = \text{Log } Q^\circ - (\alpha - \log e)\, t$

Qt = débit à l'instant t en m3/s.
Q° = débit au début du tarissement en m3/s.
t = temps écoulé depuis le début du tarissement en jours.
e = 2,178 base des logarithmes néperiens.
α = coefficient de tarissement, caractéristique de la capacité de rétention de l'aquifère de la source

En remplaçant log e par sa valeur numérique 0,4343 :

$$\log Qt = \log Qo - (0,4343\,\alpha)\, t$$

d'où $$\alpha = \frac{\log Qo - \text{Log } Qt}{0,4343 \times t}$$

On a porté sur un graphique semi-logarithmique en ordonnées les débits et en abscisses les temps en jours pour chaque source étudiée et nous avons calculé les coefficients de tarissement α et la capacité d'emmagasinement, Wo en m3

8-3-2-1- Source Um Olliega

Cette source est située dans le village Um Uleqa dans la région de Baqa. Les courbes de tarissement pour cette source sont montrées par la figure 8-32.

a- Pour l'année 1968

Qo = 14,4 m3/h = 0,004 m3/s.
Qt = 5,3 m3/h
t = 240 jours
$\alpha = \frac{1,158 - 0,726}{0,4343 \times 240}$

$\alpha = 0,0041$
$Wo = \frac{Qo}{\alpha} \times 86400$

$Wo = \frac{0,004}{0,041} \times 86400 = 86400$ m3

Donc la formule de tarissement est

$Qt = 0,004\ e^{-0,004\ t}$

b- Pour l'année 1969

Qo = 10,6 m3/h = 0,00295 m3/s
Qt = 4 m3/h
t = 180 jours
d'où $\alpha = 0,0054$
$Wo = \frac{Qo}{\alpha} \times 86400$
$Wo = 4,7 \times 10^4$ m3

Donc la formule de tarissement de cette source est :

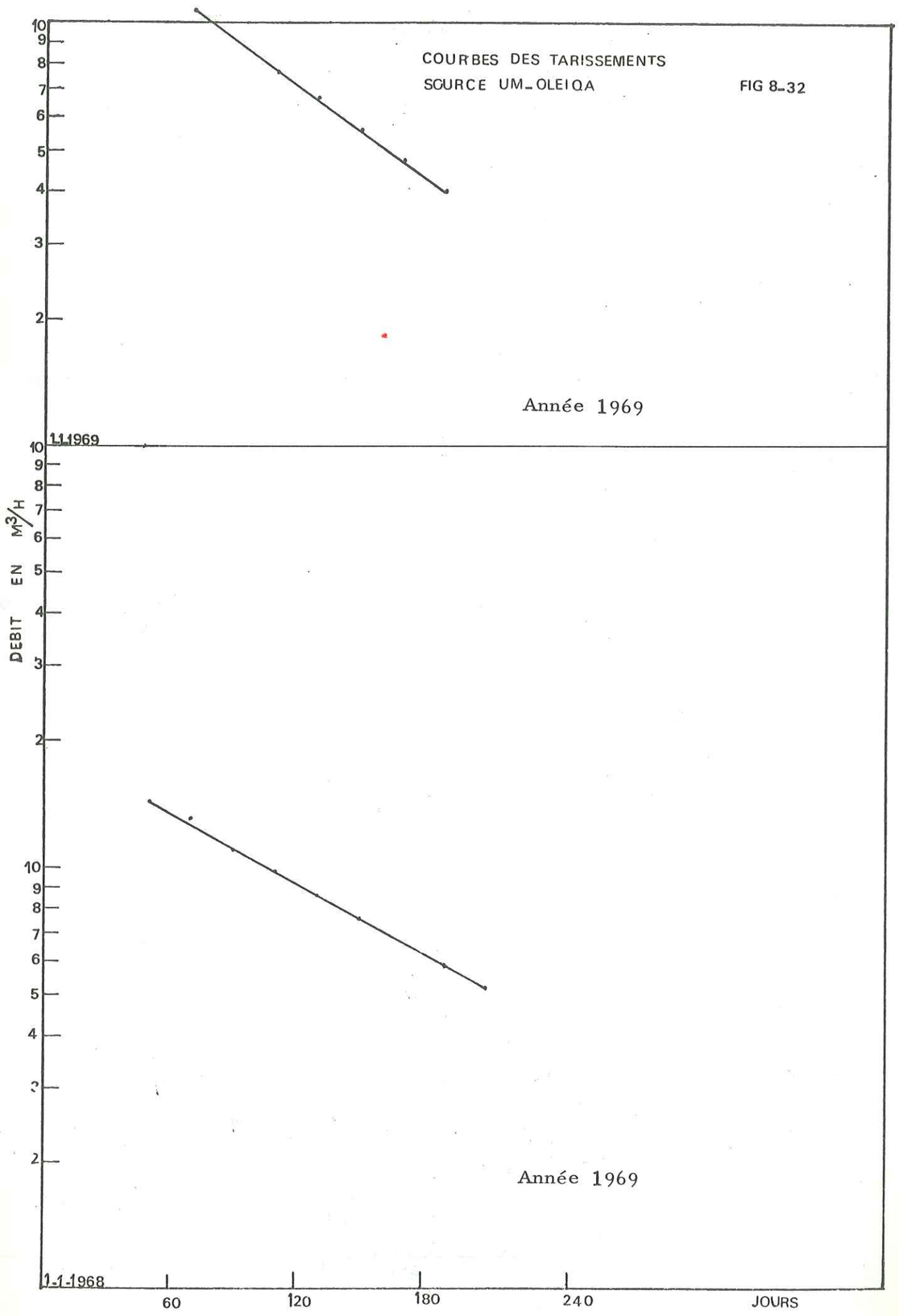
$0,0029\ e^{-0,0054\ t}$

c- Pour l'année 1967 fig. 8-33

Qo = 7,4 m3/h = 0,002 m3/s.
Qt = 5m3/h
t = 150 jours
d'où $\alpha = 0,0032$
$Wo = 54 \times 10^3$ m3

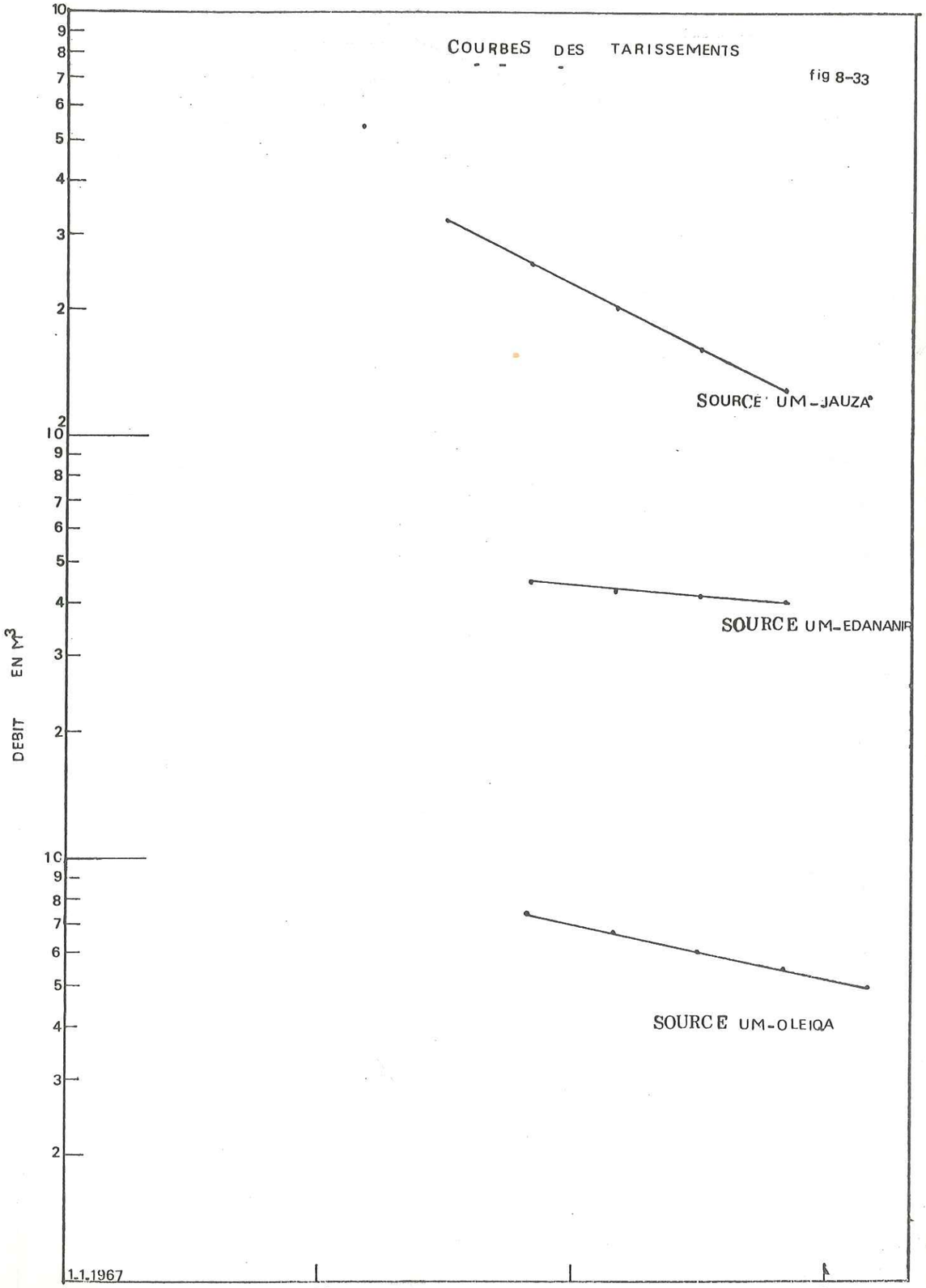
Donc la formule de tarissement de cette source pour l'année 1967 est :

$Qt = 0,002\ 1^{-0,0032\ t}$



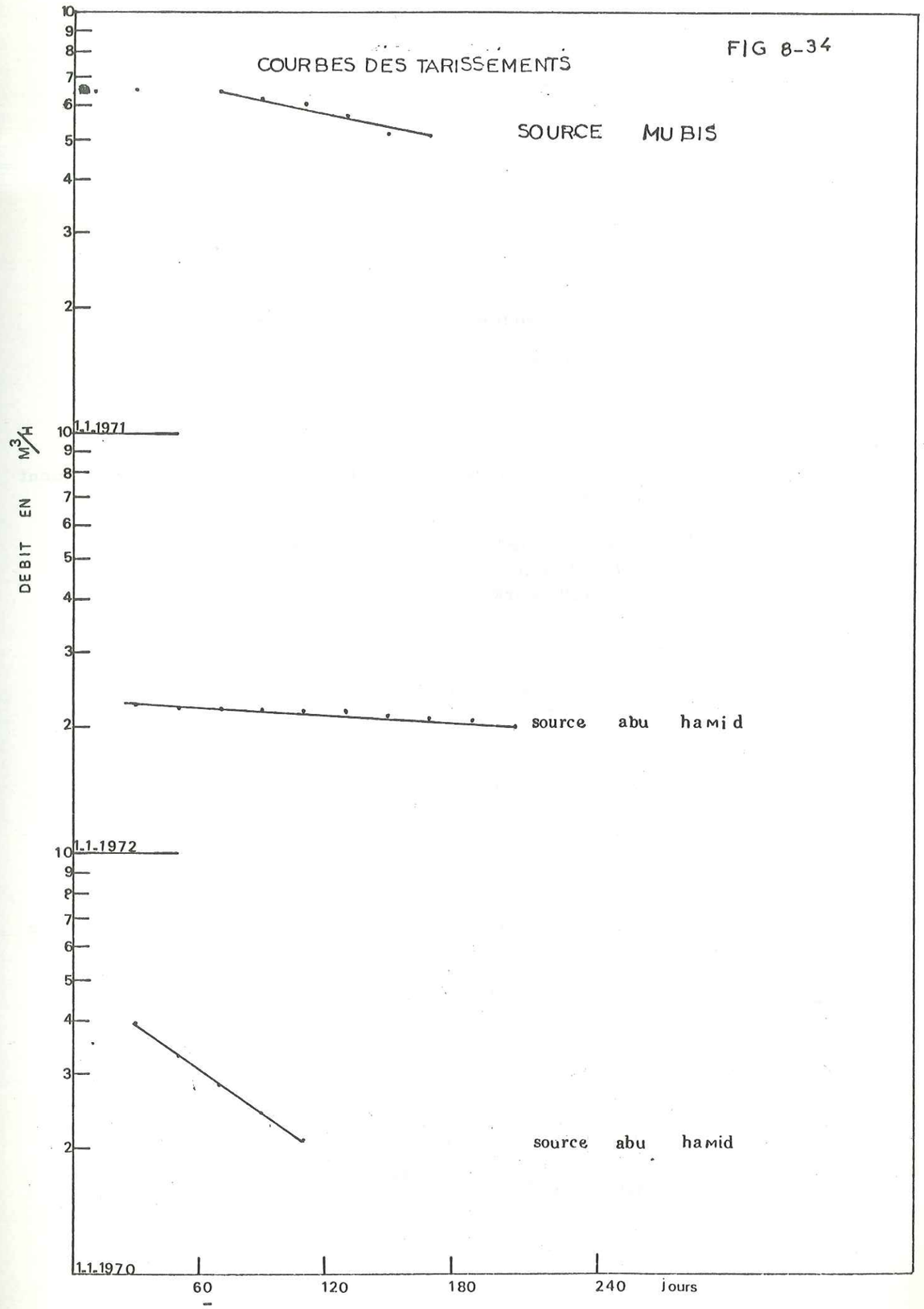
COURBES DES TARISSEMENTS

fig 8-33



COURBES DES TARISSEMENTS

FIG 8-34



8-3-2-2- La source Um Ed danamir

La figure 8-33 montre la courbe de tarissement de cette source pour l'année 1967.

Qo = 45 m3/h = 0,0125 m3/s
Qt = 33 m3/h
t = 90 jours

d'où α = 0,0034

Wo = 317647 = 3,1 x 10^{4} m3

Donc la formule de tarissement est :

$Qt = 0,0125\ e^{-0,0034\ t}$

8-3-2-3- La source Um Jouza

Pour cette source on a établi la courbe de tarissement pour l'année 1967 - figure 8-33.

Qo = 3,6 m3/h = 0,001 m3/s.
Qt = 1,3 m3/h
t = 120 jours

d'où α = 0,0084

$Wo = \frac{Qo}{\alpha} \times 86400$

Wo = 10 x 10^{3} m3 et

La formule du tarissement est

$Qt = 0,001 \times e^{-0,0084\ t}$

8-3-2-4- La source Mubis

On a établi la courbe de tarissement pour cette source pour l'année 1971 - Figure 8-34.

Qo = 6,48 m3/h = 0,0018 m3/s
Qt = 5,08 m3/h
t = 150 jours
d'où α = 0,0016
Wo = 9,7 x 10^{4} m3

La formule du tarissement est

$Qt = 0,0018\ e^{-0,0016}$

8-3-2-5- Source Abou Hamid

Pour cette source on a établi les courbes de tarissement pour l'année 1970 et 1972 - Figure 8-34.

Pour l'année 1970

Qo = 4 m3/h = 0,0011 m3/s
Qt = 2,2 m3/h
t = 120 jours

d'où α = 0,005

Wo = 19 x 10^{3} m3

La formule de tarissement est :

$Qt = 0,0011\ e^{-0,005\ t}$

Pour l'année 1972

Qo = 2,27 = 0,00063
Qt = 2,09
t = 270 jours

α = 0,0003

Wo = 18 x 10^{3} m3

La formule du tarissement pour cette année est

$Qt = 0,00063\ e^{-0,0003t}$

8-3-2-6- La source Oued Rumaimine

Pour cette source on a établi la courbe du tarissement pour l'année 1967 - Figure 8-35

Qo = 100 m3/h = 0,0277 m2/s

Qt = 77 m3/h
t = 180 jours
α = 0,0014
Wo = 17 x 10^{5} m3

La formule du tarissement de la source pour cette année est

$Qt = 0,0277\ e^{-0,0014\ t}$

COURBE DES TARISSEMENTS

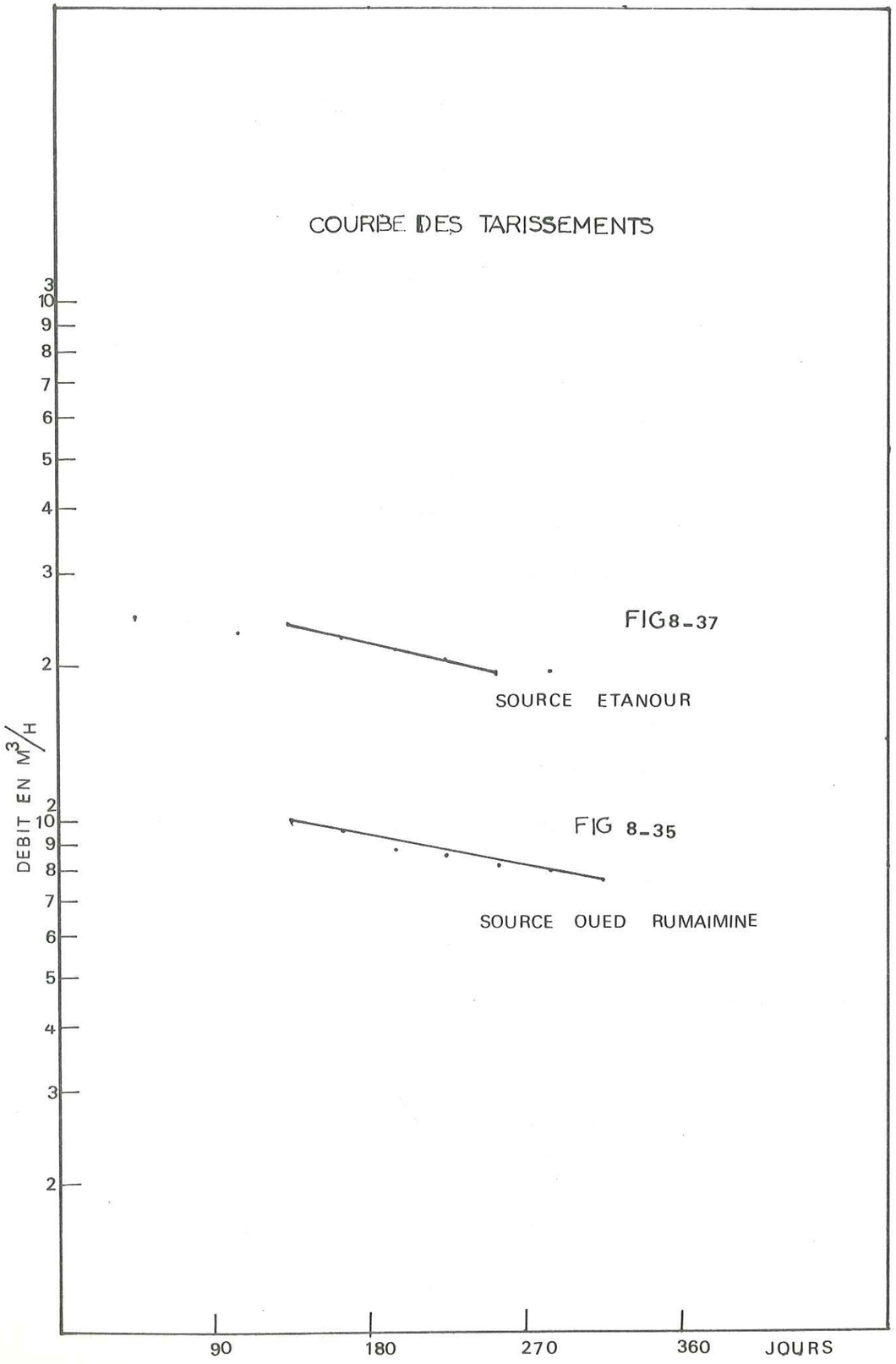


FIG8-37

SOURCE ETANOUR

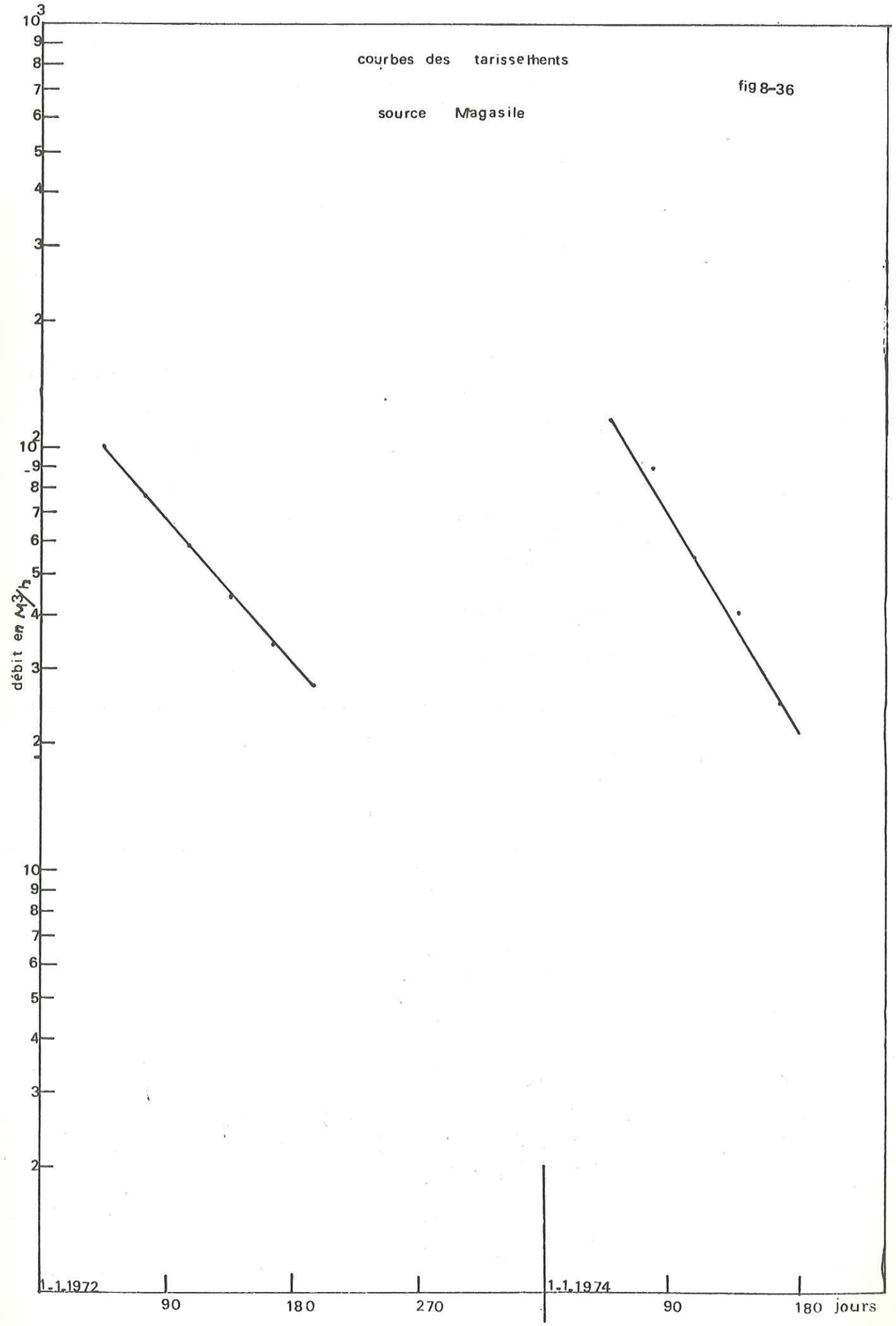
FIG 8-35

SOURCE OUED RUMAIMINE

courbes des tarissements

fig 8-36

source Magasile



8-3-2-7- La source El Magasil

Pour cette source on a établi les courbes de tarissement pour les années 1972 et 1974

Pour l'année 1972 - Figure 8-36

Qo = 100 m3/h = 0,0277 m3/s
Qt = 27,5 m3/h
t = 150 jours

d'où $\alpha = 0,0101$
$Wo = 23,6 \times 10^4$ m3

Donc la formule du tarissement pour cette année est

$Qt = 0,0277\ 1^{-0,0101\ t}$

Pour l'année 1974 - Figure 8-36

Qo = 118 m3/h = 0,0327 m3/s.
Qt = 25 m3/h
t = 120 jours

d'où $\alpha = 0,0129$

$Wo = 22 \times 10^4$ m3

Donc la formule du tarissement pour cette année est :

$Qt = 0,0327\ e^{-0,0129}$

8-3-2-8- Source Al Tanour

La courbe du tarissement de cette source pour l'année 1968 est tracée figure 8-37

Qo = 243 m3/h = 0,0675 m3/s
Qt = 193 m3/h
t = 120 jours

d'où $\alpha = 0,0019$

$Wo = 3 \times 10^6$ m3

La formule de tarissement est donc

$Qt = 0,0675\ e^{-0,0019\ t}$

8-3-2-9- Source El Ties

Pour cette source on a tracé dexu courbes de tarissement pour les années 1965 et 1968.

Pour l'année 1965 - Figure 8-38

Qo = 155 m3/h = 0,043 m3/h
Qt = 45 m3/h
t = 120 jours

d'où $\alpha = 0,010$

$Wo = 37 \times 10^4$ m3

Donc la formule de tarissement pour cette année est

$Qt = 0,04\ e^{-0,01\ t}$

Pour l'année 1968 - Figure 8-38

Qo = 360 m3/h = 0,1 m3/s
Qt = 96 m3/h
t = 120 jours

d'où $\alpha = 0,011$

$Wo = 78,5 \times 10^4$ m3

La formule du tarissement de cette année est

$Qt = 0,1\ e^{-0,011\ t}$

8-3-2-10- Source El Birkatien

Pour cette source on a tracé la courbe du tarissement pour l'année 1969 - Figure 8-39

Q = 620 m3/h = 0,172
Qt = 153 m3/h
t = 150 jours

d'où $\alpha = 0,010$

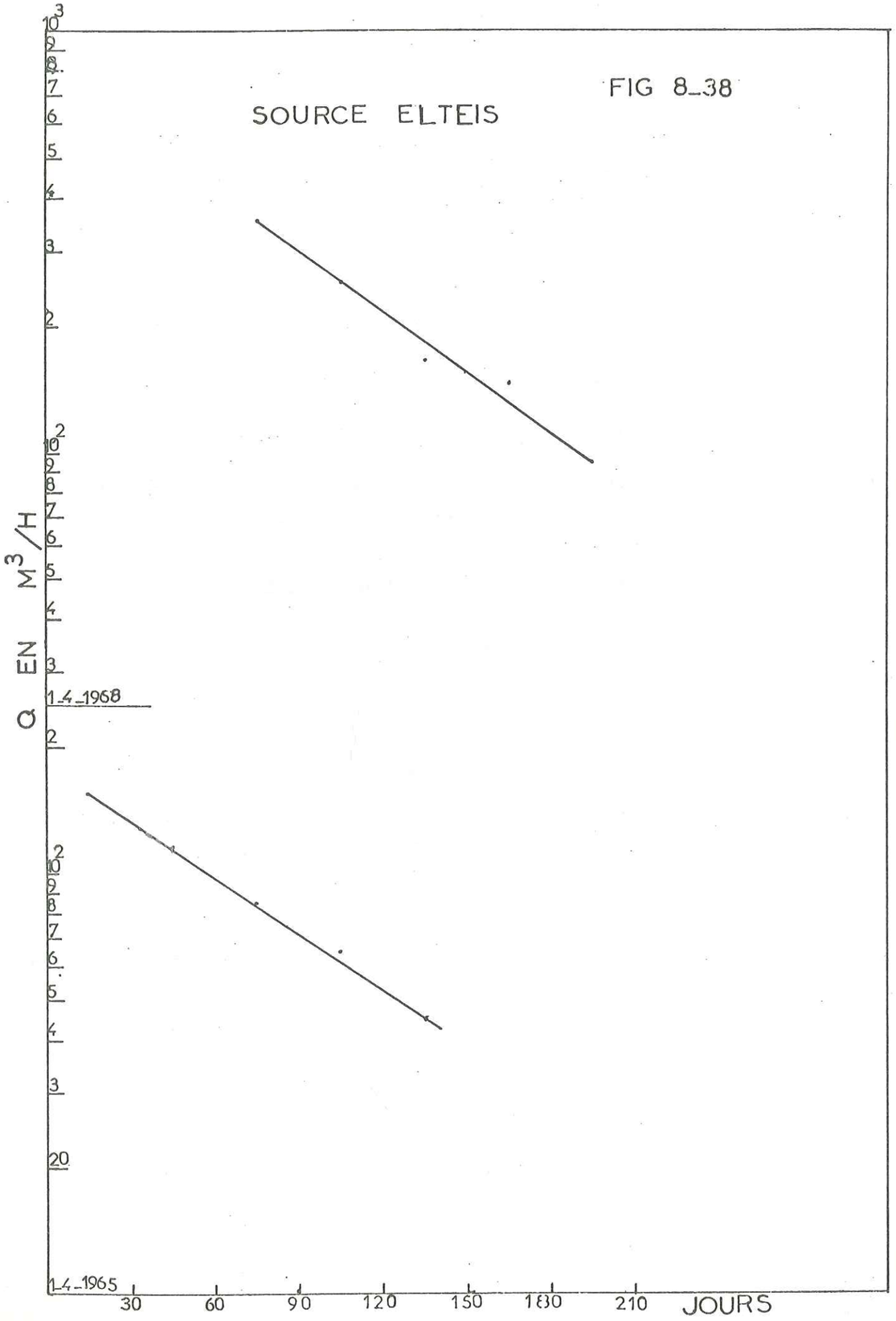
$Wo = 1,4 \times 10^6$ m3

Donc la formule du tarissement est

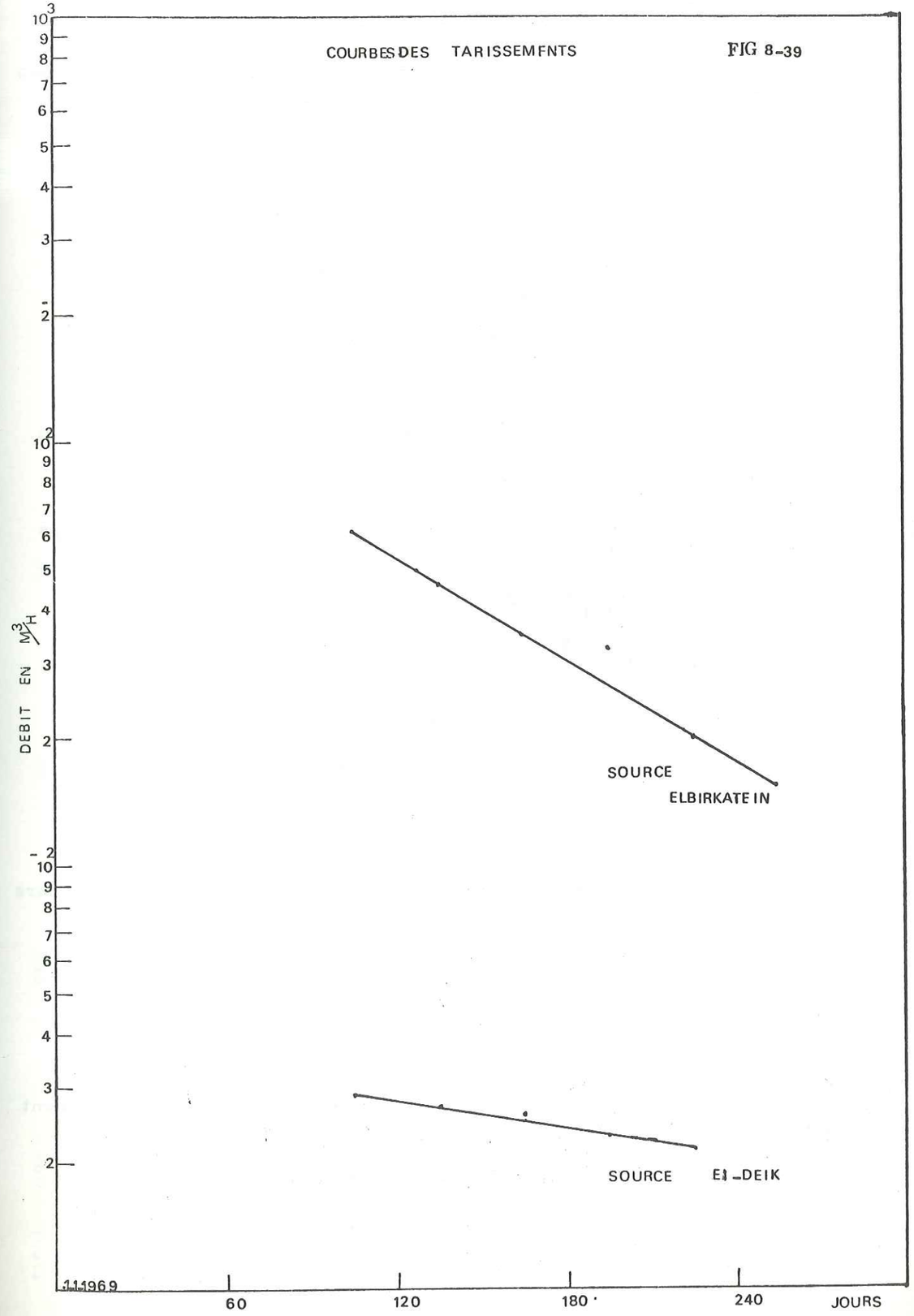
$Qt = 0,172\ e^{-0,01\ t}$

FIG 8_38

SOURCE ELTEIS



COURBES DES TARISSEMENTS FIG 8-39



8-3-2-11- Source El-Diek

On a tracé la courbe de tarissement pour l'année 1969 Figure 8-39

Qo = 290 m3/h = 0,08
Qt = 111 m3/h t = 120 jours

d'où α = 0,008 et Wo = 86 x 10^4 m3

Donc la formule de tarissement est =

$Qt = 0,08^{e- 0,008\ t}$

8-3-3- Formule de Tison

Nous avons appliqué la formule de Tison a onze sources dans la région étudiée. Ce sont les onze sources pour lesquelles nous avons déjà appliqué la formule de Maillet. La formule de Tison est valable pour un milieu à écoulement turbulent.

On admet que les débits décroissent en fonction du temps comme l'inverse de leur racine carrée :

$$Qt = \frac{Qo}{(1+\alpha t)^2}$$

$$\sqrt{Qt} = \frac{\sqrt{Qo}}{1+\alpha t}$$

Le volume des réserves à l'instant o est

$Wo = \frac{Qo}{\alpha} \times 86400$ et à l'instant t $W_t = \frac{Qo}{1+\alpha t} = 86400$

Qo = débit au début du tarissement en m3/s.
Qt = débit à l'instant t en m3/s
t = temps écoulé depuis le début du tarissement en jours
α = coefficient de tarissement

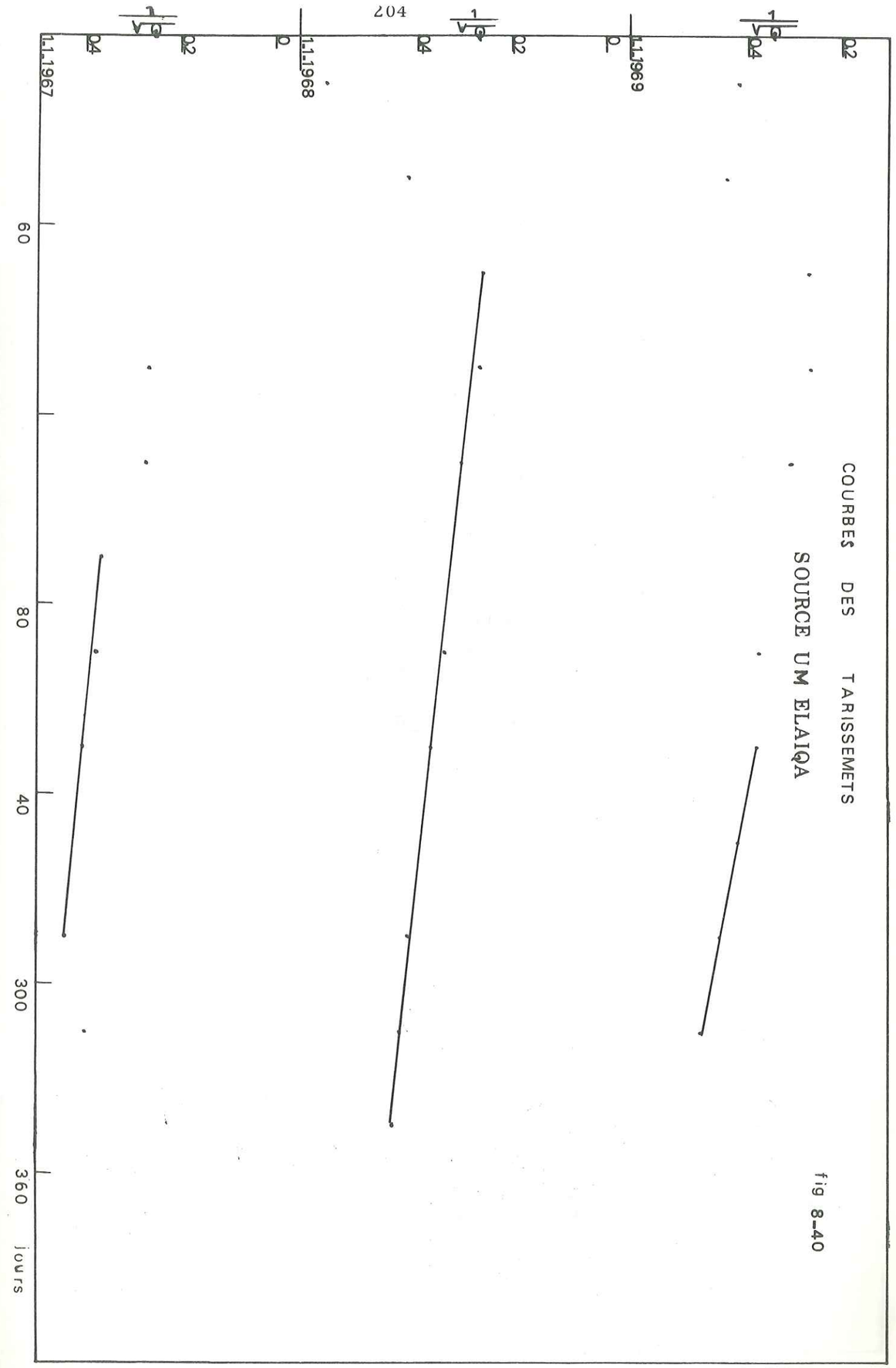
Pour la présentation graphique nous portons sur un diagramme arithmétique, en abscisse le temps t et en ordonnées l'inverse de la racine carrée des débits.

8-3-3-1- Source Um Olliega

Pour cette source on a établi la courbe de tarissement pour les années 1938, 1969 et 1968.

Pour l'année 1938 (Figure 8-40)

Qo = 14,5 m3/h = 0,004 m3/s



Qt = 5 m3/h
t = 270 jours

d'où α = 0,0026

Wo = 13×10^4 m3 et

La formule de tarissement est

$$Qt = \frac{0,004}{(1 + 0,0026\ t)^2}$$

Pour l'année 1969 - Figure 8-40

Qo = 6,7 m3/h = 0,0018 m3/s
Qt = 4,5 m3/h
t = 120 jours

d'où α = 0,0018

Wo = $8,6 \times 10^4$ m3

La formule du tarissement pour cette année est

$$Qt = \frac{0,0018}{(1 + 0,0018\ t)^2}$$

Pour l'année 1967 - Figure 8-40

Qo = 7,4 m3/h = 0,002 m3/s.
Qt = 5 m3/h
t = 120 jours
d'où α = 0,0018

Wo = $9,6 \times 10^4$ m3

La formule du tarissement de cette source pour cette année est

$$Qt = \frac{0,0020}{(1 + 0,018\ t)^2}$$

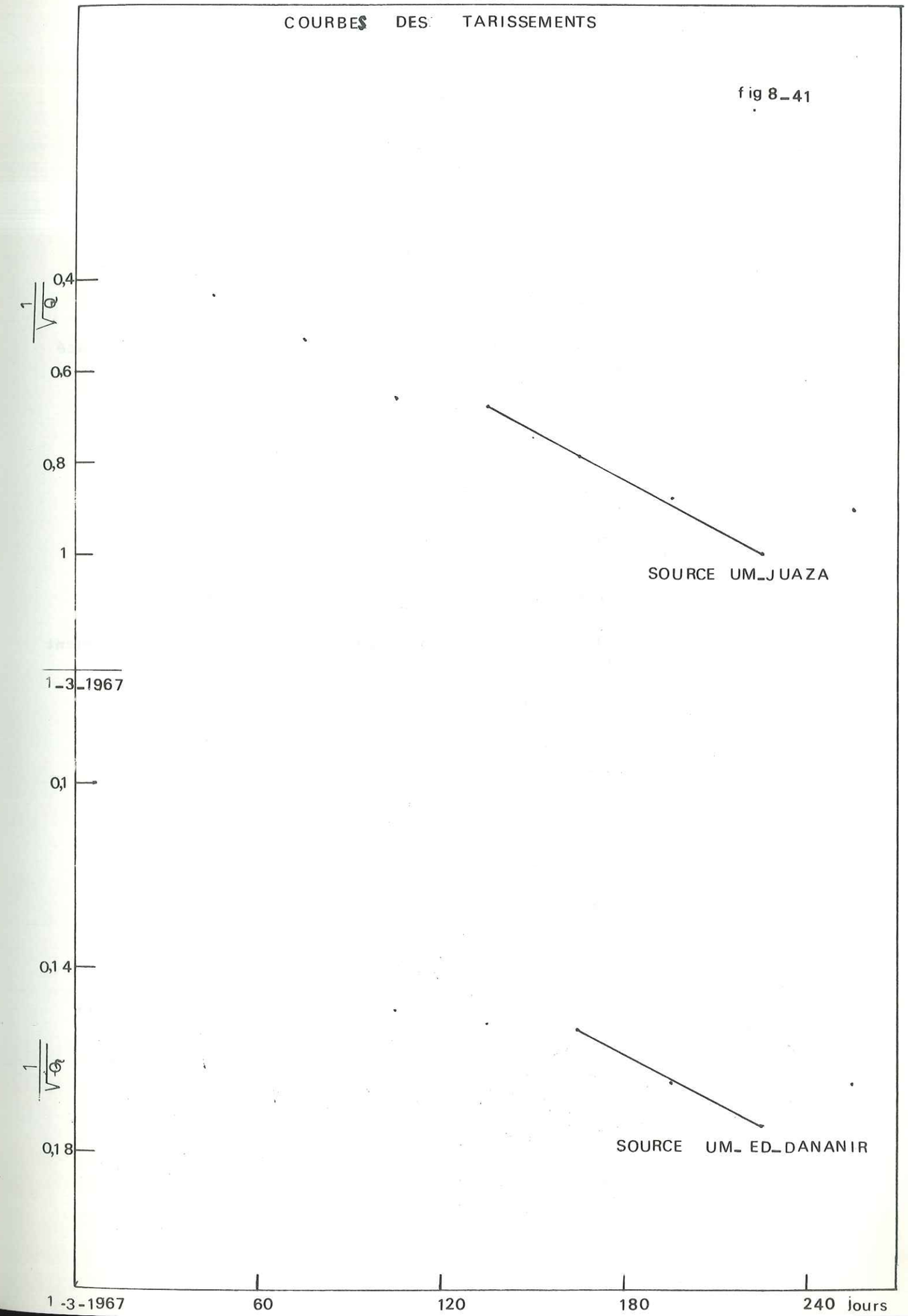
8-3-3-2- La source Um Ed-Dananir - Figure 8-41

Pour cette source, on a tracé la courbe du tarissement pour l'année 1967.

Qo = 43 m3/h = 0,0119 m3/s
Qt = 33 m3/hr
t = 60 jours

COURBES DES TARISSEMENTS

fig 8-41



d'où $\alpha = 0,00235$

$Wo = 4,3 \times 10^5$ m3

La formule de tarissement est

$$Qt = \frac{0,0119}{(1 + 0,00235\ t)^2}$$

8-3-3-3- Source Um Jouza - Figure 8-41

La courbe du tarissement de cette source a été tracé pour l'année 1967 avec :

$Qo = 2$ m3/h $= 0,0005$
$Qt = 1,3$ m3/h
$t = 90$ jours
d'où $\alpha = 0,0027$
$Wo = 17 \times 10^3$ m3 et

$$Qt = \frac{0,0005}{(1 + 0,0027\ t)^2}$$

8-3-3-4- Source Mubis - Figure 8-42)

On a tracé pour cette source la courbe du tarissement pour l'année 1970 avec :

$Qo = 7,1$ m3/h $= 0,00197$
$Qt = 5$ m3/h
$t = 150$ jours
d'où $\alpha = 0,00127$

$Wo = 12 \times 10^4$ m3

La formule de tarissement est

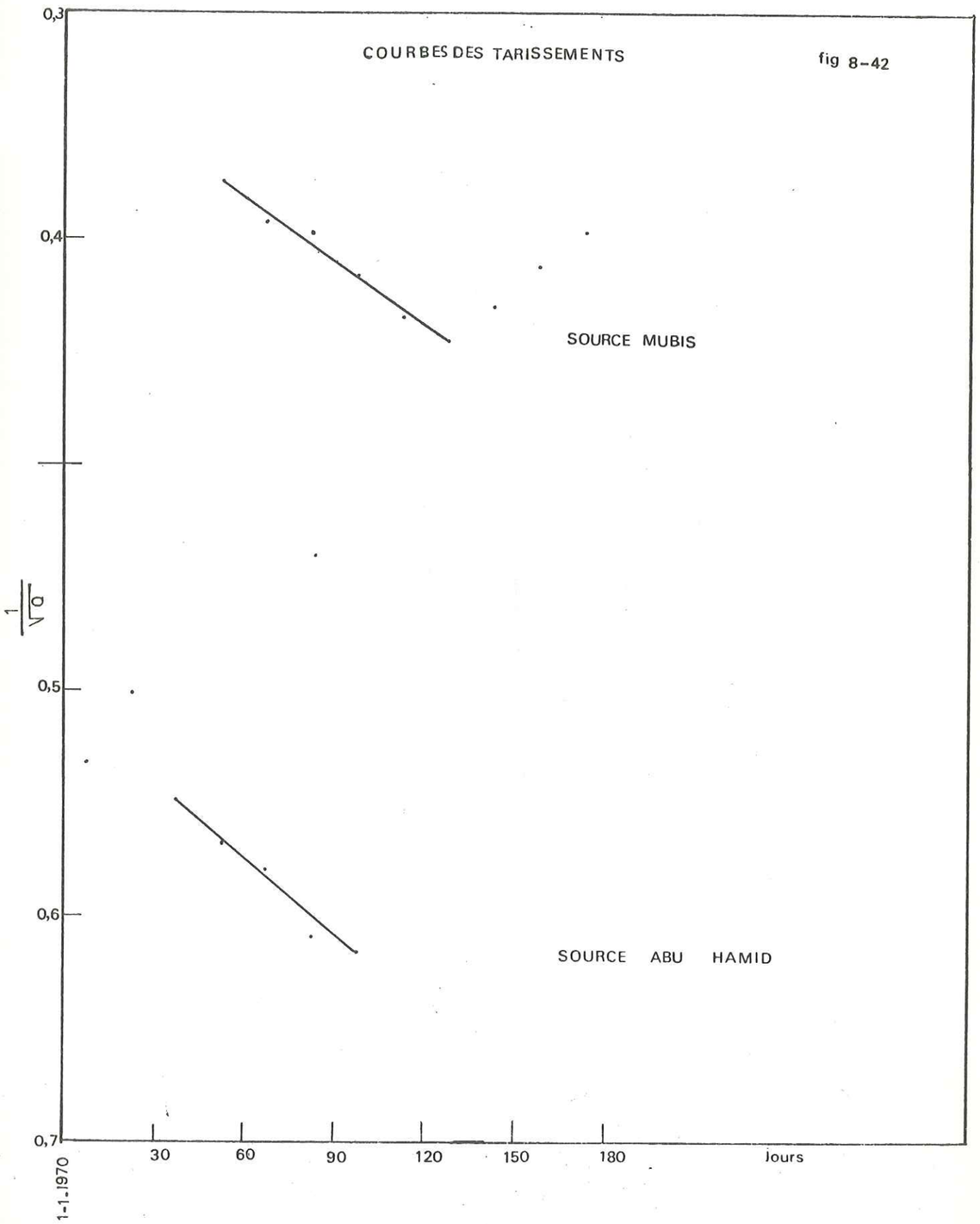
$$Qt = \frac{0,00197}{(1 + 0,00127\ t)^2}$$

8-3-3-5- Source Abou Hamid - Figure 8-42

On a tracé la courbe du tarissement de cette source pour l'année 1970 avec

$Qo = 3,3$ m3/h
$Qt = 2,6$ m3/h
$t = 120$ jours
d'où $\alpha = 0,0010$

$Wo = 79200$ m3



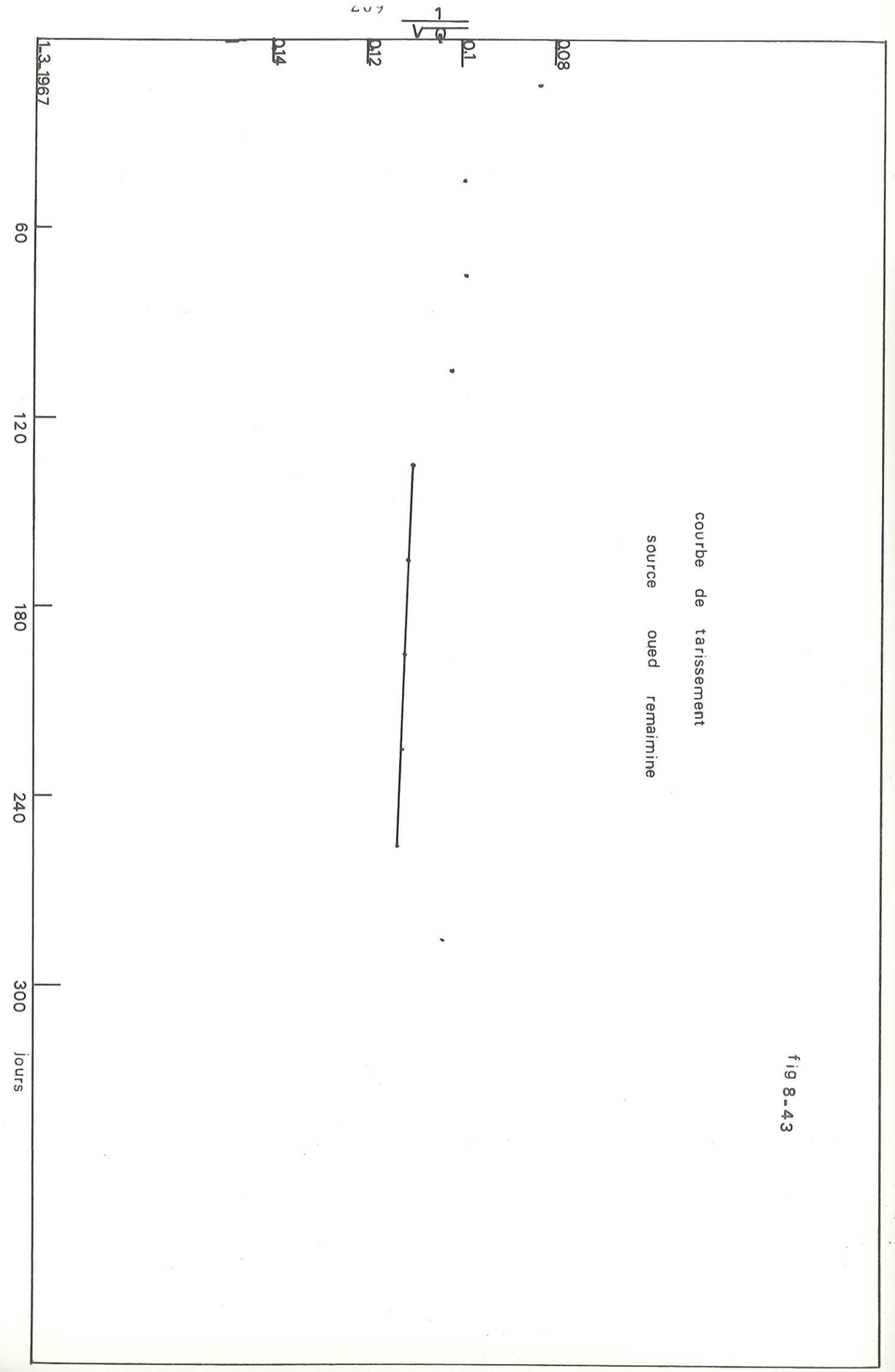


fig 8-43

Donc la formule du tarissement pour cette source est

$$Qt = \frac{0,0069}{(1+0,001\ t)^2}$$

8-3-3-6- Source oued Rumaimine

La courbe du tarissement de cette source pour l'année 1967 est montrée par la figure 8-43 avec :

Qo = 82 m3/h = 0,0227 m3/s
Qt = 78 m3/h
t = 120 jours
d'om α = 0,00021

$Wo = 9 \times 10^6$ m3

La formule du tarissement est :

$$Qt = \frac{0,0227}{(1 + 0,00021\ t)^2}$$

8-3-3-7- Source El Magasile

Pour cette source on a tracé la courbe de tarissement pour les années 1972 et 1974.

Pour l'année 1972 - Figure 8-44

Qo = 108 m3/h = 0,03 m2/s.
Qt = 28 m3/h
t = 150 jours
d'où α = 0,0064

$Wo = 4 \times 10^5$ m3

Laformule du tarissement est donc

$$Qt = \frac{0,03}{(1 + 0,0064\ t)^2}$$

Pour l'année 1974 - Figure 8-44

Qo = 101 m3/h = 0,028
Qt = 42 m3/h
t = 120 jours

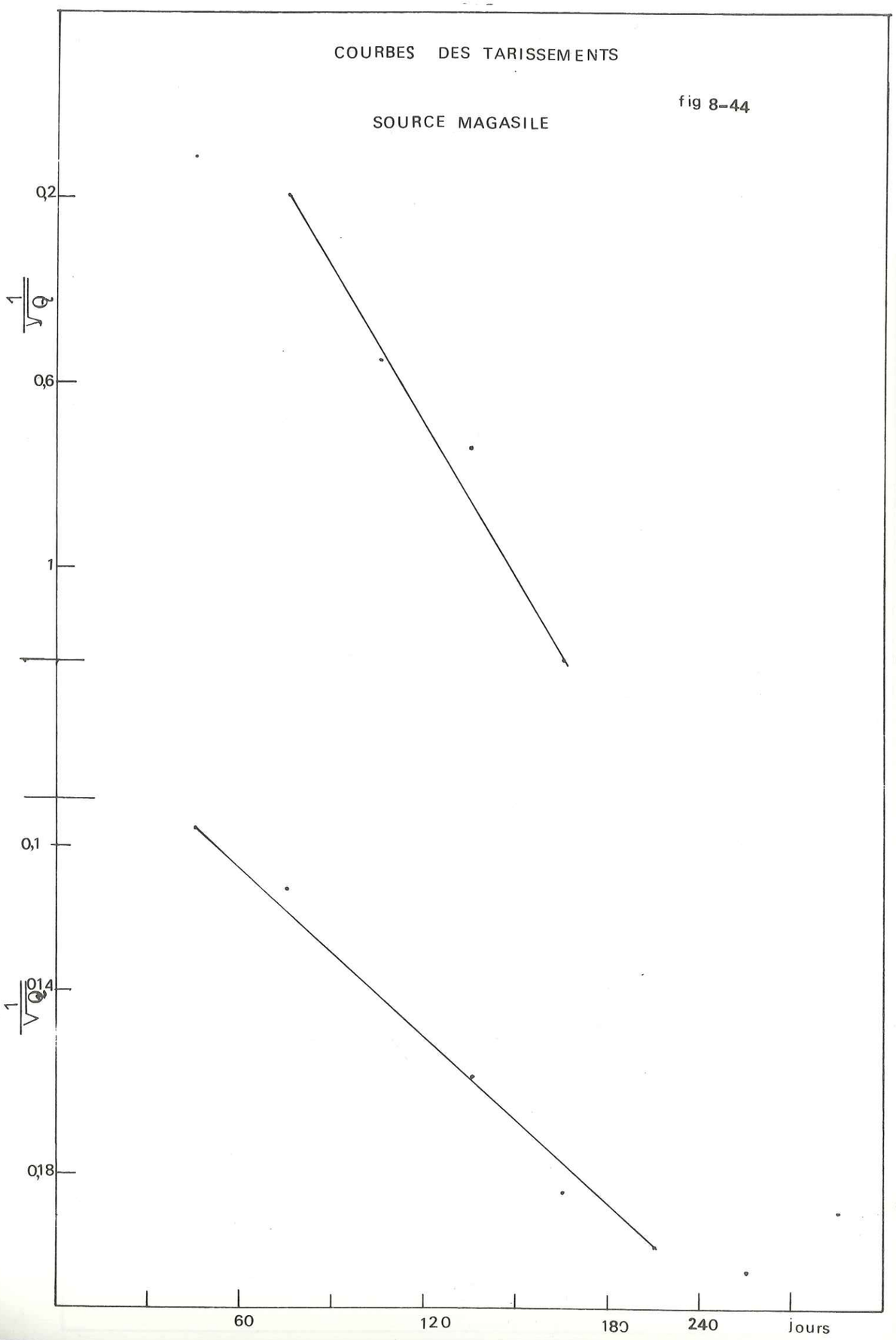
d'où α = 0,00458

$Wo = 4,2 \times 10^5$

COURBES DES TARISSEMENTS

fig 8-44

SOURCE MAGASILE



La formule du tarissement est donc

$$Qt = \frac{0,028}{(1 + 0,00458\ t)^2}$$

8-3-3-8- Source Al Tanour (Figure 8-45)

On a fait la courbe de tarissement pour cette source pour l'année 1968 -

Qo = 243 m3/h = 0,0675
Qt = 210 m3/h
t = 60 jours

d'où α = 0,00126

Wo = $4,6 \times 10^6$ m3.

La formule du tarissement de cette source pour l'année 1968 est :

$$Qt = \frac{0,0675}{(1 + 0,00126\ t)^2}$$

8-3-3-9- Source El Ties (Figure 8-45)

On a tracé pour cette source la courbe de tarissement pour l'année 1968

Qo = 387 m3/h = 0,1075 m3/s
Qt = 97 m3/h
t = 120 jours
d'où = 0,0083

Wo = $1,1 \times 10^6$ m3

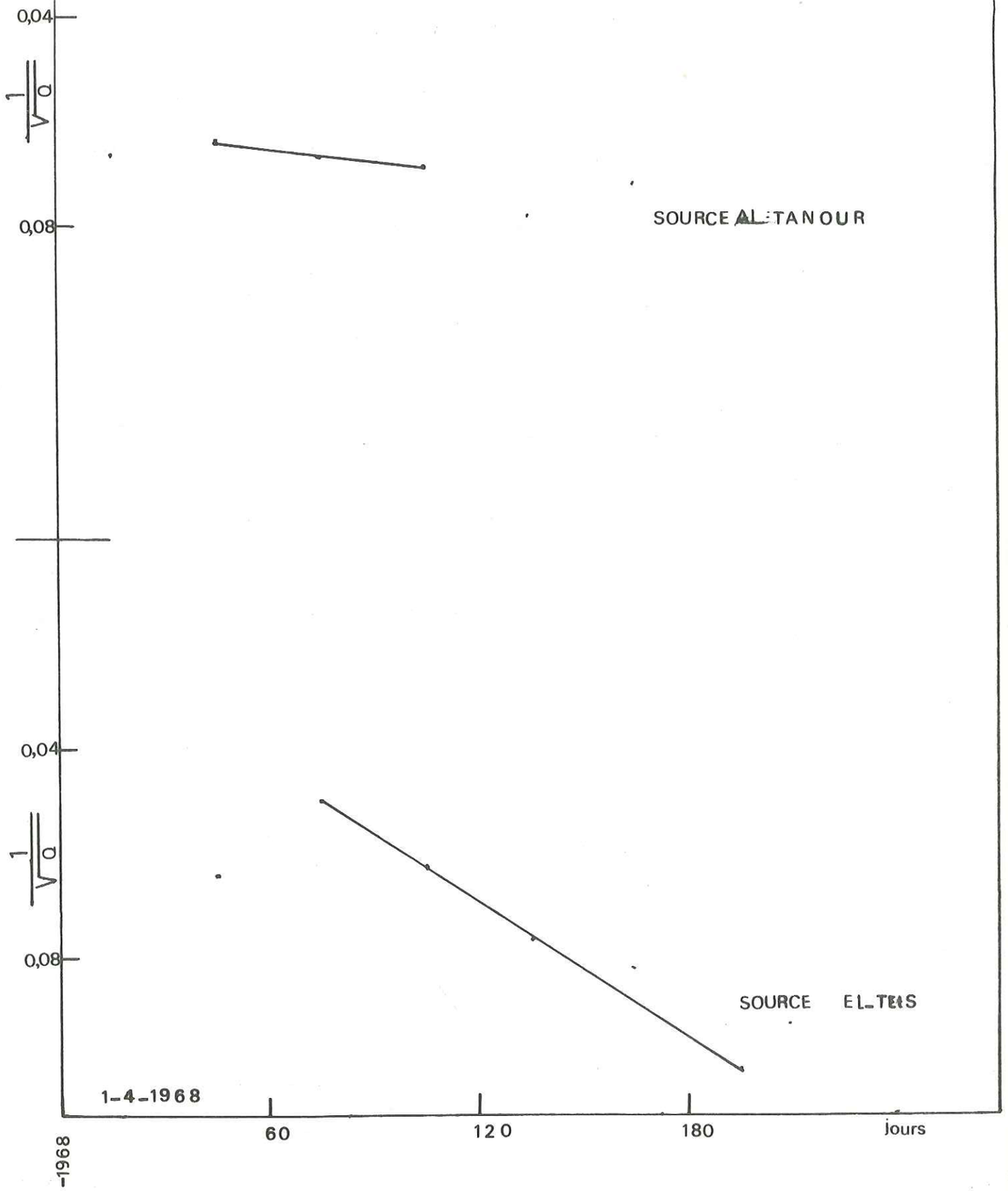
La formule du tarissement de cette source pour l'année 1968 est

$$Qt = \frac{0,1075}{(1 + 0,008\ t)^2}$$

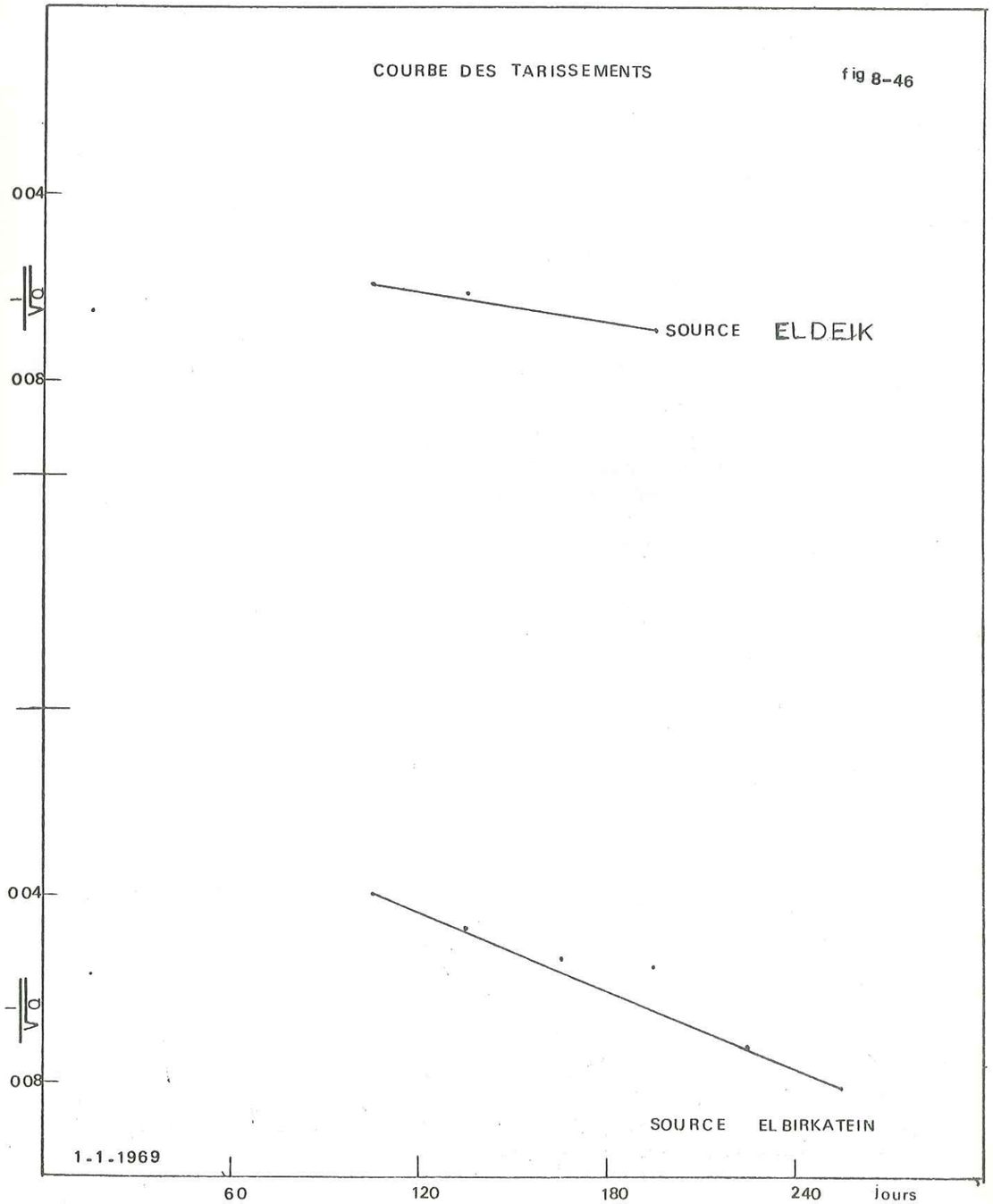
8-3-3-10 - Source El Birkatien

La courbe du tarissement de cette source pour l'année 1969 est montrée sur la figure 8-46

COURBES DES TARISSEMENTS Fig 8-45



COURBE DES TARISSEMENTS fig 8-46



Qo = 619 m3/h = 0,171
Qt = 152 m3/h
t = 150 jours

d'où α = 0,0068

Wo = $2,1 \times 10^6$ m3

Donc la formule du tarissement de cette source pour l'année 1939 est :

$$Qt = \frac{0,171}{(1 + 0,0068\ t)^2}$$

8-3-3-11- Source El Diek (Figure 8-46)

Pour cette source on a tracé la courbe du tarissement pour l'année 1969.

Qo = 288 m3/h = 0,08 m3/s
Qt = 211 m3/h
t = 90 jours

d'où α = 0,00187

Wo = $3,4 \times 10^6$ m3

La formule du tarissement pour cette année est

$$Qt = \frac{0,108}{(1 + 0,0187\ t)^2}$$

8-3-4- Conclusion

On peut constater, tout d'abord, que pour certaines sources, telles que Magashel, Abou Hamide, El-Teis et Um Olliega, le coefficient de tarissement α obtenu par la formule de Maillet est constant au cours de quelques années, et que le volume des réserves dynamiques est aussi constant.

Pour les autres sources, on n'a pas de données sur une période supérieure à un an.

Pour les sources de grands débits dans la région de Jerash, telles que Al-Tanour, El-Teis , El -Diek et El- Birkatien, les volumes des réserves emmagasinées sont comparables d'une source à l'autre. Ces réserves traduisent l'importance du volume des vides dans les calcaires.

Le tableau 8-2 résume les valeurs des coefficients de tarissement et des volumes des réserves des sources dans notre région.

TABLEAU 8-2

LES VALEURS DU COEFFICIENT DE TARISSEMENT ET DES VOLUMES DES RESERVES DES SOURCES

Année	Source	Formule de Maillet		Formule de Tison	
		α	W en m^3	α	W en m^3
1967		0,0032	$0,054 \times 10^6$	0,0018	$0,096 \times 10^6$
1968	Um olliega	0,0041	$0,086 \times 10^6$	0,0026	$0,13 \times 10^6$
1969		0,0054	$0,047 \times 10^6$	0,0015	$0,686 \times 10^6$
1967	Um ed-dananir	0,0034	$0,31 \times 10^6$	0,00235	$0,43 \times 10^6$
1967	Um Jauza	0,0084	$0,01 \times 10^6$	0,0027	$0,017 \times 10^6$
1971	Mubis	0,0016	$0,097 \times 10^6$	0,00127	$0,12 \times 10^6$
1970	Abou Hamide	0,005	$0,019 \times 10^3$	0,001	$0,079 \times 10^6$
1972	" "	0,003	$0,018 \times 10^3$	-	-
1967	Rumaimine	0,014	$1,7 \times 10^6$	0,00021	9×10^6
1972	El Magasil	0,0101	$0,236 \times 10^6$	0,0064	$0,4 \times 10^6$
1974	" "	0,0129	$0,22 \times 10^6$	0,00458	$0,42 \times 10^6$
1968	Al Tanour	0,0019	3×10^6	0,00126	$4,6 \times 10^6$
1965	El Ties	0,01	$0,37 \times 10^6$	0,0083	$1,1 \times 10^6$
1968	" "	0,011	$0,785 \times 10^6$		
1969	El Birkatien	0,010	$1,4 \times 10^6$	0,068	$2,1 \times 10^6$
1969	El Diek	0,008	$0,86 \times 10^6$	0,0010	$3,4 \times 10^6$

Les sources qui présentent les valeurs du coefficient de tarissement les plus fortes sont celles qui sortent des calcaires très fracturésoù il y a aussi des chenaux plus développés.

On peut constater par ailleurs, que les valeurs des réserves calculées par la formule de Maillet, sont presque systématiquement égales à la moitié de celles calculées par la formule de Tison.

Ce résultat a été constaté déjà par de nombreux auteurs dans d'autres régions.

8-4- ETUDE DE L'INFLUENCE DES POMPAGES SUR LES PUITS SUR LES SOURCES DANS LA REGION DE JERASH

Il était intéressant de faire cette étude car il a été remarqué que le débit des sources était influencé par le pompage des puits dans deux localités de la région de Jerash. Une de ces localités est l'oued El Majar- El-Tannour; l'autre est la localité oued El Birkateine.

Dans ces deux localités, il faut remarquer que les sources et les puits sont alimentés par les calcaires fissurés, karstifiés de la formation Naur A 1/2. Nous étudierons successivement les problèmes posés dans chaque localité.

8-4-1- Localité oued El-Majar-El Tanour

Dans cette localité l'étude a été faite sur deux puits privés et une source de grand débit. Les deux puits sont J1 (Faleh Garaibeh) et J3 (Munier El Akhras), la source est El Tanour. La figure 8-47 montre la localisation de ces trois points.

Les deux puits se trouvent a l'amont de la source tandis que le puits J3 et la source El Tanour se trouvent à l'aval du puits J1.

La source El-Tanour a un débit très considérable qui varie entre 23 et 365 m3/h (pour la période 1965-1975).

La cote d'émergence de cette source est de 470 m. Le puits J1 est situé à 1400 m au Nord-Ouest de la source El-Tanour tandis que le puits J3 est situé à 400 m au Nord de la Source. Le puits J3 est situé à 1000 m au Sud-Est du puits J1.

Le tableau page n°219 résume les principales caractéristiques des deux puits.

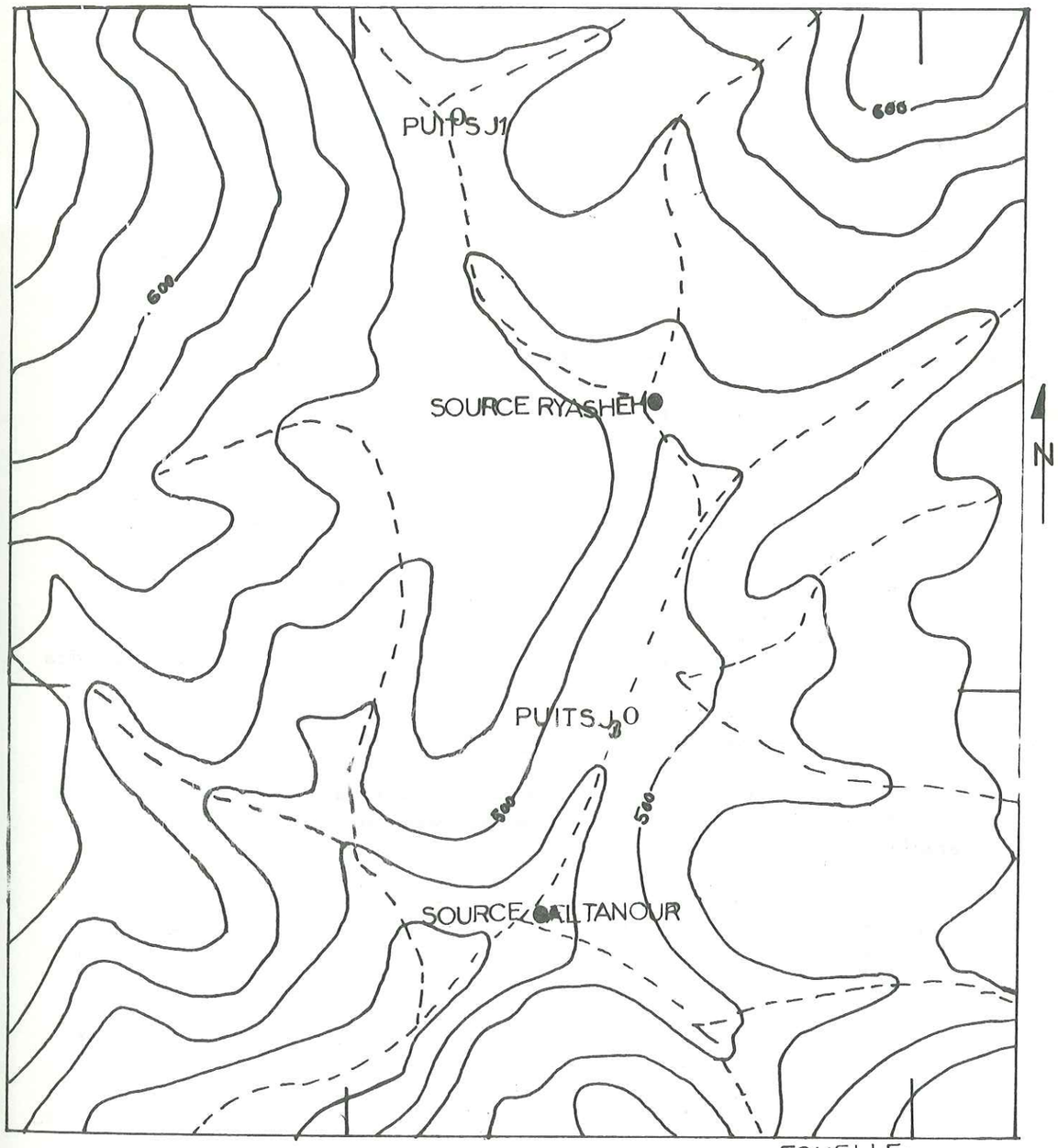


FIG 8-47 CARTE DE LOCALISATION OUED EL MAJAR

ECHELLE 200m

	Puits J1	Puits J3
Profondeur	52 m	68 m
Tubage	De 0 à 52 m en 254 mm	De 0 à 41 m en 254 mm
Crépine	De 16 à 52 m	De 12 à 38 m
N. Statique	15.69 m	3, 5 m
Débit	100 m3/h	Variable selon le pompage en J1
Rabattement	18, 14 m	Variable selon le débit

Les instruments utilisés pendant cette étude ont été :

a) deux pompes verticales de type Johnston (une pour chaque puits)

b) deux appareils (M. scope) pour mesurer le niveau d'eau statique ou dynamique dans chaque puits.

c) un déversoir pour mesurer le débit de la source El Tanour.

d) deux compteurs pour mesurer les débits de pompage des puits.

Le pompage et les mesures de débit

Le pompage a été continué pendant une semaine sans arrêt dans le puits J3, tandis que le pompage dans le puits J1 n'était pas continué.

La mesure de débit de la source a été faite pendant trois semaines: Une semaine avant de commencer le pompage, une semaine pendant le pompage et une semaine après l'arrêt du pompage. La hauteur d'eau de la source était 20, 7 cm avant le pompage.

8-4-1-1- Effet du pompage du puits J1 sur la source

Le pompage du puits J1 a commencé 8 heures avant le pompage du puits J3 pour savoir l'effet de ce puits sur la source pendant le pompage. Le débit de pompage du puits J3 étant de 100 m3/h.

Après 8 heures de pompage, la hauteur de la source a commencé à baissé. A ce moment là on a commencé le pompage du puits J3 (ce débit était variable à cause du pompage du puits J1). Après 41 heures de pompage la hauteur d'eau de la source était fixe à (16, 3 cm) c'est -à-dire 4, 4 cm de moins. A ce moment là, on a arrêté le pompage du puits J1 mais le pompage du puits J3 a continué. Trois heures près l'arrêt du pompage du puits J1, la hauteur d'eau de la source a remonté jusqu'à 19 cm puis on a recommencé le pompage de ce puits pour 32 Heures

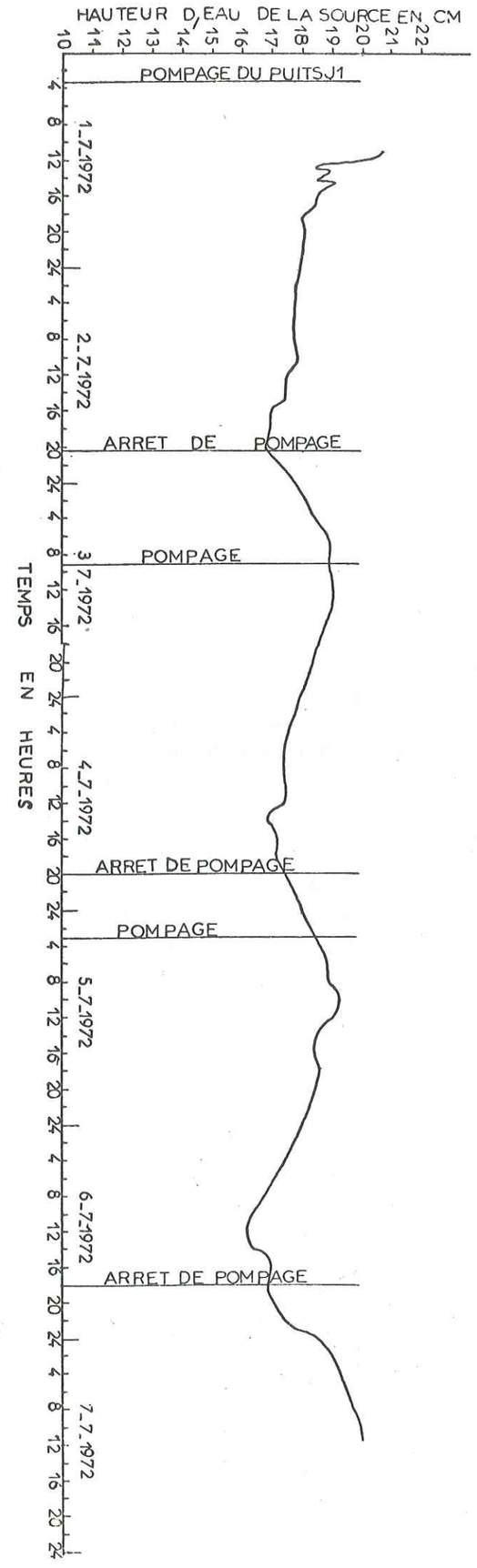


FIG 8.48

VARIATIONS DES DEBITS DE LA SOURCE EL-TANOUR PENDANT LA PERIODE DE POMPAGE DU PUITS J1

La hauteur d'eau de la source en conséquence a baissé jusqu'à 16,3 cm.

La même période de pompage et d'arrêt a été répétée. Toutes les fois on a eu presque le même abaissement et la même remontée de la hauteur d'eau de la source.

A la fin de la période de cette étude la hauteur d'eau de la source a remonté jusqu'à 21.1 cm, 18 heures après l'arrêt du pompage du puits J1. Pour bien montrer l'effet du pompage du puits J1 sur la source El-Tanour ona tracé sur une courbe en abscisse le temps de pompage en heures du puits J1 et en ordonnée la hauteur d'eau dans la source - figure 8-48.

8-4-1-2- Effet de pompage du puits J1 sur le puits J3

Le débit de pompage de puits J3 était variable pendant la période de notre étude, selon le temps de pompage et l'arrêt du pompage dans le puits J1. Ceci indique que le pompage dans le puits J1 a un effet sur le puits J3. Pour montrer cet effet on a tracé sur une courbe en abscisse le temps de pompage et l'arrêt de pompage en heures du puits J1 et en ordonnée le rabattement dans le puits J3 (Figure 8-49)

A partir de cette courbe, on remarque que pendant le pompage du puits J1, le niveau dynamique dans le puits J3 s'abaisse jusqu'à un maximum de 39 m tandis que le débit décroit. Pendant l'arrêt de pompage ce niveau remonte jusqu'à 10 m et le débit augmente à nouveau.

8-4-1-3- Effet du pompage du puits J3 sur la source Al-Tanour

Pour savoir cet effet, pendant le pompage du puits J1 on a essayé d'avoir un débit de pompage du puits J3 de 90 m3/h. Mais on n'a eu ce débit que pendant 20 minutes. Les mesures de la hauteur d'eau de la source ont montré que la source n'est pas affectée directement par le pompage du puits J3. D'autre part, toutes les mesures qui ont été faites montrent que le pompage avec un débit de 25m3/h du puits J3 n'influence pas le débit de la source Al-Tanour. Tandis que le pompage du puits J1 influence le puits J3 et la source en même temps. L'influence du pompage sur la source est d'environ 25% du débit total de la source.

Cette influence peut être expliquée par le fait que l'eau de la nappe dans cette localité est en charge avec un gradient hydraulique fort 8-50 et que l'écoulement de l'eau souterraine est concentré le long de l'oued El-Tanour où la perméabilité est très élevée par rapport aux terrains voisins . Par conséquent l'influence du pompage du puits J1 apparaît très vite dans le puits J3 et la source El Tanour.

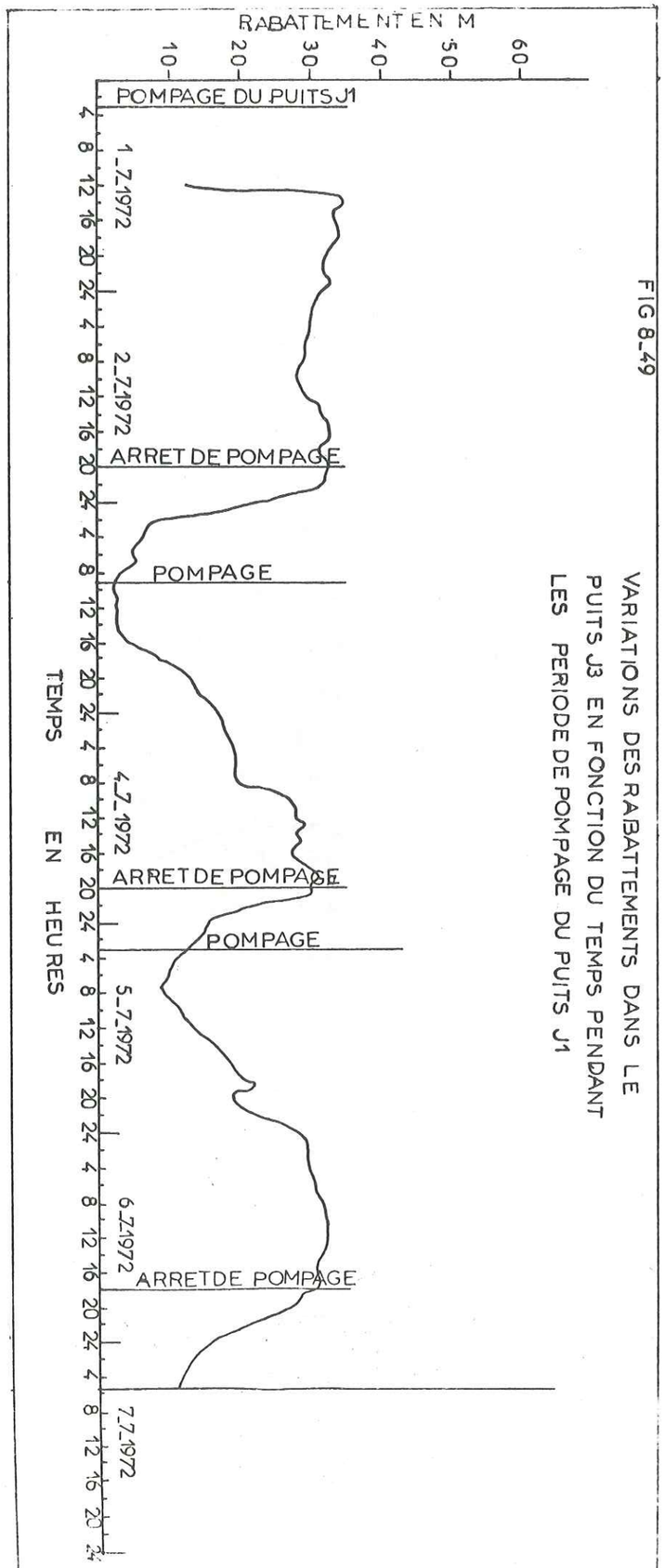


FIG 8-49

VARIATIONS DES RABATTEMENTS DANS LE PUITS J3 EN FONCTION DU TEMPS PENDANT LES PERIODE DE POMPAGE DU PUITS J1

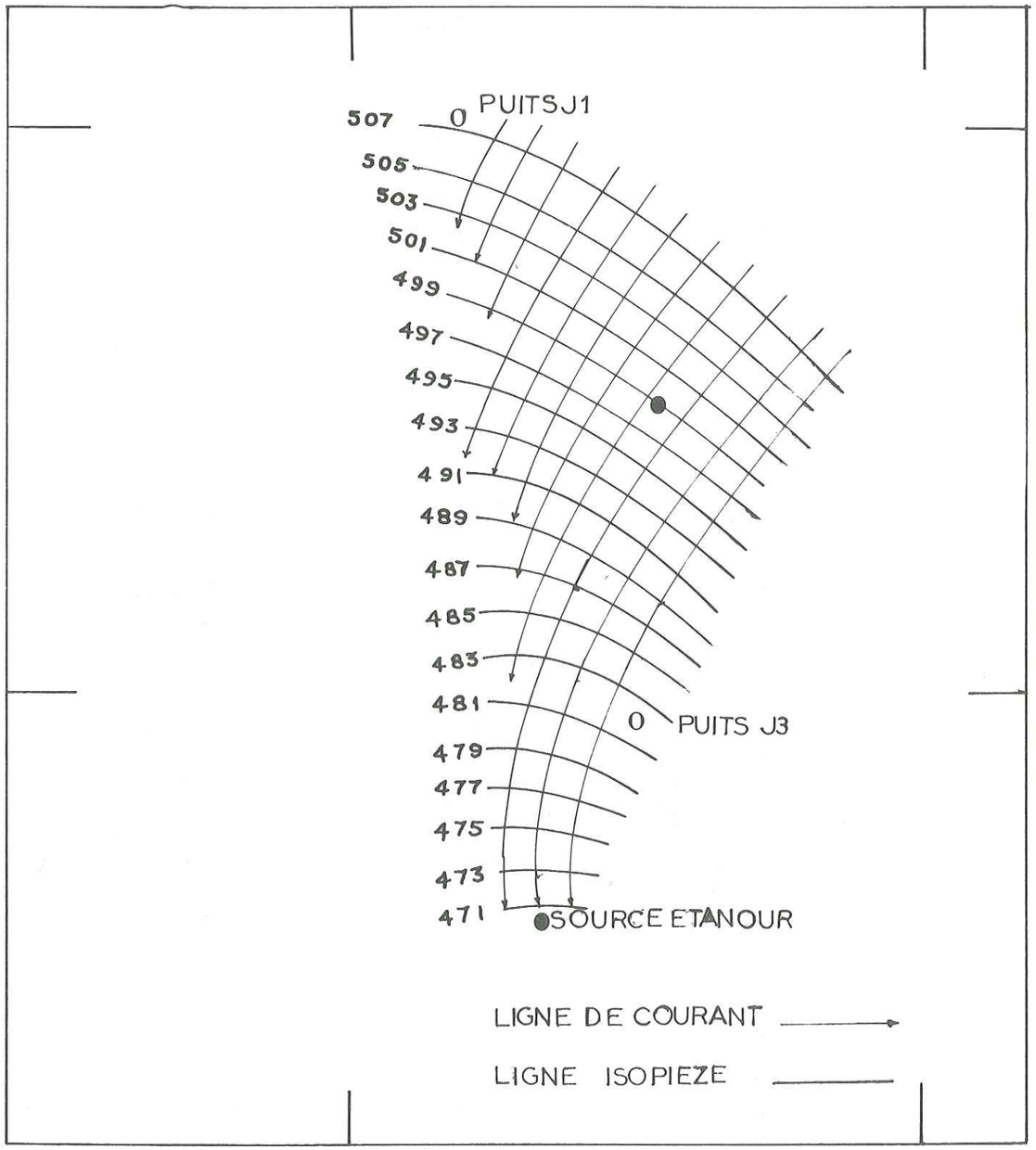


FIG 8_50 ECOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINNES

OUED ELMAJAR_EL TANOUR

8-4-2- Dans la localité oued El Birkatien

Il existe dans cette localité un puits privé (Said El Yagoub) B1 et deux sources El Shawahid et El Birkatien. Cette dernière source a un débit considérable tandis que la source Shawahid à un débit faible et pendant la période d'étude il n'y avait pas d'écoulement de cette source. Les mesures ont donc été faites sur le puits B1 et la source El Birkatien.

Le puits B1 est situé à 550 m en amont et au Nord de la source El Birbatien et à 800 mètres à l'ouest de la source Eshawahid. La figure 8-51 montre la localisation de ce puits qui alimente en eau potable le camp situé à 700 mètres environ et en eau pour l'irrigation d'environ 300 doname (1 doname = 1000 m2) de terrain de culture. Le pompage de ce puits est continu.

Les instruments utilisés : une pompe verticale de type Johnston pour pomper l'eau du puits, un déversoir pour mesurer le débit de la source.

Effet du pompage du puits B1 sur la source Birkatien.

Pour montrer cet effet on a pompé le puits a un débit constant de 50 m3/h pendant 72 heures de pompage et en même temps on a observé le débit de la source durant cette période.

On a pu arrêter le pompage pendant 10 heures avant de commencer notre étude. Ensuite on a pompé à un débit de 50 m3/h pendant une période de 72 heures continue.

Pour bien montrer cet effet on a tracé sur une courbe en abscisse le temps en heures et en ordonnée, le débit de la source pendant la période de pompage c'est-à-dire une courbe qui montre les variations de débit pendant la période de pompage de puits B1 (Figure 8-52). Cette courbe a prouvé la relation entre la source et le puits.

Il y a une augmentation du débit de la source pendant les trois premières heures. Cela est dû à l'arrêt du pompage pendant 10 heures avant le commencement de l'essai. Cette augmentation était de l'ordre de 40 m3/h. Ce débit était fixe pendant 14 heures.

Ensuite ce débit a commencé à diminuer pour atteindre 30 m3/h après 47 heures de pompage. Ce débit était constant durant 24 heures. L'influence maximale du pompage du puits sur la source a donc été atteint

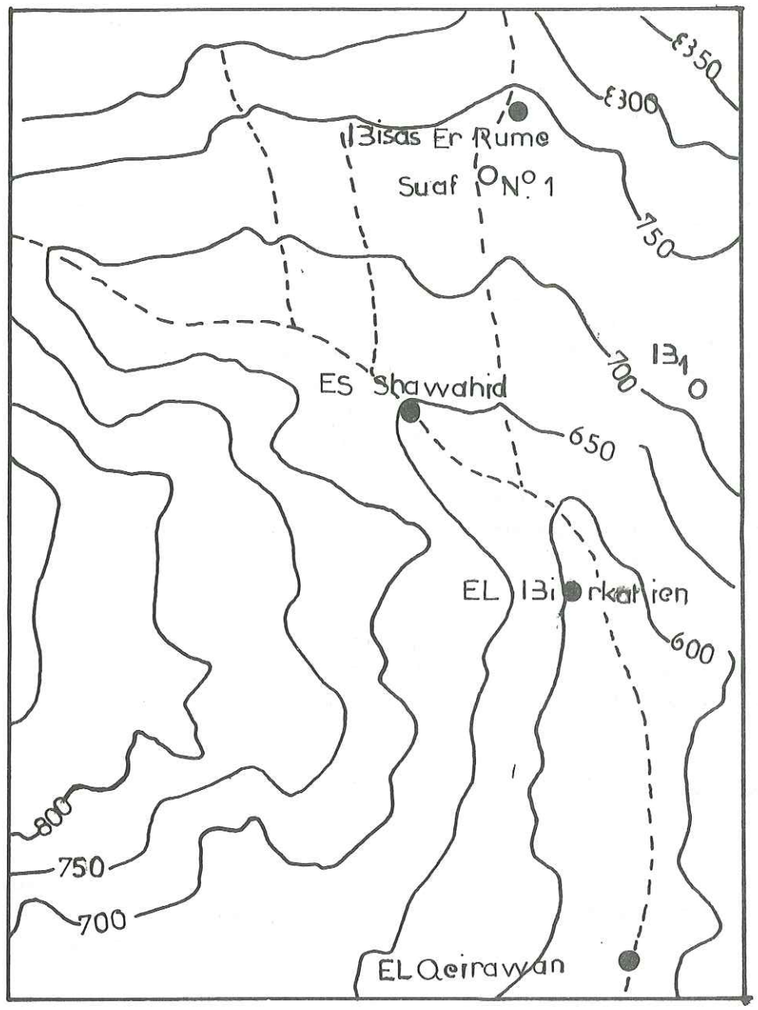


FIG 8_51 CARTE DE LOCALISATION OUED ELBIRKATIEN

● SOURCE
o PUITS

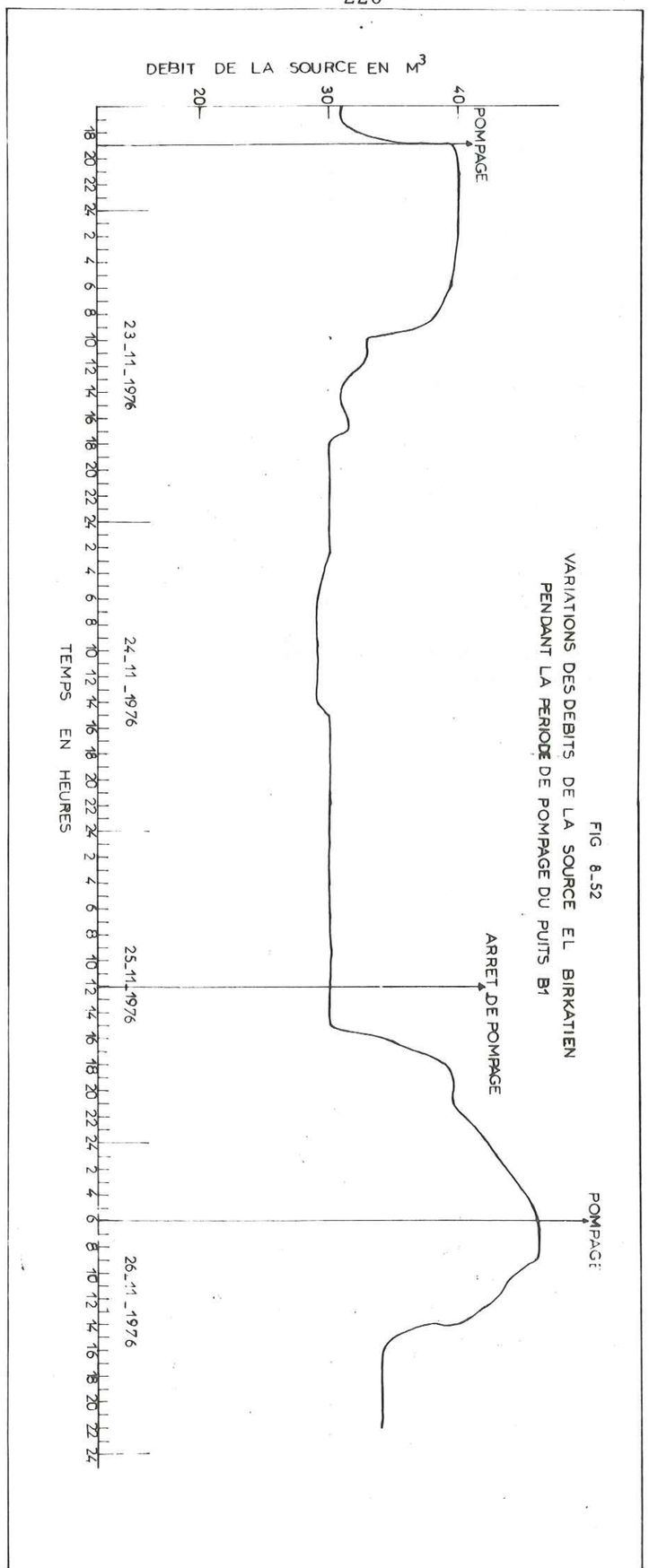


FIG 8_52 VARIATIONS DES DEBITS DE LA SOURCE EL BIRKATIEN PENDANT LA PERIODE DE POMPAGE DU PUITS B1

72 heures après le commencement de l'essai, l'arrêt de pompage du puits entraine une augmentation du débit de la source qui a atteint 46 m3/h. Ce débit est resté fixe pendant 4 heures et a été considéré comme le débit maximum de la source sans aucune influence.

A partir de cela on constate que l'influence du pompage du puits B1 sur la source est d'environ 16m3/h, valeur qui représente 12 % du débit de la source.

8-4-3- CONCLUSION

1- Le pompage du puits qui se trouve en amont peut influencer le débit soit de la source, soit du puits qui se trouve à l'aval et qui est alimenté par le même aquifère.

2- Le temps d'apparition de cette influence est très court (maximum 6 heures)tandis que le temps de disparition de cette influence après l'arrêt de pompage est moins court.

3- L'écoulement des eaux souterraines est concentré sous les oueds où la perméabilité est très élevée par rapport aux terrains avoisinants.

C H A P I T R E IX

IX - BILAN ET POSSIBILITES D'EXPLOITATION DE L'EAU DANS LE SECTEUR DE BAQA

9-1- EXPLOITATION ACTUELLE

9-2- FLUCTUATIONS DU NIVEAU DE LA NAPPE

9-3- DEBIT DE L'ECOULEMENT SOUTERRAIN

9-4- RESERVES REGULATRICES DE LA NAPPE

9-5- LES RESERVES PERMANENTES

9-6- VARIATIONS DES RESERVES

9-7- ESSAI DE BILAN HYDROLOGIQUE

9-8- LES PROBLEMES DU SABLE FIN

IX - BILAN ET POSSIBILITES D'EXPLOITATION DE L'EAU DANS LA REGION DE BAQA

Dans ce chapitre, nous essayerons d'évaluer les ressources en eaux souterraines exploitables dans la nappe du secteur de Baqa d'après les résultats obtenus lors des études sur l'écoulement de la nappe et sur les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères.

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 extrait 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.

9-1- EXPLOITATION ACTUELLE DES EAUX SOUTERRAINES

Les eaux souterraines du secteur de Baqa sont exploitées surtout pour les besoins d'irrigation agricole de la région et aussi pour les besoins en eau potable de l'agglomération du camp de Baqa ainsi que d'une partie de la ville de Suweilih. La majorité de l'exploitation des eaux souterraines dans la région est effectuée par des forages et le reste par des puits creusés à la main qui sont peu nombreux.

Les forages équipés d'un moteur sont exploités avec des débits totaux de $1,5 \times 10^{6}$ m3/an.

Les sources du secteur de Baqa ont un débit de l'ordre de 8760 m3/an (source Ain El Basha).

Le volume total exploité à partir de la nappe est donc de l'ordre de $1,5 \times 10^{-6}$ m3/an.

9-2- FLUCTUATIONS DU NIVEAU DE LA NAPPE

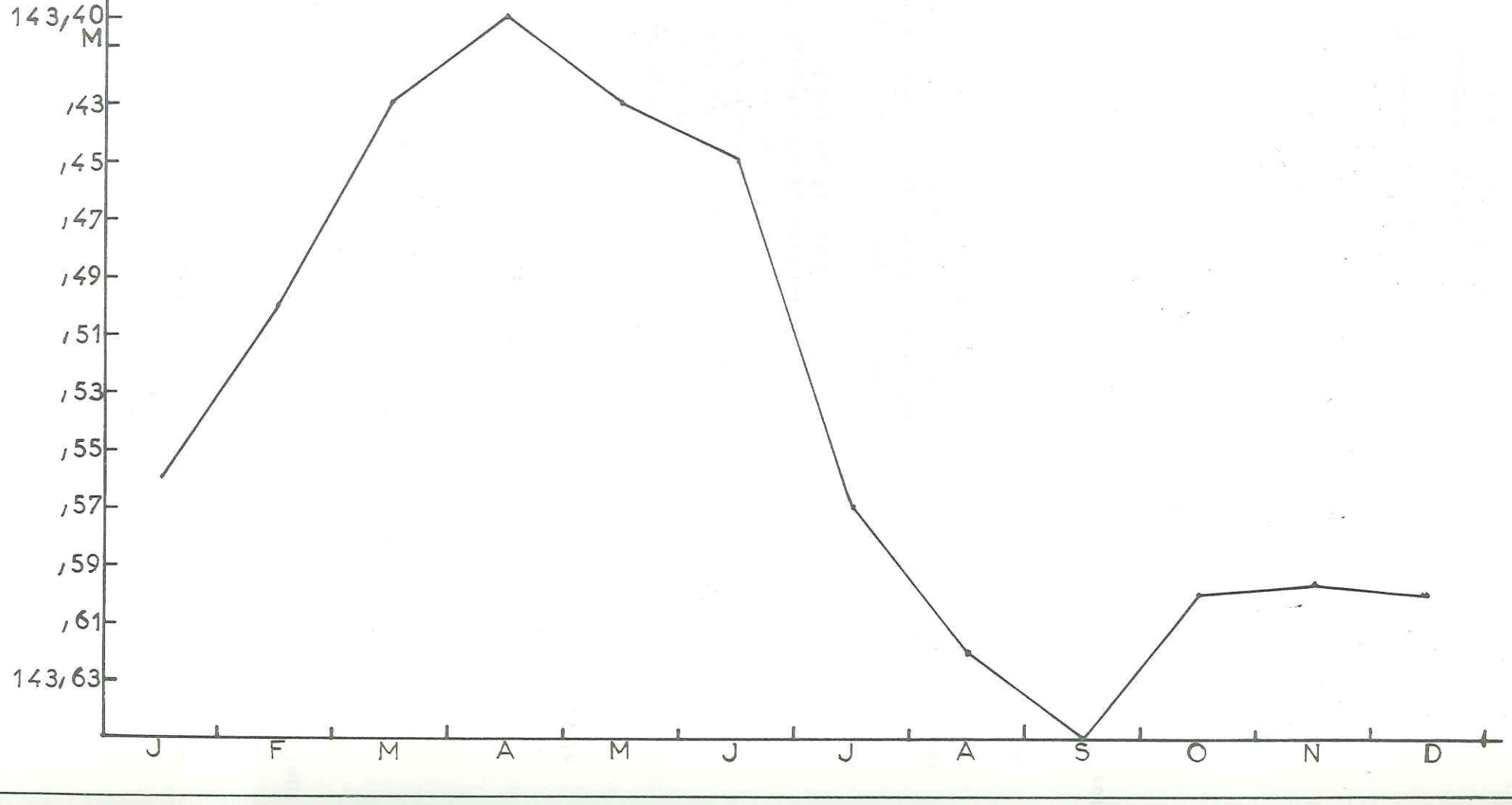
A l'aide d'un enregistreur qui a été placé dans le puits 17a (puits d'observation qui se trouve au centre la région de Baqa on a établi la courbe des variations mensuelles de la nappe - Figure 9-1.

Cette courbe indique que les basses-eaux se situent en Aout et Septembre tandis que les hautes eaux doivent se situer en mars, avril et mai.

On remarque que les pompages sont très importants pendant la période sèche, surtout pendant les moins d'avril, mai et Juin, mais

FIG 9_1

VARIATIONS DU NIVEAU MOYEN DE LA NAPPE DANS L'ENSEMBLE DU SECTEUR DE BAQA PENDANT L ANNEE 1974



l'influence de ces pompages est nette pendant les mois d'Aout et de Septembre.

La courbe des variations mensuelles de la nappe permet de mettre en évidence la relation existant entre les variations du plan d'eau de la nappe, les variations de la pluviométrie et l'exploitation des eaux souterraines.

Cette courbe montre la variation de la nappe au cours de l'année 1974 dans la partie centrale de la région. Les mesures qui sont faites sur les autres points d'eau sont moins précises car il y a toujours des pompages.

9-3- DEBIT DE L'ECOULEMENT SOUTERRAIN

Le débit de l'écoulement souterrain correspond à la quantité d'eau qui passe à travers une section de l'aquifère perpendiculaire à la direction de l'écoulement des eaux souterraines.

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

Q = K. S. I. = T. L. I.
K = perméabilité
S = surface de la section transversale de l'écoulement souterrain.
T = transmissivité
L = largeur de la section transversale
I = gradient de la nappe

On peut calculer la section transversale car on connait les hauteurs ou épaisseurs des aquifères et leurs largeurs, mais nous avons d'autres éléments qui ont été mesurés plus précisément comme le gradient hydraulique et la transmissivité.

Le gradient hydraulique i est donné de façon précise d'après le tracé de la carte piézométrique.

La transmissivité est déterminée par les essais de pompage sur plusieurs forages.

9-3-1- Les débits d'alimentation de la nappe à travers les sections amont

- Débit d'alimentation de la nappe à travers la section amont S.E. (d'Ain El Basha) Qam

$Qam_1 = T_1 \; I_1 \; L_1$

T_1 moyenne = 0, 02 m2/s

I_1 moyen = 0, 09

L_1 = 1200 m

Qam_1 = 0, 216 m3/s = $6,8 \times 10^6$ m3/an.

- Débit à travers la section amont (zone du Camp) à l'Est de la partie central Qam_2

$Qam_2 = T_2 \; i_2 \; L_2$

T_2 moyenne = 0, 0012 m2/s.

i_2 moyen = 0, 075

L_2 = 2300 m Qam_2 = 0, 207 m3/s = $6,5 \times 10^6$ m3/an

- Débit à travers la section amont de la zone d'Um Ed-Dananir au Sud de la région de Baqa Qam_3

$Qam_3 = T_3 \; i_3 \; L_3$

T_3 moyenne = 0, 001 m2/s.
i moyen = 0, 06
L_3 = 1000 m
d'où $Qam_3 = 2,8 \times 10^6$ m3/an = 0, 06 m3/s.

9-3-2- Les débits de sortie de la nappe aux exutoires

- Débit à travers la section aval à l'ouest de la partie centrale Qav

Qav = T L I

T moyenne = 0, 0027
i moyen = 0,075
L = 1500
Qav = 0, 3037 m3/s
= $9,5 \times 10^6$ m3/an

9-4- RESERVES REGULATRICES DE LA NAPPE

Les réserves régulatrices de la nappe sont le volume d'eau qui s'accumule temporairement au cours d'une année au-dessus du niveau le plus bas de la nappe.

Ce volume d'eau est donné par :

dW = A. dh. Me avec
dW : volume des réserves régulatrices en m3/an.
A = superficie du secteur de Baqa
dh : variation de hauteur de la nappe
Me : porosité efficace de l'aquifère.

Pour notre région :

$A = 56,1 \times 10^6$ m2
dh = 0,25 m
Me = 25 %
d'où $dw = 3,5 \times 10^6$ m^3/an.

Ce volume joue donc le rôle de régulateur du débit de toute la nappe; une partie de ces réserves représente les quantités prélevées pour l'irrigation et l'autre partie les pertes souterraines.

9-5- LES RESERVES PERMANENTES

C'est le volume d'eau emmagasiné au dessous de la zone de fluctuation de la surface de la nappe.

Il comprend la nappe superficielle et la nappe profonde. Pour notre secteur nous n'avons pris en considération qu'une seule nappe ; la nappe profonde.

La puissance moyenne de la nappe d'après les résultats de l'étude des forages est de 42 m.

Le volume de ces réserves est :

V = A.h.S.
V = volume des réserves
h : la puissance moyenne de la nappe en m
S = coefficient d'emmagasinement de l'aquifère déterminé par la méthode de Theis.
A = superficie de la nappe en m^3

Dans notre cas :

h = 42 m
$A = 56.1 \times 10^6$ m^2
S = 3,25 %
d'où $V = 76,5 \times 10^6$ m^3

Si on prend la valeur de S obtenue par la méthode de Jacob S =1
On obtient $V = 23,5 \times 10^6$ m^3.

La réalité doit se situer entre ces deux chiffres c'est-à-dire être de l'ordre de

50×10^6 m^3

9-6- ESSAI DE BILAN HYDROLOGIQUE

Le calcul du bilan hydrologique est fait pour l'année 1974-1975, connaissant les apports d'une part, et les prélèvements d'autre part.

L'équation classique d'un bilan hydrogéologique peut s'écrire

$$\pm \Delta V = Q_1 + R - (Q_{11} + P + E_t + D)$$

où Q_1 : apports en alimentation de la nappe
R : réalimentation à partir des prélèvements effectués dans la région
P : prélèvement dans la nappe
E_t : évapotranspiration par la surface de la nappe
ΔV : variation des réserves de la nappe
Q_{11} : débit aux exutoires
D : drainage de la nappe par la rivière

9-6-1- Q_1: apports

Ils sont déterminés à partir des débits d'écoulement souterrain correspondant à la quantité d'eau qui passe à travers une section de l'aquifère à l'amont

$$Q_1 = 15 \times 10^6 \ m^3$$

9-6-2- R : Réalimentation à partir des prélèvements

90 % des prélèvements dans la nappe sont utilisés pour l'irrigation dans notre région et on peut admettre que IO % du volume total prélevé P pourrait réalimenter la nappe. Donc nous aurons $1,5 \times 10^5 m^3$ par an.

9-6-3- E_t : Evaporation par la surface de la nappe

On sait que la profondeur de la nappe dans le secteur de Baqa est à plus de 10 mètres en dessous de la surface sauf dans le cas du village d'Ain El Basha. Les puits creusés à la main sont très peu nombreux et où la profondeur de la nappe superficielle est de l'ordre de 5 m au moins. Comme cette nappe est limitée on peut admettre qu'il n'y a pratiquement aucune évaporation à partir de la surface de la nappe d'autant plus que l'on s'intéresse surtout à la nappe profonde.

9-6-4- P : Prélèvements dans la nappe

Les prélèvements dans la nappe par les forages et puits creusés à la main sont estimés à l'ordre de $1,5 \times 10^6$ m^3/an.

9-6-5- Q_{11} : Débit aux exutoires

Ce débit est déterminé à partir du débit d'écoulement souterrain correspondant à la quantité d'eau qui passe à travers une section de l'aquifère à l'aval. Il est estimé à environ $9,5 \times 10^6$ m^3/an.

9-6-6- Drainage de la nappe par la rivière

Dans le secteur de Baqa, nous n'avons pas pu observer de signe que les eaux souterraines soient drainées par la rivière. Donc cette valeur sera considérée comme zéro dans l'équation classique du bilan hydrogéologique.

9-6-7- Variations des réserves

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

$$\Delta V = 15 \times 10^6 + 1,5 \times 10^5 - (9,5 + 1,5 + o + o)\ 10^6$$

$$\Delta V = 4,2 \times 10^6 \ m^3/an$$

On constate donc qu'à l'échelle de l'année du bilan les variations des réserves que l'on peut calculer sont plus grandes que les prélèvements.

Conclusion : d'après le bilan hydrogéologique on peut constater que :

- les apports d'eau vers la nappe dans la région sont plus importants que la seule alimentation de la nappe à partir de la pluviométrie.

- les variations des réserves correspondent au volume des réserves régulatrices calculées à partir du coefficient d'emmagasinement.

- les prélèvements dans la nappe sont inférieurs aux variations des réserves et à l'alimentation de la nappe à partir de la pluviométrie.

9-7- POSSIBILITES D'EXPLOITATION DE LA NAPPE

Les possibilités d'exploitation de la nappe varient selon la localité, la profondeur de la nappe et aussi selon la nature de l'aquifère.

L'exploitation est aussi liée à la pluviométrie dans la région.

L'exploitation de la nappe a commencé en 1967 par un seul forage dans la zone du camp mais le nombre de forages a augmenté chaque année à partir de l'année 1971. La majorité des forages ont été effectués pendant les années 1976 et 1977 et en même temps il y a eu l'augmentation des prélèvements d'eau dans la nappe. Malgré tout on n'a pas constaté de baisse de rendement des ouvrages existants.

L'exploitation de la nappe dans le secteur de Baqa pourrait être plus forte que l'exploitation actuelle et en cas de nécessité, on peut donc augmenter le débit d'exploitation jusqu'à l'ordre de 3×10^6 m3/an sans altération du régime des eaux souterraines et de la quantité de l'eau.

9-8- PROBLEMES DU SABLE FIN

Dans tous les forages dans le secteur de Baqa l'aquifère est constitué de grès et de sables fins qui créent de grands problèmes pour l'exploitation, car on a des entrainements de sable vers l'intérieur du forage.

Si la vitesse de l'eau est grande, celle-ci peut déplacer des gros grains et l'écoulement du sable commence. Dans le cas de sables fins, les grains étant très petits, une petite vitesse suffit pour les déplacer.

Le poids spécifique des grains joue un rôle très important pour l'écoulement du sable. On sait que la formule de Taylor est valable

$$\frac{h}{b} = \frac{\varepsilon s - 1}{1 + e}$$

ou

h : charge hydraulique (au point considéré)
b : épaisseur de l'aquifère sableux

$\frac{h}{b}$: gradient hydraulique

εs : poids spécifique du sable
e : porosité du sable.

Pour l'exploitation de l'eau par forages la présence du sable fin pose les problèmes suivants :

- pendant le forage avec l'appareil à rotation le sable s'écoule, et il faut faire une boue dense.

- l'échantillonnage n'est pas correct pendant le forage (mélange des grains ou séparation des grains des différentes couches).

- difficultés de tubage et gravillonnage

- entrée de sable surtout au développement du forage puis pendant l'exploitation.

Les solutions proposées pour les problèmes d'exploitation du sable fin sont :

1 - Diminuer la vitesse d'entrée d'eau dans le forage en dessous de la vitesse critique pour ne pas avoir de déplacement des grains mais ceci ne peut se faire qu'au prix d'une diminution du débit.

2 - Utiliser des crépines très fines après analyse granulométrique de chaque couche aquifère. Cette étude est très délicate et il faut avoir un bon échantillonnage des aquifères traversés et ceci entraine aussi une diminution du débit.

3 - Gravillonner les forages autour des crépines avec du gravier calibré en fonction du diamètre des grains du terrain. Ceci permet d'éviter l'entrainement du sable sans déduction du débit.

Pour résoudre le problème du sable fin, il existe des crépines en plastique à fentes très mince (0, 5 mm) avec deux tubes emboîtés l'un dans l'autre. L'espace intermédiaire est rempli de grains plastiques. On arrive ainsi à diminuer la vitesse d'entrée de l'eau, mais la surface d'ouverture est très diminuée car l'ouverture totale ne dépasse pas 5 % de la surfaœ totale.

L'utilisation expérimentale des crépines plastiques n'a pas donné de bons résultats. Après 3-5 jours d'utilisation les grains de sables enfoncés dans les fentes en plastique ont fermé 20 % des ouvertures des fentes.

On est donc amené à l'heure actuelle à améliorer la mise en place de gravier additionnel pour empêcher l'arrivée du sable dans le forage.

CHAPITRE X

X - ETUDE ISOTOPIQUE DES EAUX LA REGION DE BAQA

10-1- GENERALITES

10-2- ECHANTILLONNAGE

10-3- LE DOSAGE

10-4- CONCLUSION

X - ETUDE ISOTOPIQUE DES EAUX DE LA REGION DE BAQA

10-1- GENERALITES

Les études isotopiques dans les eaux souterraines sont très importantes pour connaître l'alimentation actuelle des nappes.

En considérant que l'exploitation des eaux souterraines dans les régions arides et semi-aride est essentielle, le calcul du bilan hydrogéologique doit être fait en étroite relation avec la détermination de l'âge des eaux des nappes.

L'étude des eaux souterraines doit donc être complétée par la connaissance de l'age des eaux par utilisation des isotopes présents dans ces eaux.

10-1-1- Les isotopes utilisés dans l'étude des eaux

Les isotopes utilisés dans l'étude des eaux souterraines sont divisés en deux groupes.

- le groupe des isotopes instables
- le groupe des isotopes stables.

10-1-1-1- Les isotopes instables sont, soit les isotope qui existent naturellement dans les eaux, ou les isotopes artificiels qu'on ajoute dans les eaux souterraines pour connaître leur parcours.

Les isotopes instables sont le Tritium, le carbone 14 et le silicium 32. Ce sont des isotopes naturels mais actuellement leur abondance est surtout due aux réactions qui se produisent dans l'atmosphère lors des explosions thermonucléaires.

Pour les études isotopiques des eaux de notre région, des analyses des teneurs en Tritium ont été faites.

En hydrologie, la teneur en tritium des eaux naturelles est exprimée en unité Tritium (U.T). Une unité Tritium correspond à une teneur d'un atome de Tritium pour 10^{18} atomes d'hydrogène.

La teneur en Tritium est mesurée avec des compteurs proportionnels en phase gazeuse au liquide.

On sait qu'avant 1953 il y avait une faible quantité de Tritium dans l'atmosphère mais à partir de 1953 une quantité énorme de Tritium artificiel a été injectée dans l'atmosphère lors des explosions thermonucléaires.

Dans la pratique α est toujours peu différent de 1 et l'expression $ln\,\alpha$ est peu différente de α -1. Elle traduit l'enrichissement (ou l'appauvrissement) isotopique de l'une des phases par rapport à l'autre. L'important n'est pas tellement que l'enrichissement isotopique qui sépare le liquide de la vapeur qui s'en échappe soit plus élevée à basse température mais que, dans le domaine des températures de l'hydrologie, cet enrichissement soit unique. La vapeur est toujours appauvrie en isotopes lourds par rapport au liquide qui lui a donné naissance.

Tout épisode de précipitation appauvrit donc le réservoir de vapeur en isotopes lourds. Par la suite, cette masse de vapeur ne donnera lieu à de nouveaux stades de condensation que si la température s'abaisse.

La nouvelle phase condensée à partir d'un réservoir d'isotopes lourds déjà amoindri sera elle-même moins riche en ^{18}O et ^{2}H que lors de l'épisode précédent, et ainsi de suite. On conçoit que la température de condensation et la composition isotopique des eaux météoriques soient liées.

Dans la pratique la composition isotopique des eaux météoriques dépend des paramètres géographiques ou paléogéographiques :

- Latitude
- Altitude
- Saison
- Période climatique (dans le cas des eaux anciennes précipitées sous un climat qui n'a plus cours de nos jours).

Diverses tentatives ont été faites pour quantifier les relations de dépendance entre la température au sol et la teneur en isotopes lourds des eaux précipitées.

A l'échelle mondiale pour des stations océaniques généralement froides W. Dansgaard a proposé en 1964 la relation suivante :

$$\delta^{18}O = 0,69\ T - 13,6$$

où T est la température moyenne annuelle

Dans l'hémisphère Nord la teneur en Tritium des précipitations est passée de 10 U.T à 5 000 - 10 000 T en 1963-1964 et après cette date la teneur en Tritium a commencé à décroitre plus ou moins régulièrement à la suite de la suspension des explosions.

L'influence marine qui se traduit par des teneurs moyennes en Tritium des eaux océaniques de l'ordre de 50 U.T peut parfois devenir importante et c'est le cas des régions entourant la méditerranée d'où provient la presque totalité des précipitations de notre région.

D'après l'agence internationale à l'Energie Atomique la règle pratique d'interprétation de la teneur en Tritium des eaux est la suivante :

a- Si la teneur en Tritium est inférieure à 5 U.T, l'eau date d'avant 1953.

b- Si la teneur en Tritium est supérieure à 20 U.T, la composante récente est prépondérante.

c- Si la teneur en Tritium est comprise entre 5 et 20 U.T, une fraction importante d'eau récente est présente mélangée avec des eaux anciennes.

10-1-1-2- Les isotopes stables : les isotopes stables, comme l'oxygène 18, le Deutérium H2 ou D, se trouvent dans les eaux sous forme HDO ou H_2O^{18}. Les diverses molécules résultant des combinaisons avec l'oxygène 18 ou le Deutérium ont des tensions de vapeurs saturantes qui diffèrent très légèrement. Cela justifie l'apparition d'un fractionnement isotopique lors d'un changement partiel de phase par condensation ou vaporisation.

D'une façon générale dans le domaine des températures des eaux de surface, le fractionnement isotopique décroit lorsque la température augmente.

Par exemple pour l'oxygène 18, Bottinga et Craig (1969) proposent pour le passage liquide-vapeur l'équation empirique suivante :

$$1000 \ln \alpha^{18} O = 2,644 - 3,206 \times 10^3/T + 1,534 \times 10^6/T^2$$

où T est la température en Kelvin et $\alpha^{18}O$ est le facteur de fractionnement.

$$\alpha^{18}O = \frac{(^{18}O/^{16}O)\text{ eau liquide}}{(^{18}O/^{16}O)\text{ eau vapeur}}$$

10-2-ECHANTILLONNAGE

Cinq échantillons ont été prélevés dans la région de Baqa en mars 1978.

Les points d'eau étaient :

- une source au contact entre le groupe de Kurnube et le groupe Ajlune. Cette source est située dans la partie Nord-Est de la région avec un débit moyen de 2,76 m3/h. Cette source est S_1 (source Mubis)

- la source S6 (source Ain El Basha). Cette source est située dans la partie centrale de la région de Baqa et est alimentée par les grès du groupe Kurnube.

- deux puits P14 et P17 situés dans la partie centrale de la région qui sont deux forages profonds de 172et 200 m avec des niveaux statiques comparables 150 et 146 m.

- un forage P_{36} situé dans la zone d'Ain El Basha à une profondeur de IO4 m avec un niveau statique de 26,7 m.

Pour la localisation voir la carte de localisation des puits et des sources dans le secteur de Baqa. Figur e 4-1.

10-3- LE DOSAGE

Les analyses des teneurs en Tritium et oxygène 18 ont été réalisées sur les cinq échantillons au centre de recherches géodynamiques de l'Université Pierre et Marie Curie à Thonon (France)

Les résultats de ces analyses sont présentés dans le tableau suivant :

Echantillons	Date	Teneur en Tritium U.T.	$\delta^{18}O$ 0/00 V.S.S.M.O.W.
S1	9.05.78	23 ± 2	- 5.31
S6	" "	30 ± 2	- 5.68
P14	" "	16 ± 2	- 5.14
P17	" "	16 ± 2	- 5.24
P36	" "	25 ± 2	- 5.60

Les teneurs en tritium des 5 échantillons sont donc comprises entre 16 ± 2 et 30 ± 2 U.T. On peut conclure que :

- Les eaux des deux forages P14 et P17 dans la nappe profonde ont la même teneur en Tritium (16 ± 2 U.T). Cette teneur indique qu'une certaine quantité d'eau récente est mélangée avec des eaux anciennes. Ces deux forages sont situés dans la partie centrale de la région.

- Les eaux du forage 36 et de la source S6 qui sont situés dans la zone d'Ain El Basha ont des teneurs en Tritium de 25 ± 2 et $23 \pm$ respectivement. Ces valeurs indiquent que la composante récente des eaux liée aux précipitations est plus importante que pour les forages P14 et P17

- L'eau de la source S1 a une teneur en Tritium de l'ordre de 30 ± 2 qui indique qu'elle provient d'une nappe contenant une proportion encore plus grande d'eau de précipitation récente.

Le dosage de l'oxygène 18 de nos 5 échantillons a donné des valeurs comprises entre - 5.31 et - 5.60. Il apparait que plus la teneur en Tritium est élevée plus la valeur δ 0/00 O18 est négative ce qui pourrait signifier que ces eaux proviennent de précipitations sur des zones un peu plus élevées que celles à faible teneur en Tritium.

Si on applique la relation de W.Dansgaard (1964)

$$\delta^{18}O = 0,69\ T - 13,6 \text{ à notre région}$$

où T est la température moyenne annuelle

$T = 17,5\ °C$

$$\delta^{18}O = 0,69 \times 17,5 - 13,6 \quad \text{On obtient}$$

$$\delta^{18}O = -1,525$$

Cette valeur est moins négative que la valeur moyenne - 5.39 trouvée par les analyses des teneurs en oxygène δ18 des eaux des nappes.

La valeur - 5.39 d'après la rélation de W.Dansgaard indiquerait donc que la température moyenne annuelle dans la zone où s'infiltrent les précipitations doit être de l'ordre de 12°C. Cela peut être expliqué de deux façons :

- la température de l'air pendant la période d'infiltration est plus faible que la température moyenne annuelle de l'air dans la région ou bien la température des zones d'infiltration est plus faible que la température moyenne annuelle de la région.

Cette hypothèse signifirait que l'infiltration des eaux de précipitation se fait sur les montagnes entourant la plaine ce qui est logique et vraisemblable puisque c'est là que les précipitations sont les plus fortes, l'évaporation la plus faible du fait de la température et l'infiltration la plus forte puisque les roches fissuré y affleurent largement

Il nous parait logique d'écarter l'hypothèse selon laquelle les eaux des nappes proviendraient d'eaux partiellement évaporées avant infiltration ce qui entrainerait leur enrichissement en isotopes lourds et par conséquent expliquerait les valeurs δO18 plus négatives que celles fournies par la loi de Dansgaard pour la plaine car nous ne connaissons pas de zones de sebkras aux environs de la plaine de Baqa.

10-4-CONCLUSION

D'après l'étude isotopique des teneurs en Tritium et Oxygène 18 on constate que :

- 1 - Les eaux dans la partie Sud-Est de la région de Baqa (zone Ed El Basha) sont des eaux en grande partie récentes.

- 2 - Les eaux du reste de la région sont des mélanges d'eaux anciennes, avec une fraction assez importante d'eaux récentes.

- 3 - La teneur en Tritium montre une diminution avec l'augmentation de la profondeur de captage ce qui indique que les eaux de la nappe moyenne sont plus récentes que les eaux de la nappe profonde ou tout au moins que les apports d'eaux récentes lui parviennent plus rapidement.

- 4 - Les zones d'alimentation des nappes se situent sur les reliefs entourant la plaine de Baqa.

- 5 - Les relations hydrogéologiques entre les forages P14 et P 17 sont confirmés de même que celles existant entre la source S1 et le forage P 36.

Les résultats obtenus à partir de seulement cinq échantillons montrent tout l'intérêt des méthodes d'étude isotopiques des eaux pour la compréhension des phénomènes d'alimentation des nappes et la prévision de leur exploitation à long terme. Les mesures faites démontrent en effet que les nappes étudiées ont une alimentation actuelle et ne sont pas des nappes fossiles.

CONCLUSION GENERALE

Dans la région de la rivière Zerqa, située au Nord-Ouest de la Jordanie septentrionale, les altitudes s'échelonnent de 150 à 1000 m. La partie la plus intéressante de la région étudiée est la région de Baqa qui est entourée par des montagnes. Les sédiments de cette région vont du Trias inférieur au Crétacé supérieur. Ces sédiments consistent essentie lement en grès, calcaires-dolomitiques, calcaires , marnes et calcaires marneux.

Le climat de notre région est de type méditerranéen. Les précipitations moyennes annuelles sont de 370 mm . Les données climatiques nous ont permis de calculer l'évapotranspiration qui est d'environ 80 % des précipitations moyennes annuelles.

Les forages sont surtout nombreux dans la région de Baqa et les sources sont bien distribuées dans toute la région. La plupart des sources émergent de la formation Naur A 1/2 et il y a une forte relation entre les précipitations et les débits de ces sources.

L'étude des caractéristiques des diverses sources et plus spécialement de leur débit en périodes de tarissement montre que les réserves emmagasinées dans les aquifères à l'amont des sources sont importantes et généralement de l'ordre de $15,9 \times 10^6$ m3 . Ces réserves se situent dans les grès du groupe Kurnube ou les calcaires dolomitiques. Leur mode d'écoulement traduit l'état de fissuration intense de ces formations.

L'alimentation en eaux des nappes souterraines s'effectue par l'infiltration des eaux météoriques dans les massifs rocheux perméables, et l'infiltration des eaux des oueds.

L'étude piézométrique a permis de préciser le sens d'écoulement de la nappe dans la région de Baqa ainsi que la localisation des zones d'alimentation .

L'étude de la chimie des eaux des différentes formations a montré que les eaux souterraines de la région étudiée sont bicarbonatées-calciques sauf les eaux de la localité de Kefaire où les eaux sont sulfatées-sodiques à chlorurées-sodiques.

La concentration en sels varie de 330 à 600 ppm dans la région de Baqa et arrive jusqu'à 800 ppm dans la région de Jerash. Dans la localité El Kefaire, la concentration en sel varie de 1952 à 2816 ppm en raison de la présence d'évaporites dans l'aquifère.

Les valeurs des caractéristiques hydrodynamiques calculées par les diverses méthodes à partir des essais de pompage sont proches les unes des autres surtout en ce qui concerne la transmissivité mais on peut considérer que les valeurs calculées à partir de la courbe standard de Theis sont celles qui sont les plus proches de la réalité tant en ce qui concerne la transmissivité que le coefficient d'emmagasinement. Les valeurs trouvées pour ce dernier par la méthode de Rorabaugh d'étude du tarissement

de la nappe qui sont voisines de 2,2 % confirment celles calculées à partir des essais de pompage. On dispose donc ainsi de données valables pour la détermination des réserves de la nappe composite qui est contenue dans les divers aquifères superposés.

Les relations entre puits et sources alimentés par un même aquifère ont été mises en évidence dans la région de Jerash où le pompage d'un puits qui se trouve en amont influence le débit de la source , ou du puits qui se trouvent à l'aval, et qui sont alimentés par le même aquifère.

Les ressources régulatrices dans la région de Baqa sont égales à $3,5 \times 10^6$ m3/an et les réserves permanentes peuvent être évaluées à 50×10^6 m 3.

Les volumes totaux des prélèvements dans la nappe dans la région de Baqa sont inférieurs au volume des ressources régulatrices si on tient compte des variations observées pendant l'année durant laquelle a été établi le bilan hydrogéologique de la région de Baqa. Pour une estimation portant sur des périodes plus longues, il faudrait disposer de données complémentaires et en particulier d'enregistreurs du niveau de la nappe, des stations pluviométriques plus nombreuses. L'étude isotopique des teneurs en Tritium et Oxygène 18 permet cependant de conclure que les nappes étudiées ont une alimentation en bonne partie actuelle et ne sont pas des nappes fossiles et que d'autre part l'infiltration des eaux de précipitation se fait surtout sur les montagnes entourant la région de Baqa.

Tous les résultats obtenus sont donc concordants tant en ce qui concerne les volumes des différentes réserves qu'en ce qui concerne les modes d'alimentation et d'écoulement des nappes que l'on rencontre dans les divers horizons de la série stratigraphique et dont le comportement est celui d'une nappe composite.

Si l'on peut envisager d'accroître de façon raisonnable l'exploitation des ressources en eaux souterraines, cet accroissement doit rester limité car il paraît extremement difficile dans les conditions géologiques et morphologiques qui sont celles de la région étudiée de procéder à une réalimentation artificielle des nappes.

Pour ne pas dépasser les possibilités d'exploitation rationnelle des eaux souterraines, il convient donc de réaliser une surveillance permanente du niveau de la nappe mais il sera non moins important d'étudier l'évolution des caractéristiques chimiques et surtout isotopiques des eaux afin d'une part, de suivre l'évolution des recharges par les eaux météoriques et de préciser leur contribution à l'alimentation de la nappe et d'autre part, de déterminer les risques de pollution des eaux souterraines à partir des agglomérations et des exploitations agricoles pour prendre à temps les mesures de protection qui ne manqueront pas de s'imposer.

L'étude que nous avons réalisée ne constitue donc qu'une étape dans la connaissance de la région étudiée mais nous souhaitons qu'elle

permette une meilleure exploitation des ressources en eaux souterraines qui y jouent un rôle si important et que les résultats d'ordre plus général obtenus puissent être utilisés pour l'étude d'autres secteurs de la Jordanie et des pays voisins dans les années qui viennent.

Si en effet la confrontation des diverses méthodes de calcul théorique est une nécessité impérieuse, la comparaison des résultats des études hydrogéologiques menées dans des régions à structures géologiques voisines constitue un moyen de contrôle irremplaçable.

En toute science, la qualité des résultats obtenus est fonction de la qualité des observations initiales mais en hydrogéologie comme en géologie, il est nécessaire que ces observations portent sur de vastes ensembles et c'est là une des raisons qui poussent l'hydrogéologue à étendre toujours plus son domaine de recherche.

BIBLIOGRAPHIE

ALLEMOZ M. - 1976 - Alimentation des nappes en pays aride. Etude de l'infiltration et de l'évapotranspiration en Tripolitaine (Libye) Univ. Grenoble. Thèse 3ème Cycle

AL HODAIRI A. - 1976 - Etude hydrogéologique du bassin versant du Wadi-Ghan - Tripolitaine (Libye). Univ. Grenoble. Thèse 3ème Cycle

BASHIR S. - 1977 - Radioactivité et état d'équilibre radioactif de quelques phosphates jordaniens - Leurs caractères pétrologiques, minérologiques , cristallochimiques et géochimiques. Thèse Docteur Ingénieur I.N.P.L. - Nancy.

BERKALOFF -1970 - Interprétation des pompages d'essai - Bull. B.R.G.M. (2) 111-1.

BENDER F. - 1968 - Geologie von Jordanien Gebrüder Brontrager, Berlin.

BENDER F. - 1967 - Geological report on oil and gas prospects in Jordan N.R.A., Amman

BURDON D.J.- 1959 - Handbook of the Geology of Jordan, Government of Hashemite Kingdom of Jordan, Amman

CONSTANTINIDIS D. - 1978 - Hydrodynamique d'un système aquifère hétérogène : Hydrogéologie de la Thessalie orientale. Univ. Grenoble - Thèse d'Etat.

COTEZ S. - 1969 - Application de la formule de Turc - revue B.R.G.M.

CASTANY G. - 1967 - Traité pratique des eaux souterraines. Dunod Paris

EL BATTI D. - 1974 - Hydrogéologie de la plaine d'Enfidaville - Univ. Grenoble - Thèse de 3ème Cycle.

FONTES J.C. - 1976 - Les isotopes du milieu dans les eaux naturelles - Revue La Houille blanche n° 134-1976.

HABASH Y. - 1970 - Hydrogeology of the upper Zerqa and the Kurnub group in the river Zerqa area M.SC - Thesis un published

KRUSEMAN G.P. - 1973 - Interprétation et discussion des pompages d'essai-2ème édition International Institute for Land reclamation and improvement/ILR - NETHERLAND

KAWAR K.A. - 1967 - The relation between geologic structure and ground water in Amman Zerqa Area M.SC - Thèse un published

KEPPIE J.D. - 1965 - Zerqa Basin Area - B.SC Thesis un published.

MAHAVI M.R. - 1977 - Alimentation d'un aquifère hétérogène en pays aride. Hydrogéologie de la plaine de Mehmandoust (Iran)

MODALAL U - 1974 - Hydrogeology Of Amman Zerqa Area - Univ. Louis Pasteur - Strasbourg - Thèse d'Etat

METEOROLOGICAL DEPARTMENT OF JORDAN - 1971 - Climatic Atlas of Jordan.

MACDONALD M. Sir M. and PARTNERS - 1965 - East bank Jordan water Resources - London.

MASRI M.R. - 1962 - Geological report, Amman Zerqa Area, central water authority hashemite Kigdom of Jordan, Amman.

NADJM K. - 1977 - Etude d'un bassin versant montagneux en pays aride Hydrogéologie du bassin de Tazareh (Iran)

QUENNELLE A.M. - 1951 - The geology and mineral resources of former Trans Jordan - vol. 2 - London

ROSSET G.M. - 1976 - Etude d'un aquifère profond hétérogène en zone aride, plan du Wadi Al Hira et du Wadi Abu Shaybah - Tripolitain (Libye) - Univ. Grenoble - Thèse de 3ème Cycle.

REMENIERAS G. - 1972 - Hydrologie de l'Ingénieur - Collection du Laboratoire national d'hydraulique - Eyrolles - Ed - Paris

RORABAUGH M.I. - 1969 - L'emploi du niveau d'eau pour l'estimation des constantes hydrauliques dans un aquifère de dimensions finies - Bulletin du B.R.G.M. - 12 ème écrie section III-n° 2

RUBY P. - 1969 - Hydraulique souterraine appliquée . Etude des nappes 1ère partie

SCHOLLER H. - 1965 - Géochimie des eaux souterraines - Edition Masson et Cie - Paris

SCHOLLER H. - 1962 - Les eaux souterraines - Masson - Paris

SARROT-REYNAULD - 1964 - Hydrogéologie dans le massif du Vercors - Association international des hydrogéologues - Mémoires 5 Réunion d'Athènes.

ZAMANKHAN M. - 1975 - Hydrogéologie du bassin versant de Moharlu Hydrodynamique des massifs calcaires de la région de Chiraz. Iran - Univ. Grenoble - Th_se d'Etat.

LISTE DES FIGURES

Figure n° 1-1 : Carte de localisation
Figure n° 1-2 : Localisation de la région étudiée
Figure n° 2-1 : Carte géologique de la Jordanie
Figure n° 2-2 : Coupe stratigraphique observée dans la région de Suweileh
Figure n° 2-3 : Les variations latérales des formations du Jurassique et du Trias du NW au SE
Figure n° 2-4 : Les variations latérales des formations du Jurassique et du Trias vers le Sud
Figure n° 2-5 : Coupe stratigraphique du groupe Ajlune observé près de Jerash
Figure n° 2-6 : Carte géologique de la région de Baqa
Figure n° 2-7 : Les directions des failles dans la région de Baqa
Figure n° 2-8 : Les directions des joints de la formation Subeihie K1 dans la région de Baqa
Figure n° 3-1 : La rose des vents de la région étudiée.
Figure n° 3-2 : Les températures mensuelles
Figure n° 3-3 : Pluies moyennes saisonnières dans la région de Baqa
Figure n° 3-4 : Pourcentage saisonnier des pluies dans la région de Baqa
Figure n° 3-5 : Précipitations moyennes mensuelles d'Octobre 1966 à mai 1977 dans la région de Baqa
Figure n° 3-6 : Variations des précipitations à la station Al Hussein
Figure n° 3-7 : Variations des précipitations à la station Um-Edananir
Figure n° 3-8 : Moyenne mensuelle des pluies à la station Um-Edananir
Figure n° 3-9 : Moyenne mensuelle des pluies à la station Al Hussein
Figure n° 3-10 : Polygones de Thiesson pour le calcul de la lame d'eau précipitée dans la région de Baqa
Figure n° 3-11 : Courbe isohyète dans la région de Baqa
Figure n° 3-12 : L'abaque
Figure n° 3-13 : Courbe isohyètes de la région étudiée
Figure n° 4-1 : Carte de situation des points d'eau de la region de Baqa
Figure n° 4-2 : Courbe granulométrique de la formation Subeihi
Figure n° 4-3 : Courbe granulométrique de la formation Arda
Figure n° 4-4 : Coupe du puits n° 36
Figure n° 4-5 : Courbe caractéristique du puits n° 36 dans la région de Baqa
Figure n° 4-6 : Coupe du puits n° 31
Figure n° 4-7 : Coupe du puits Salt 2
Figure n° 4-8 : Courbe caractéristique du puits n° Y1
Figure n° 4-9 : Coupe du puits du Camp de Sauf 1
Figure n° 5-1 : Localisation des sources dans la région de Jerash
Figure n° 5-2 : Variation du débit en fonction du temps (source Al Tanour, station-Jerash)
Figure n° 5-3 : Variation du débit en fonction du temps (source Mubis, Station Abu Hamide)
Figure n° 5-4 : Variation du débit en fonction du temps (source Um-Olleigah, station Ain El-Basha).

Figure n° 5-5 : Variation du débit en fonction du temps (station Abu Hamide)

Figure n° 5-6 : Variation du débit en fonction du temps (source Um Edananir, station Um-ed-dananir).

Figure n° 6-1 : Carte piézométrique de la nappe supérieure dans la région de Baqa

Figure n° 6-2 : Carte piezométrique de la nappe moyenne dans la région de Baqa

Figure n° 6-3 : Carte piezométrique et écoulement de la nappe

Figure n° 6-4 : Carte hydrogéologique de la localité El Majdal

Figure n° 7-1 : Diagramme logarithmique - Puits n° 1, Puits n° 2, Puits n° 3 - Groupe Kefaire -

Figure n° 7-2 : Diagramme logarithmique - Puits n° 44 - Puits n° 1 groupe Ain El Basha

Figure n° 7-3 : Diagramme logarithmique - Puits n° 15, Puits n° 16, Puits n° 17 - groupe du camp

Figure n° 7-4 : Diagramme logarithmique - Puits n° 34a, Puits n° 34 - groupe d'Um Ed Dananir

Figure n° 7-5 : Diagramme logarithmique - Puits n° 19 - Puits n° 20, Puits n° 29, Puits n° 30 - groupe d'Abu Nsair

Figure n° 7-6 : Carte de salinité de la région de Baqa - courbe d'égale salinité en mg/l

Figure n° 7-7 : Carte de teneur en ion Cl^- de la région de Baqa -

Figure n° 7-8 : Carte d'équi rapport Mg/Ca dans la région de Baqa

Figure n° 7-9 : Carte des degrés hydrotimétriques de la région de Baqa

Figure n° 7-10 : Diagramme logarithmique - Puits n° S1, Puits n° S2, Puits n° S3 - groupe El Majdal

Figure n° 7-11 : Diagramme logarithmique - Puits n° B1, puits n° B3, Puits n° B2 - groupe de Burma

Figure n° 7-12 : Diagramme logarithmique - Puits n° Q1, Puits n° Q2, groupe d'oued Qusaire

Figure n° 7-13 : Diagramme logarithmique - Puits n° 1 - oued Jerash

Figure n° 7-14 : Diagramme logarithmique - Puits n° 1, Puits n° 2, Puits n° 3 - groupe d'Ain El Basha nappe supérieure

Figure n° 7-15 : Diagramme logarithmique - source El Birkatien , Puits n° 1, source El Shawanide, groupe El Birkatien

Figure n° 7-16 : Diagramme logarithmique - puits n° J7, puits n° J2, Puits n° J5, Puits n° J6 - groupe de l'oued El Majar

Figure n° 7-17 : Diagramme logarithmique - Puits n° J1, source El Tanour - groupe El Tanour

Figure n° 7-18 : Diagramme logarithmique - Puits Salt n° 1, Puits Salt n° 2, Puits n° 3, puits Yazidya n° 1 - groupe de Salt

Figure n° 8-1 : Courbe de rabattement Puits 17B

Figure n° 8-2 : Courbe de rabattement du puits d'observation.

Figure n° 8-3 : Courbe de rabattement du puits n° 33

Figure n° 8-4 : Courbe de rabattement du puits n° 29

Figure n° 8-5 : Courbe de rabattement du puits n° 34 a

Figure n° 8-6 : Courbe de remontée du puits n° 34 a

Figure n° 8-7 : Courbe de rabattement du puits n° 36

Figure n° 8-8 : Courbe de rabattement du puits n° 36

Figure n° 8-9 : Courbe de remontée du puits n° 37

Figure n° 8-10 : Courbe de rabattement du puits n° 37

Figure n° 8-11 : Courbe de rabattement du puits n° 16

Figure n° 8-12 : Courbe de remontée du puits n° 17a

Figure n° 8-13 : Courbe de rabattement du puits n° 17a

Figure n° 8-14 : Courbe de rabattement du puits n° 43

Figure n° 8-15 : Courbe de remontée du puits n° 43

Figure n° 8-16 : Courbe de rabattement du puits J1

Figure n° 8-17 : Courbe de remontée du puits J1

Figure n° 8-18 : Courbe de remontée du puits J2

Figure n° 8-19 : Courbe de rabattement du puits J2

Figure n° 8-20 : Courbe de remontée du puits J4

Figure n° 8-21 : Courbe de rabattement du puits J4

Figure n° 8-22 : Courbe standard de Theis

Figure n° 8-23 : Courbe du puits n° 16

Figure n° 8-24 : Courbe du puits n°29 et n° 17

Figure n° 8-25 : Courbe du puits n° 33

Figure n° 8-26 : Courbe du puits n° 36

Figure n° 8-27 : Courbe du puits n°43

Figure n° 8-28 : Courbe du puits n°34a

Figure n° 8-29 : Courbe du puits n° 37

Figure n° 8-30 : Courbe du puits n° 17a et du puits J2

Figure n° 8-31 : Courbe du puits J4

Figure n° 8-32 : Courbes des tarissements - Source Um-Olleigha

Figure n° 8-33 : Courbes des tarissements - source Um-Jauza, Um-Edananir, Um-Olleigha

Figure n° 8-34 : Courbes des tarissements - source Mubis, source Abu-Hamid

Figure n° 8-35 : Courbe des tarissements - source oued Rumaimine

Figure n° 8-36 : Courbes des tarissements - sources Magasile

Figure n° 8-37 : Courbe des tarissements- source El Tanour,

Figure n° 8-38 : Courbe de tarissement - source El Ties

Figure n° 8-39 : Courbes des tarissements - source El Birkatien, source ED-Deik

Figure n° 8-40 : Courbe des tarissements - source Um Elaiqa

Figure n° 8-41 : Courbes des tarissements - source Um-Juaza , source Um-Ed-Dananir

Figure n° 8-42 : Courbes des tarissements - source Mubis, source Abu-Hamid

Figure n° 8-43 : Courbe de tarissement - source oued Remaimine

Figure n° 8-44 : Courbe des tarissements - source Magasile

Figure n° 8-45 : Courbes des tarissements - source El Tanour, source El-Ties

Figure n° 8-46 : Courbes des tarissements - source Ed-Dike, source El Birkatein

Figure n° 8-47 : Carte de localisation de l'oued El Majar

Figure n° 8-48 : Variations des débits de la source El Tanour pendant la période de pompage du puits J1

Figure n° 8-49 : Variations des rabattements dans le puits J3 en fonction du temps pendant les périodes de pompage du puits J1

Figure n° 8-50 : L'écoulement de l'eau souterraine de l'oued El Majar, El Tanour

Figure n° 8-51 : Carte de localisation oued El Birkatien

Figure n° 8-52 : Variations des débits de la source El Birkatien pendant la période de pompage du puits B1

Figure n° 9-1 : Variations du niveau moyen de la nappe dans l'ensemble du secteur de Baqa pendant l'année 1974

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n° 2-1 : Tableau de corrélation

Tableau n° 3-1 : Températures en degrés centigrades au cours de l'année

Tableau n° 3-2 : Pressions atmosphériques au cours de l'année (millibars)

Tableau n° 3-3 : Humidité relative au cours de l'année

Tableau n° 3-4 : Précipitations mensuelles et total annuel dans la région de Baqa - D'octobre 1966 à mai 19

Tableau n° 3-5 : Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières. D'octobre à mai 1967 dans la région de Baqa.

Tableau n° 3-6 : Précipitations mensuelles en mm de la période 1966-1974 - Um ed Dananir

Tableau n° 3-7- : Précipitations mensuelles en mm de la période 1966-1974 - Station Al Hussein Nursery

Tableau n° 3-8 : Répartition des précipitations sur des zones uniformes

Tableau n° 3-9 : Répartition des précipitations sur des zones uniformes

Tableau n° 3-10 : Valeurs mensuelles de I correspondant aux températures moyennes

Tableau n° 3-11 : Durée moyenne possible d'ensoleillement

Tableau n° 3-12 : Evaporation à partir de l'abaque pour la région de Baqa

Tableau n° 3-13 : Bilan hydrologique de la région de Baqa

Tableau n° 3-14 : Répartition des précipitations dans la région étudiée

Tableau n° 4-1 : Résultats des essais de rabattement en palier

Tableau n° 4-2 : Résultats des essais de rabattement en palier

Tableau n° 4-3 : Résultats des essais de rabattement en palier

Tableau n° 4-4 : Tableau de quelques caractéristiques des puits dans la région de Baqa

Tableau n° 8-1 : Valeurs des caractéristiques hydrodynamiques T et S calculées par les diverses méthodes.

Tableau n° 8-2 : Les valeurs du coefficient de tarissement et des volumes des réserves des sources.

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS .....

CHAPITRE I

I - INTRODUCTION 2

1-1- REGION DE BAQA 2

1-2- REGION DE JERASH 4

1-3- REGION DE SALT 4

CHAPITRE II

II - SITUATION GEOLOGIQUE 5

2-1- GEOLOGIE GENERALE DE LA JORDANIE 5

2-2- GEOLOGIE DE LA REGION DE LA RIVIERE ZERQA 7
2-2-1- Stratigraphie 7
2-2-1-1- Groupe Zerqa 7
2-2-1-1-1- Formation Main Zerqa.. 9
2-2-1-1-2- Formation Al AzabZ2... 9
2-2-1-2- Groupe Kurnube 12
2-2-1-2-1- Formation Arda K1..... 15
2-2-1-2-2- Formation Subeihi K2... 16
2-2-1-3- Groupe Ajlune 17
2-2-1-3-1- Formation Naur A 1/2.. 17
2-2-1-3-2- Formation Fuhies A3... 17
2-2-1-3-3- Formation Hummer A4. 19
2-2-1-3-4- Formation Shueib A 5/6 19
2-2-1-3-5- Formation Wadi-EssirA7 19
2-2-1-4- Groupe Belqa 19
2-2-1-4-1- Formation Ruseifa B1.. 19
2-2-1-4-2- Formation Amman B2.. 19
2-2-1-5- Les sédiments récents 20
2-2-2- Tectonique 20
2-2-2-1- Structures majeures 20
2-2-2-1-1- Les anticlinaux 20
2-2-2-1-1-1- L'anticlinal de Salt-Suweilih 20
2-2-2-1-1-2- L'anticlinal d'Ajlune. 20
2-2-2-1-1-3- L'anticlinal d'Um Jauza 20

2-2-2-1-1-4- L'anticlinal Subeihi . 22
2-2-2-1-2- Les synclinaux..... 22
2-2-2-1-2-1- Synclinal de Salt Suweilih 22
2-2-2-1-2-2- Synclinal Daffali.... 22
2-2-2-1-2-3- Synclinal d'Oued el Azab 22
2-2-2-1-3- Les failles 22
2-2-2-1-3-1- Le groupe de direction Nord-Sud 22
2-2-2-1-3-2- Le groupe Nord-Est, Sud-Ouest 22
2-2-2-1-3-3- Le groupe de failles Est-Ouest 22
2-2-2-2- Structures mineures 25
2-2-2-2-1- Les synclinaux et les anticlinaux.. 25
2-2-2-2-2- Les failles..... 25
2-2-2-2-3- Les structures dans la région de Baqa 25

CHAPITRE III
==========

III - CLIMATOLOGIE..... 26

3-1- LE CLIMAT 26
3-2- LES VENTS 26
3-3- LES TEMPERATURES 26
3-4- LA PRESSION ATMOSPHERIQUE 30
3-5- L'HUMIDITE RELATIVE 30
3-6- LES GELEES 30
3-7- LA NEIGE 30
3-8- LES PRECIPITATIONS 30
3-9- LES PRECIPITATIONS DANS LA REGION DE BAQA.. 31
3-10- DETERMINATION DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE DANS LA REGION DE BAQA 31
3-10-1- Méthode de Thiessen 31
3-10-2- Méthode de la carte des isohyètes 39
3-10-3- La moyenne arithmétique des stations 42
3-10-4- Gradient altimétrique..... 42

3-11- DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION DANS LA REGION DE BAQA 42
3-11-1-Méthode de Coutagne 43
3-11-2- La méthode de Turc 46
3-11-3- La méthode de Thornthwaite 46
3-12- LE RUISSELLEMENT DANS LA REGION DE BAQA... 49
LE RUISSELLEMENT DANS LA REGION DE BAQA... 49
3-13- BILAN HYDROLOGIQUE (REGION DE BAQA)..... 49
3-14- DETERMINATION DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE DANS LA REGION DE JERASH ET LA REGION DE SALT 51
3-15- DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION DANS LA REGION DE JERESH ET LA REGION DE SALT.. 53
3-16- RUISSELLEMENT DANS LA REGION DE JERASH ET LA REGION DE SALT 53
3-17- BILAN HYDROLOGIQUE DE LA REGION DE JERASH ET LA REGION DE SALT..... 54
3-18- CONCLUSION 54

CHAPITRE IV
==========

IV - FORAGES REALISES DANS LA REGION ETUDIEE 55

4-1- FORAGES SUR LES GRES DU GROUPE KURNUBE.... 55
4-1-1- Puits n° 36 55
4-1-2- Puits n° 17 61
4-1-3- Puits n° 31 63
4-2- FORAGES SUR LES CALCAIRES DU GROUPE AJLUNE 65
4-2-1- Puits Salt n° 2 65
4-2-2- Puits n° Y1 68
4-2-3- Puits du camp de Sauf n° 1 69
4-3- CONCLUSION 71

CHAPITRE V
==========

V - LES SOURCES
==========

5-1- LES SOURCES DANS LA REGION DE JERASH 73
5-1-1- Source n° AL 61 (Al-Qeirawan)..... 73

5-1-2- Source AL 60 (El Birkatien) 73
5-1-3- Source El Tanour AL 30 75
5-1-4- Source AL 32 (Rayasheh) 75
5-1-5- Source de " Maghasil " AL 41 77
5-1-6- Source AL 70 (El Ties) 77
5-1-7- Source AL 71 (Diek) 77
5-1-8- Source Abou Ghadir (AL 72) 78
5-1-9- Source AL 197 (Eilamoun) 78
5-1-10- Source AL 89 (Jamla) 79
5-1-11- Source AL 96 (Hamta) 79
5-1-12- Source AL 66 (Ammama) 79
5-1-13- Source AL 67 (Ain Jabarate) 79

5-2- LES SOURCES DANS LA REGION DE BAQA 81

5-2-1- Source Ain El Basha 81
5-2-2- Source Abou Nsair 81
5-2-3- Source Ain Raja 83
5-2-4- Source Ain Mubis 83
5-2-5- Source Um Olleiga 83
5-2-6- Source Abou Hamide 85
5-2-7- Source Um Ed-dananir 85

5-3- LES SOURCES DANS LA REGION DE SALT 88
5-3-1- Sources alimentées par les calcaires 88
5-3-1-1- Source Ain Es-Sayegh 88
5-3-1-2- Source Ar-Rahib 88
5-3-1-3- Source Ras-El-Mai 89
5-3-1-4- Source Salihi 89
5-3-1-5- Source Allan 89
5-3-1-6- Les autres sources alimentées par les calcaires..... 89
5-3-2- Les sources alimentées par les grès 90
5-3-2-1- Source Ain Daffali 90
5-3-2-2- Source Esh-Shati 90
5-3-2-3- Source Al-Azab 90

5-4- CONCLUSION SUR LES SOURCES 91

CHAPITRE VI
==========

VI - COMPORTEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES DIFFERENTES FORMATIONS GEOLOGIQUES ET ETUDE DE LA NAPPE... 92

6-1- COMPORTEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES DIFFERENTES FORMATIONS GEOLOGIQUES .. 92
6-1-1- Groupe Ajlune 92
6-1-1-1- Formation Wadi-es-Sir A7... 92
6-1-1-2- Formation Shueib A 5/6..... 92
6-1-1-3- Formation Hummer A4 92
6-1-1-4- Formation Fuhies A3 93

6-1-1-5- Formation Naur A 1/2 93
6-1-2- Groupe Kurnube 93
6-1-2-1- Formation Subeihi K2 93
6-1-2-2- Formation Arda K1 94
6-1-3- Groupe Zerqa 94
6-1-3-1- Formation Al Azab 94

6-2- ETUDE DE LA NAPPE 94

6-2-1- Ecoulement de la nappe 96
6-2-1-1- Généralités 96
6-2-1-1-1- Une nappe supérieure .. 96
6-2-1-1-2- Une nappe moyenne 96
6-2-1-1-3- Une nappe inférieure ... 96
6-2-2- Températures des eaux 98
6-2-3- Les cartes piézométriques 98
6-2-3-1- L'alimentation générale 101
6-2-4- La profondeur de la nappe 102
6-2-5- Forme générale de l'écoulement 102
6-2-6- Les moyens d'exploitation des eaux souterraines 102
6-2-6-1- Les puits profonds dans la région de Baqa 102
6-2-6-2- Les puits creusés à la main 102
6-2-7- Les nappes des régions de Jerash et de Salt 104
6-2-7-1- La région de Jerash 104
6-2-7-2- La région de Salt 104

6-3- CONCLUSION 105

CHAPITRE VII
==========

VII - CHIMIE DES EAUX 106

7-1- INTRODUCTION 106

7-2- CHIMIE DES EAUX DES DIFFERENTES FORMATIONS 107
7-2-1- Chimie des eaux de la formation Main Zerqa Z1 du groupe Zerqa..... 107
7-2-2- Chimie des eaux de la nappe composite du groupe Kurnube et du groupe Zerqa 109
7-2-2-1- Faciès chimique 109
7-2-2-1-1- Zone Ain El Basha 112
7-2-2-1-2- Zone du camp 112
7-2-2-1-3- Zone d'Um Ed Dananir.. 115
7-2-2-1-4- Zone Abou Nsair-Mubis. 115
7-2-2-2- Analyses des cartes chimiques de la nappe composite dans la région de Baqa 116

7-2-2-2-1- Carte des résidus secs T.D.S. 116
7-2-2-2-2- Carte des isochlores.... 119
7-2-2-2-3- Carte d'équirapport Mg/Ca 119
7-2-2-2-4- Carte des degrés hydrotimétriques 121
7-2-3- Chimie des eaux du groupe Kurnube 121
7-2-3-1- Dans la région de Jerash 121
7-2-3-1-1- Localité El Majdal 121
7-2-3-1-2- Localité de Burma 124
7-2-3-1-3- Localité de Quasir 126
7-2-3-1-4- Localité d'oued Jerash.. 126
7-2-3-2- Dans la région de Baqa 129
7-2-4- Chimie des eaux de la formation Naur A 1/2 129
7-2-4-1- Chimie des eaux de la localité oued Birkatien 129
7-2-4-2- Les eaux de la localité oued El Majar 132
7-2-5- Chimie des eaux de la formation Hummer A4 135

7-3- CONCLUSION 135

CHAPITRE VIII

VIII - DETERMINATION DES CARACTERES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES DE LA REGION ETUDIEE ET ETUDE DE L'INFLUENCE DES POMPAGES SUR LES PUITS ET SUR LES SOURCES DANS LA REGION DE JERASH..... 138

8-1- INTRODUCTION 138

8-2- INTERPRETATION DES ESSAIS DE POMPAGE 139
8-2-1- Rappel des équations 139
8-2-2- Calcul de T, S et interprétation des sourbes... 141
8-2-2-1- Les forages dans la région de Baqa. 141
8-2-2-1-1- Puits n° 17 141
8-2-2-1-2- Puits n° 33 143
8-2-2-1-3- Puits n° 29 145
8-2-2-1-4- Puits n° 34a 147
8-2-2-1-5- Puits n° 36 150
8-2-2-1-6- Puits n° 37 153
8-2-2-1-7- Puits n° 16 156
8-2-2-1-8- Puits n° 17 a 158
8-2-2-1-9- Puits n° 43 158
8-2-2-2- Les forages dans la région de Jerash 164
8-2-2-2-1Les forages sur les calcaires 164

8-2-2-2-1-1- Le forage n° J1.... 164
8-2-2-2-1-2- Le forage n° J2.... 167
8-2-2-2-1-3- Un forage dans le groupe Kurnube puits n° J4..... 170
8-2-3- Calcul de la transmissivité T et S - coefficient d'emmagasinement par la méthode de Theis 173
8-2-3-1- Dans le secteur de Baqa 175
8-2-3-1-1-Puits n° J16 175
8-2-3-1-2- Puits n° 17 175
8-2-3-1-3- Puits n° 17a 177
8-2-3-1-4- Puits n° 29 177
8-2-3-1-5- Puits n° 33 177
8-2-3-1-6- Puits n° 36 179
8-2-3-1-7- Puits n° 43 179
8-2-3-1-8- Puits n° 34a 179
8-2-3-1-9- Puits n° 37 183
8-2-3-2- Dans la région de Jerash 183
8-2-3-2-1- Puits n° J2..... 183
8-2-3-2-2- Puits n° J4 183
8-2-4- Calcul du coefficient d'emmagasinement par la méthode de Rorabaugh 186
8-2-5- Conclusion et comparaison entre les valeurs des caractéristiques hydrodynamiques 189

8-3- COURBES DE TARISSEMENT DES SOURCES 190
8-3-1- Introduction 190
8-3-2- Formule de Maillet 190
8-3-2-1 Source Um Olliega 191
8-3-2-2 La source Um Ed dananir 195
8-3-2-3 La source Um Jouza 195
8-3-2-4- La source Mubis 195
8-3-2-5- Source Abou Hamid 196
8-3-2-6- La source Oued Rumaimine 196
8-3-2-7- La source El Magasil 199
8-3-2-8- La source Al Tanour 199
8-3-2-9- Source El Ties 200
8-3-2-10- Source El Birkatien 200
8-3-2-11- Source El Diek 203
8-3-3- Formule de Tison 203
8-3-3-1- Source Um Olliega 203
8-3-3-2- Source Um Ed-dananir 205
8-3-3-3- Source Um Jouza 207
8-3-3-4- Source Mubis 207
8-3-3-5- Source Abou Hamid 207

8-3-3-6- Source oued Rumaimine 210
8-3-3-7- Source El Magasile 210
8-3-3-8- Source Al Tanour 212
8-3-3-9- Source El Ties 212
8-3-3-10- Source El Birkatien 212
8-3-3-11- Source El Diek 215
8-3-4- Conclusion 215

8-4- ETUDE DE L'INFLUENCE DES POMPAGES SUR LES PUITS , SUR LES SOURCES DANS LA REGION DE JERASH 217
8-4-1- Localité oued El-Majar - El Tanour 217
8-4-1-1- Effet du pompage du puits J1 sur la source 219
8-4-1-2- Effet de pompage du puits J1 sur le puits J3..... 221
8-4-1-3- Effet du pompage du puits J3 sur la source Al-Tanour 221
8-4-2- Dans la localité oued El Birkatien 224
8-4-3- Conclusion 227

CHAPITRE IX
==========

IX - BILAN ET POSSIBILITES D'EXPLOITATION DE L'EAU DANS LA REGION DE BAQA 228
==========

9-1- EXPLOITATION ACTUELLE DES EAUX SOUTERRAINES 228

9-2- FLUCTUATIONS DU NIVEAU DE LA NAPPE 228

9-3- DEBIT DE L'ECOULEMENT SOUTERRAIN 230
9-3-1- Les débits d'alimentation de la nappe à travers les sections amont 230
9-3-2- Les débits de sortie de la nappe aux exutoires.. 231

9-4- RESERVES REGULATRICES DE LA NAPPE 231

9-5- RESERVES PERMANENTES 232

9-6- ESSAI DE BILAN HYDROLOGIQUE 233
9-6-1- Q_1 : apports..... 233
9-6-2- R^1: Réalimentation à partir des prélèvements... 233
9-6-3- E_t: Evaporation par la surface de la nappe..... 233
9-6-4- P^t: Prélèvements dans la nappe 234
9-6-5- Q_{11} : Débit aux exutoires..... 234
9-6-6- Drainage de la nappe par la rivière 234

9-6-7- Variations des réserves 234

9-7- POSSIBILITES D'EXPLOITATION DE LA NAPPE. 235

9-8- PROBLEMES DU SABLE FIN 235

CHAPITRE X
==========

X - ETUDE ISOTOPIQUE DES EAUX DE LA REGION DE BAQA 237
==========

10-1- GENERALITES 237
10-1-1- Les isotopes utilisés dans l'étude des eaux 237
10-1-1-1- Les isotopes instables 237
10-1-1-2- Les isotopes stables 238

10-2- ECHANTILLONNAGE 240

10-3- LE DOSAGE 240

10-4- CONCLUSION 242

CONCLUSION GENERALE 243
==========

BIBLIOGRAPHIE 246

LISTE DES FIGURES 248

LISTE DES TABLEAUX 252

TABLE DES MATIERES 253

BIBLIOTHÈQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le

Le Président de la Thèse

VU , et permis d'imprimer

Grenoble, le

Le Président de l'Institut
National Polytechnique

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale