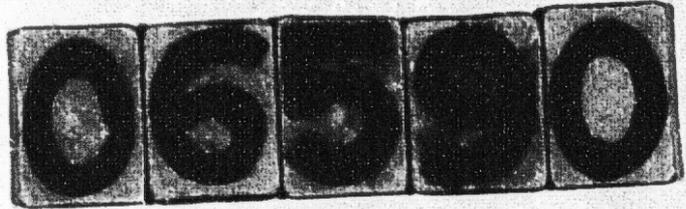




MICROFICHE N°



République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE
DOCUMENTATION AGRICOLE
TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الزراعي
تونس

F

CNDA 6590

**DIRECTION GENERALE
DES RESSOURCES EN EAU**

**ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE
DE TEBOURSOUK**

-oOo-

OCTOBRE 1988

A. BEN CHEIN

DIRECTION GENERALE
DES RESSOURCES EN EAU

SYNOPSIS

I- INTRODUCTION

- 1- Introduction
- 2- Climatologie

II- GENERALITES

- 1- Situation géographique
- 2- Aperçu géologique

III- HYDROLOGIE

- 1- Régime des précipitations
- 2- Apport de la production électorale
- 3- Les eaux souterraines de Khelaf

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE
DE TEBOURSOUX

- 1- Géologie
- 2- Alimentation - Ménage

-oo-

OCTOBRE 1988

A. BEN OSIN

Etat de la profondeur de plan d'eau

- 3-7 Recharge hydraulique
- 3-8 Recharge superficielle
- 3-9 Conclusion

4- Carte-profil

- 4-1 Carte de
- 4-2 Carte de
- 4-3 Estimation des ressources

IV- CONCLUSION

SOMMAIRE

I- GENERALITES

- 1- Introduction
- 2- Climatologie

II- GEOLOGIE

- 1- Stratigraphie
- 2- Aperçu tectonique

III- HYDROGEOLOGIE

- 1- Géométrie des réservoirs
- 2- Apport de la prospection électrique
- 3- La nappe phréatique de Khalled
 - 3-1 Inventaire des points d'eau
 - 3-2 Piézométrie
 - 3-3 Alimentation-décharge
 - 3-4 Carte de la profondeur du plan d'eau
 - 3-5 Exploitation
 - 3-6 Ressources dynamiques
 - 3-7 Exploitation supplémentaire
 - 3-8 Géochimie
- 4- Nappe profonde
 - 4-1 Réservoir
 - 4-2 Géochimie
 - 4-3 Estimation des ressources

IV- CONCLUSION

SOMMAIRE

I- GENERALITES

- 1- Introduction
- 2- Climatologie

II- GEOLOGIE

- 1- Stratigraphie
- 2- Aperçu tectonique

III- HYDROGEOLOGIE

- 1- Géométrie des réservoirs
- 2- Apport de la prospection électrique
- 3- La nappe phréatique de Khaled
 - 3-1 Inventaire des points d'eau
 - 3-2 Piézométrie
 - 3-3 Alimentation-décharge
 - 3-4 Carte de la profondeur du plan d'eau
 - 3-5 Exploitation
 - 3-6 Ressources dynamiques
 - 3-7 Exploitation supplémentaire
 - 3-8 Géochimie
- 4- Nappe profonde
 - 4-1 Réservoir
 - 4-2 Géochimie
 - 4-3 Estimation des ressources

IV- CONCLUSION

I- GENERALITES :

1- INTRODUCTION :

Cette étude entreprise dans le cadre de la réactualisation de l'inventaire des ressources hydrauliques du gouvernorat de Béja regroupe outre la plaine de Téboursouk, les structures limitrophes ; c'est ainsi que nous serons amenés, dans le chapitre géologie, à étudier toutes les formations susceptibles d'être aquifères.

Les ressources hydrauliques de la dite région sont relativement importantes toutefois l'exploitation reste très modeste.

Les études antérieures datent de 1967 (H. ZEBIDI).

Cette étude aura le mérite de présenter une synthèse hydrogéologique générale de la région de Téboursouk aboutissant ainsi au bilan des ressources exploitables à partir de ces aquifères et présentant des propositions pour les nouvelles créations de sondages servant à mobiliser les ressources qui ne sont pas encore exploitées.

2- CLIMATOLOGIE :

La région de Téboursouk, objet de cette étude fait partie de la province du Nord de la Tunisie qui correspond à l'ensemble de la Tunisie tellienne et se caractérise par un climat méditerranéen à nuance plutôt subhumide.

2-1 Les températures (Fig.1) :

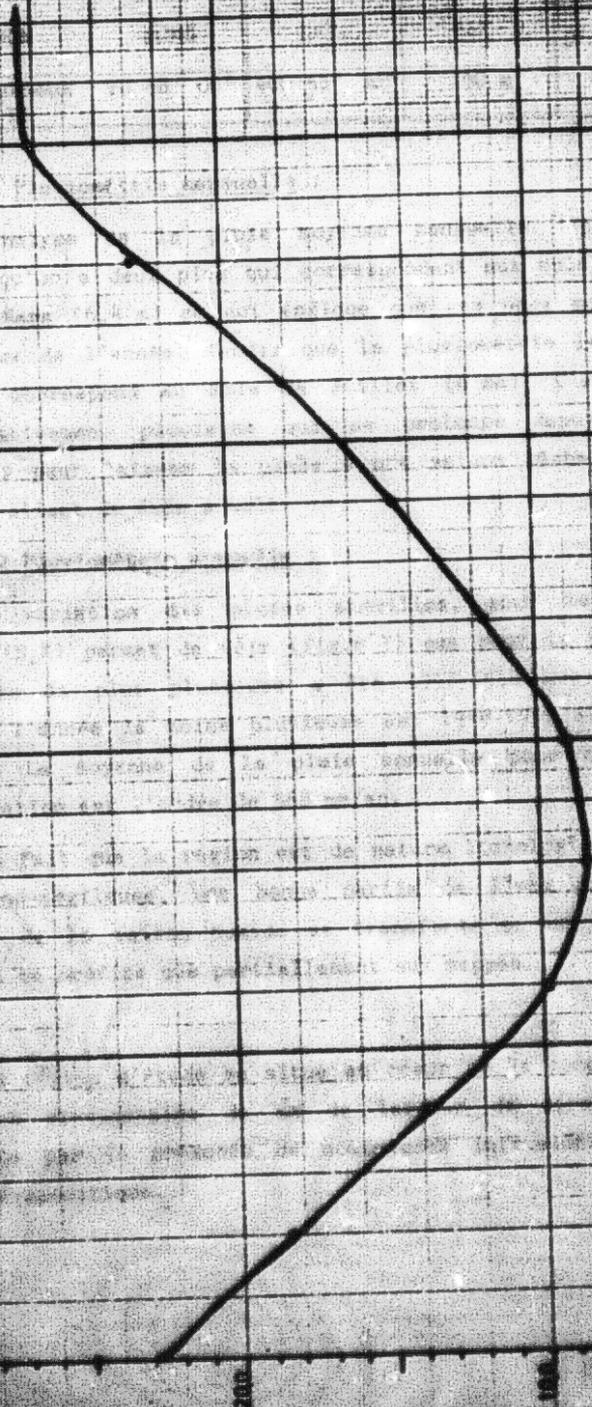
Située à l'intérieur du continent, cette région est relativement éloignée des influences marines adoucissantes et subit l'influence continentale. A la station climatique de Téboursouk, le mois le plus chaud est celui d'Août tandis que le mois le plus froid est celui de Janvier.

L'amplitude thermique annuelle, donnée par l'écart entre la moyenne du mois le plus chaud et la moyenne du mois le plus froid est égale à 17,7°C. Cette amplitude traduit un climat à caractère de continentalité prononcée.

.../...

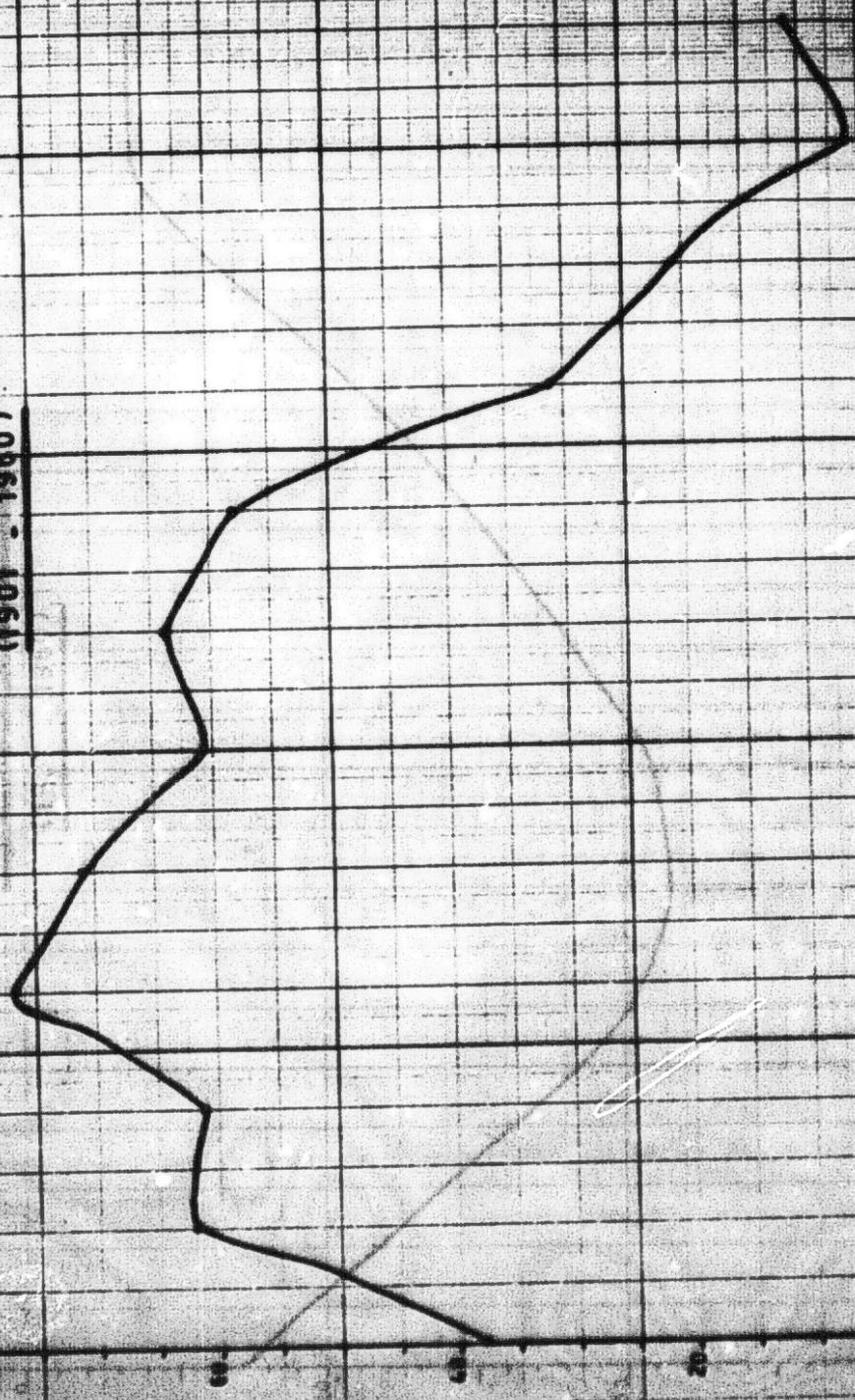
Station TEBOURSOUK (SM)

(1961 - 1960)



Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

Station TEBOURSOUK (SM)
(1901 - 1960)



Dec Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug

2-2 Pluviométrie :

Nous avons utilisé pour l'étude de ce paramètre la station de Téboursouk dont les principales caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

CODE	NOM	LONG	LAT.	ALT.	DUREE D'OBSERVATION
57558	Téboursouk SM	70 68' 00"	40G 51' 30"	390 m	1901-1960

2-2-1 Pluviométrie mensuelle :

L'analyse de la pluie moyenne mensuelle (Fig.2) permet de montrer qu'on a deux pics qui correspondent aux mois de Décembre (7,6 m) et Mars (6,4 m) ce qui indique que ces deux mois sont les plus pluvieux de l'année. Tandis que la pluviométrie la plus basse de l'année correspond au mois de Juillet (6 mm). C'est donc une saison relativement pluvieuse qui se prolonge depuis Septembre jusqu'en Mai pour laisser la place à une saison sèche pendant les autres mois allant de Juin à Août.

2-2-2 Pluviométrie annuelle :

La variation des pluies annuelles, pour la station de Téboursouk (S.M) permet de voir (fig.n°3) que pour la période 1906-1986 l'année la plus pluvieuse a été 1957-1958 avec P = 950 mm. Tandis que l'année la moins pluvieuse est 1949-1950 avec seulement P = 290 mm. La moyenne de la pluie annuelle pour cette période de l'observation est l'ordre de 568 mm/an.

Du fait que la région est de nature lithologique essentiellement marne-argileuse, une bonne partie de l'eau accumulée lors des pluies de la saison humide se transforme en un écoulement de surface qui ne profite que partiellement aux nappes.

II- GÉOLOGIE :

La région d'étude se situe au cœur de la zone des diapirs, bande d'une cinquantaine de km de largeur de direction NNE-SSW caractérisée par la présence de nombreuses intrusions de matériel triasique évaporitique.

Fig.3

Station Tibourouk

S.M
57.550

Echelle : $\frac{1}{1000}$

Pluviométrie (en mm)

900

800

700

600

500

400

300

200

100

0

1953

1954

1955

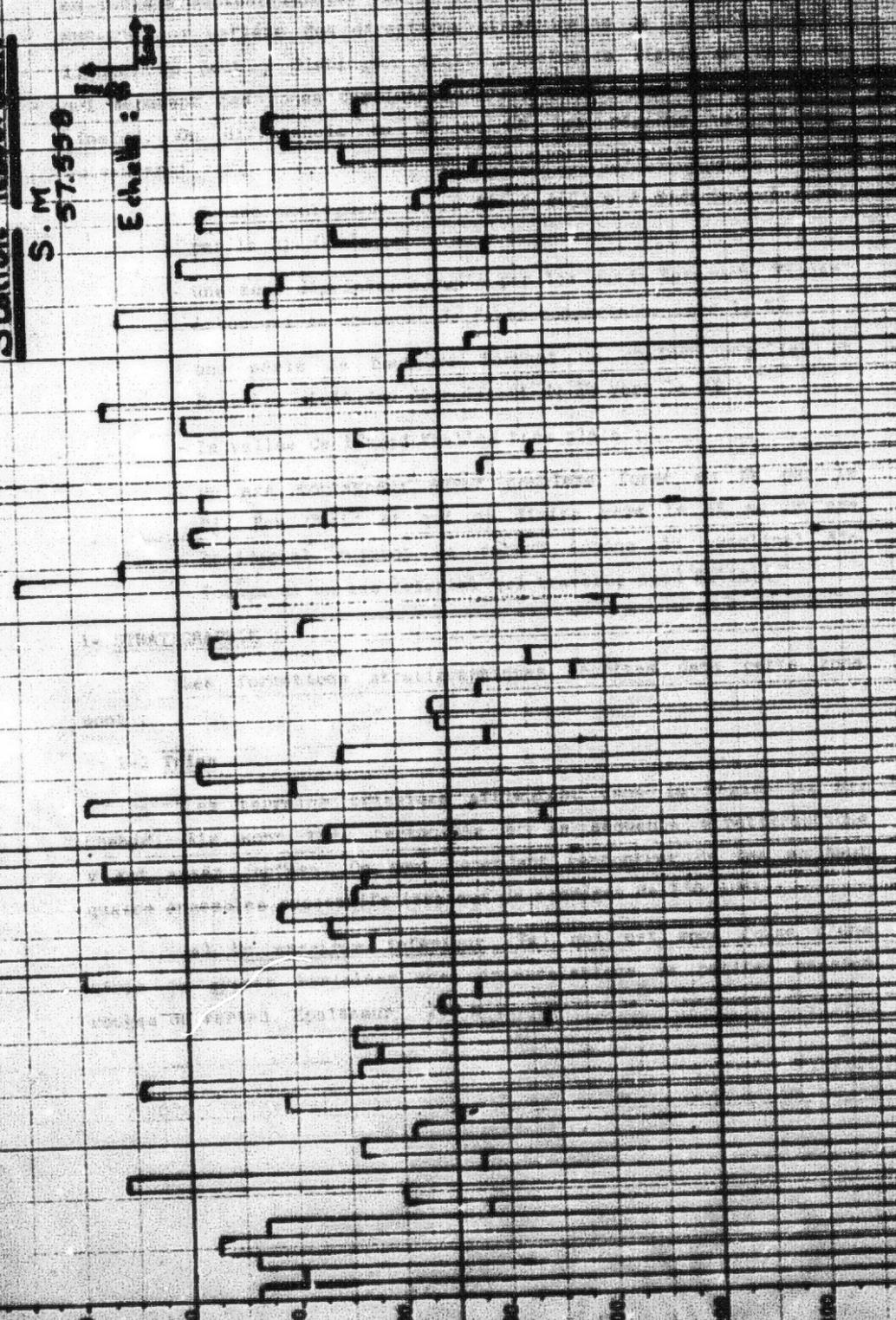
1956

1957

1958

1959

1960



L'orographie de la région, comme c'est le cas souvent en Tunisie septentrionale, est marquée par une ossature de direction NNE-SSW qui reflète des directions structurales de la Tunisie tellienne. On peut y distinguer trois principales lignes de hauteurs qui séparent des zones déprimées correspondant aux structures synclinales. On différencie du NW au SE les régions naturelles suivantes :

- un axe montagneux assez élevé (852 m à Sidi Salem) formé par le J. Gorâs ;
- une zone déprimée, occupée par les oueds Kernoucha Faour, Arkou qui se creusent de façon comportante vers le NE ;
- une série de hauteurs formant un chaînon régulier et dont les altitudes décroissent du SW vers le NE ;
- la vallée de l'oued Khalled très plate ;
- un axe montagneux assez complexe formé au SW par le Dj. Ech Cheid et qui se divise vers le NE en un axe occidental suivant le rebord éocène du synclinal Ain Tounga et un axe oriental qui traverse oued Siliana.

1- STRATIGRAPHIE :

Les formations stratigraphiques décrites dans cette zone sont :

1-1 Trias :

Les terrains triasiques affleurent dans la région du Dj. Chehid. Ils sont très tectonisés et la séquence stratigraphique y est assez confuse. On peut cependant rencontrer de bas en haut quatre ensembles successifs (travaux de sondages de l'O.N.M).

a) Un ensemble inférieur (Ta) qui est sous forme d'une série de gypses bariolées avec intercalations de petites passées rouges ou vertes. Epaisseur 200 m ;

.../...

b) Un ensemble médiant inférieur gypse carbonaté (Tb) avec des bancs de gypse qui deviennent moins importants vers le haut. Le sommet de la série s'enrichit en bancs calcaires et dolomitiques qui alternent avec, des passées gréseuses ou pelitiques.

c) Un ensemble médiant supérieur carbonaté (Tc) : Les gypses et les pelites de la série précédente disparaissent et la série correspond à de gros bancs dolomitiques ou calcaires. Cette série comprend de nombreux horizons fossilifères renfermant Néoschizodus Sp ; Myophoriopsis Sp ; Modiola Sp qui indiquent un âge triasique moyen à supérieur. Des débris végétaux en très mauvais état se rencontrent dans les niveaux gréseux.

d) Un ensemble supérieur (Td) : Cet ensemble correspond à un groupe essentiellement calcaire qui repose, souvent, sur l'ensemble précédent par l'intermédiaire d'une brèche. Cette série est particulièrement visible sur le flanc SE du dj. ech Chehid aux environs de Koudiat Bazina.

1-2 Crétacé : inférieur

Il est peu représenté sur la feuille de Téboursouk. A cet étage sont attribués des formations de marnes et de marno-calcaires ;

- Aptien : La série débute par des calcaires sombres à faciès néritique et des bancs gréseux qui alternent avec des marnes feuilletées ;
- Albien : Il est formé d'une épaisse série de marnes bleues qui se débilitent en esquilles intercalées de bancs calcaires ;
- Vraconien-Cénomannien inférieur : C'est un ensemble de calcaires et de marno-calcaires gris qui se débite en plaquettes et présente des empreintes d'ammonites.
- Cénomannien moyen et supérieur : Ces deux sous étages sont représentés par une épaisse série de marnes grises avec des intercalations de calcaires en plaquettes ;
- Turonien : Il est représenté par une série épaisse de calcaires noirs en plaquettes et de marno-calcaires feuilletés ;

La série algérienne est souvent interrompue par des couches plus anciennes.

.../...

• Santonien : Cet étage est essentiellement représenté par une épaisse série de marnes tendres de couleur claire. Les intercalations marno-calcaires sont rares sauf dans la partie supérieure ;

• Campanien-Maastrichtien : Au dessus de la série marneuse du santonien vient la formation Abiod constituée par les deux ensembles carbonatés qui encadrent un terme médian marneux et marno-calcaire. La deuxième barre calcaire du Campanien se termine par quelques alternances de marno-calcaires qui annoncent la série marneuse sus-jacente.

En conclusion, dans les régions de bordure des formations diapiriques (Dj. ech Cheid) on note, une réduction caractéristique de l'épaisseur de la série crétacée. La réduction d'épaisseur se fait sur l'ensemble de la série mais semble surtout être sensible dans les formations marneuses. Ces variations de faciès et/ou de puissance, au cours du crétacé, indiquent la présence d'un haut fond pratiquement permanent à l'emplacement des actuels diapirs.

1-3 Eocène inférieur :

Au dessus des marno-calcaires viennent des calcaires détritiques et glauconieux puis des alternances de bancs de calcaires à silix. Les calcaires deviennent par la suite de plus en plus cristallins et forment un falaise caractéristique. Les calcaires massifs sont localement très riche en débris d'échuriodermes parfois silicifiés. Au dessus de cette barre principale essentiellement yprésienne se trouve une épisode marneux.

1-4 Eocène supérieur :

C'est une série de marnes jaunes parfois gypseuses alternant irrégulièrement avec des bancs de lumachelles à huitres et gastéropodes. Elle est souvent discordante sur les terrains précédents.

1-5 Oligocène :

Il correspond à l'apparition des premières alternances de barres de grès et de marnes sableuses. Les faciès montrent des tendances continentales marquées (granulométrie homogène, développement des formations comportant une fraction argileuse importante). La série oligocène est souvent discordante sur les terrains plus anciens.

1-6 Mio-Pliocène :

Les séries néogènes, d'origine essentiellement continentale sont très épaisses. Les variations latérales de faciès sont fréquentes. Il s'agit en général d'une série formée d'alternances de passées conglomératiques et de lits silteux.

1-7 Quaternaire :

Les formations d'âge quaternaire sont très diversifiées. Le long des oueds nous avons des terrasses.

1- **1-1** Au pied des barres calcaires éocènes, ces formations sont constituées d'éboulis.

2- APERÇU TECTONIQUE :

Les directions NNE-SSW constantes en Tunisie septentrionale se retrouvent dans notre région d'étude sous forme de plis, de diapirs ou de zones de fractures.

2-1 Zones de fractures :

Elles sont principalement représentées par l'accident de Téboursouk et l'accident Khalled. L'accident de Téboursouk est constitué d'un faisceau de plusieurs accidents. Il sépare la zone anticlinale de l'oued Arkou de la zone synclinale de Ain el Hamra-Dougga. Au NE de Dougga, l'accident se ramifie en plusieurs failles affectant l'Eocène et le Crétacé. A l'échelle de la Tunisie cet accident se poursuit de la région d'el Alia (Bizerte) jusqu'aux environs de Tebessa en Algérie.

L'accident Khalled est formé d'un faisceau de plusieurs accidents.

2-2 Les plis :

L'amplitude des plis est variable et dépend des conditions locales et en particulier de l'épaisseur de la série. Les plis ont un faible rayon de concavité en bordure des diapirs.

III- HYDROGÉOLOGIE :

Les inventaires des points d'eau, la prospection électrique (P. CLARY, 1967) et les sondages de reconnaissance effectués dans la région de Téboursouk ont permis de mettre en évidence la présence de plusieurs types d'aquifères qui sont suivant leur localisation :

- des aquifères localisés dans les formations de remplissage de la plaine de Téboursouk ;
- des aquifères reconnus dans les lambeaux calcaires de l'Eocène inférieur enfouis sous le remplissage de la plaine ;
- des aquifères identifiés dans les calcaires de l'Eocène inférieur des structures limitrophes de la plaine de Téboursouk.

1- Géométrie des réservoirs :

1-1 Coupes géologiques :

Les coupes présentées sur la figure n° 4 montrent une configuration géométrique rendue complexe par l'effet du diapirisme et de la tectonique.

Les alluvions quaternaires sont plus étendues dans le Sud de la plaine que dans sa partie nord. Le réservoir des calcaires de l'yprésien se présente sous forme de couches subhorizontales d'une épaisseur de 100 m environ. Dans le secteur ouest de la coupe n° 2 les terrains d'âge post-Eocène sont fortement plissés et parfois affectés par les poussées du Trias.

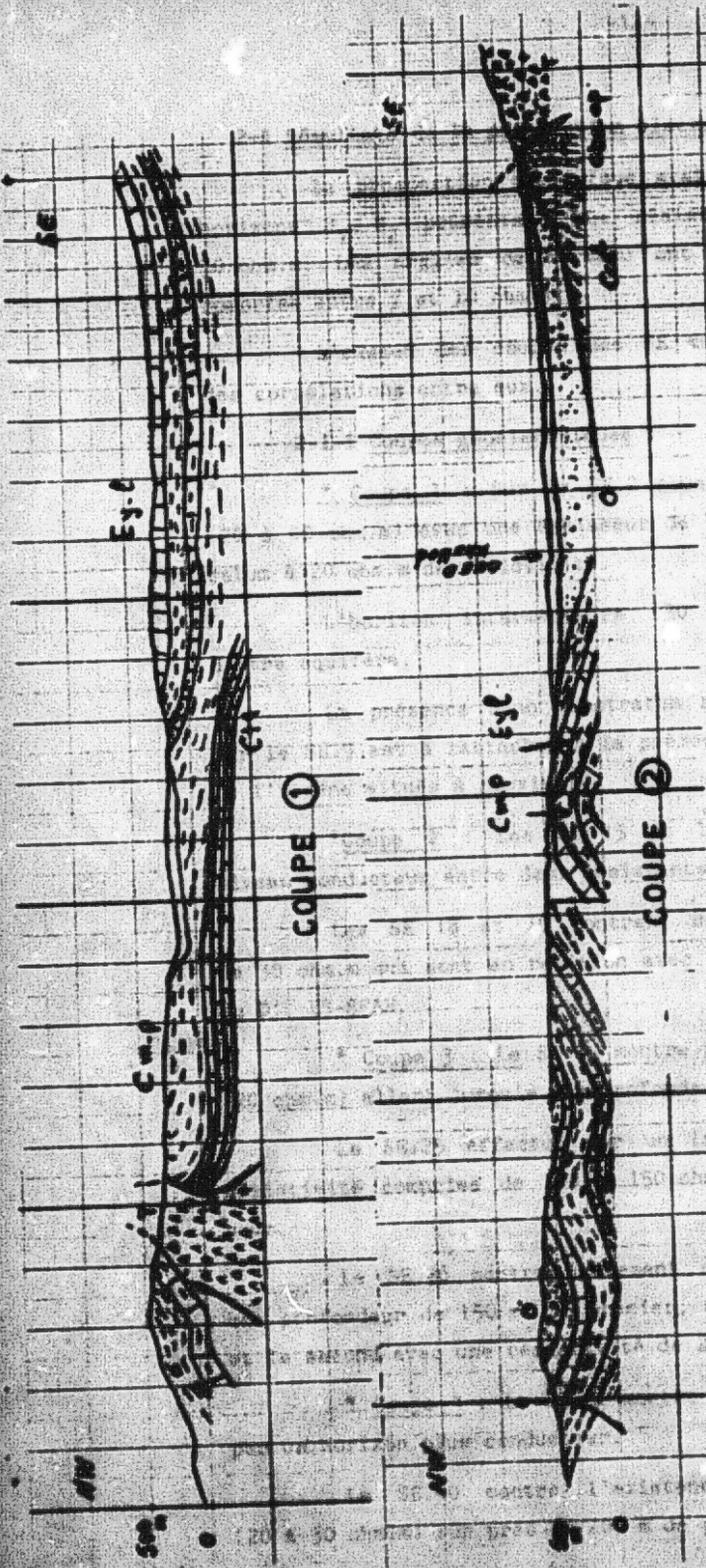
Les formations oligocènes sont très étendues et épaisses et peuvent être aquifères (coupe 2).

Les formations susceptibles d'être aquifères sont généralement situées dans les secteurs "Est" de la plaine qui correspondent à une zone qui paraît être très peu affectée par la tectonique.

2- Apport de la prospection électrique :

Cette prospection électrique date de 1967 et n'a recouvert qu'une partie de la région d'étude c'est pourquoi il est recommandé d'approfondir cette étude de façon qu'elle touche toute la plaine.

71 sondages électriques ont été exécutés en longueur de ligne AB variant entre 600 et 1000 m.



- Quaternaire
- ▨ Oligocène, Grès à dragées et marnes
- ▧ Yprésien-Lutétien : calcaire
- ▩ Maastrichtien supérieur et Pélécène marnes noires
- ▤ Campanien-Maastrichtien-calcaire blanc
- ▥ Cénomannien moyen et supérieur marnes grises
- ▦ Barrémien-Aptien
- ▧ Trias Eypee, petite dolomites.

2-1 Résultats de la prospection électrique :

La prospection électrique avait mis en évidence différents horizons R_1 , R_2 présentant une résistivité assez élevée (20 à 50 ohm.m). Les argiles de surface ont généralement une résistivité comprise entre 7 et 10 ohm.m; L'examen des coupes des SE montre la difficulté d'établir des corrélations entre eux.

2-1-1 Coupes géoélectriques :

* **Coupe 1 :** Sur le SE.2 nous avons des niveaux résistants (20 à 40 ohm.m) avec une épaisseur de 70 m. Le SE.4 montre un substratum à 20 ohm.m de résistivité.

L'horizon intermédiaire (30 à 60 ohm.m) est susceptible d'être aquifère.

La présence d'un substratum résistant supérieur à 40 ohm.m sur le SE.9 est à rattacher à la présence des affleurements calcaires de l'Eocène situés à proximité.

* **Coupe 2 :** Les SE 15 et 16 indiquent la présence d'un niveau conducteur entre deux résistants.

Les SE 18 et 19 montrent un substratum résistant à plus de 30 ohm.m qui sont en relation avec les affleurements des calcaires du Dj. ES-SFAH.

* **Coupe 3 :** Le SE.20 montre une série de niveaux résistants (20 ohm.m) allant jusqu'à une profondeur de 80 m.

Le SE.25 effectué sur un lambeau de calcaire indique une résistivité comprise de 100 à 150 ohm.m sur près de 100 m d'épaisseur.

Le SE.26 montre également deux groupes de résistants sur une profondeur de 150 m. Le premier, avec une résistivité de 40 ohm.m et le second avec une résistivité de 25 ohm.m.

* **Coupe 4 :** Le SE.32 montre deux niveaux résistants séparés par un horizon plus conducteur.

Le SE.40 montre l'existence d'un niveau assez homogène (20 à 30 ohm.m) sur près de 200 m de profondeur.

* Coupe 5 : Les SE.41 et 42 montrent un ensemble de niveaux résistants (20 à 40 ohm.m) avec des niveaux intermédiaires plus conducteurs.

* Coupe 6 : Le SE.58 est formé par des niveaux dont la résistivité varie entre 30 et 60 ohm.m qui pourraient être rattachés aux affleurements du Pliocène du Dj. ec Cheid.

Le SE.68 montre l'existence d'un horizon résistant (60 ohm.m) vers 10 m de profondeur et présentant une épaisseur de 50 m.

En conclusion deux zones à recouvrement résistant épais ont été mis en évidence. La première zone englobe les SE.2, 12, 22, 32, 41, 42, 43, 54, 61, 62, 67, 68. La seconde zone au Nord-Est constituée par une série d'appendices résistants dont l'origine pourrait être rattachée aux affleurements des calcaires éocènes situés à proximité.

3- La nappe phréatique de Khalled :

3-1 Inventaire des points d'eau :

L'inventaire systématique de tous les points d'eau existants à l'intérieur du périmètre d'étude a nécessité une durée de 1 mois (de Septembre à Décembre 1987). L'enquête a porté surtout sur l'état du point d'eau, son équipement, son usage et son régime d'exploitation. La détermination du résidu a été faite sur le terrain au moyen d'un conductivimètre portatif et d'un thermomètre. La planche n°1 montre l'emplacement de tous les points d'eau (puits de surface et sources) dont le nombre total s'élève à 70 qui se répartissent de la façon suivante :

Nature du point d'eau	Etat actuel	Equipement
Puits	Equipés	21
	non équipés	41
Sources	captés	08
	non captés	00
Total		70

3-2 Piézométrie : Les courbes isopiezométriques montrent un écoulement simple avec une zone de drainage autour de l'oued Khalid donnant aussi à cette nappe le caractère d'une nappe radiale convergente. On distingue une zone d'alimentation en provenance du Dj. Ghaid et une deuxième zone plus importante située à l'Ouest qui correspond au bassin versant de l'oued Zitouna.

Le gradient hydraulique est de l'ordre de 12 ‰ dans le secteur S.E de la plaine et de 20 ‰ dans le secteur ouest. Ceci pourrait s'expliquer par la nature lithologique fine du terrain (argiles....) donc une perméabilité relativement faible.

La comparaison des cartes isopiezométriques (1967 et 1987) montre que le schéma général d'écoulement n'a pas varié, cela s'explique par le fait que depuis, l'exploitation n'a pas beaucoup changé.

3-3 Alimentation décharge :

3-3-1 Alimentation :

Nous désignons par là tous les apports d'eau qui contribuent à la recharge naturelle de la nappe. Ces apports peuvent avoir trois origines.

a) Apports par infiltration directe des eaux des précipitations : C'est l'alimentation par infiltration directe des eaux pluviales qui joue un rôle important dans la recharge de la nappe phréatique surtout en périodes pluvieuses. Il est à noter que cette alimentation n'est pas uniformément répartie sur toute la plaine car la nature lithologique des alluvions diffère d'un secteur à un autre.

En prenant comme pluviométrie moyenne interannuelle (c.f. climatologie) 568 mm sur une superficie de 42 km² et en adoptant un coefficient d'infiltration de 5 ‰, la contribution à l'alimentation de la nappe, à partir des eaux pluviales serait de :

$$A = 0,568 \times 0,05 \times 42 \cdot 10^6 = 1,1928 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$$

.../...

b) Apport par les oueds : Les oueds jouent parfois un rôle primordial dans l'alimentation globale des nappes. Les crues exercent un rôle important dans l'alimentation des réservoirs souterrains. Toutefois cette alimentation est tributaire de plusieurs facteurs (nature des alluvions dans l'oued, lit de l'oued, importance de la crue...) Quoi qu'il en soit, cette alimentation est d'autant plus efficace que le fond du lit est sableux et étalé. Dans le cas de notre région d'étude l'oued Khalled et certains affluents ne sont pas suffisamment étalés pour contribuer d'une façon efficace à la recharge de la nappe.

c) Apport par les nappes limitrophes : Par leur aptitude à constituer un réservoir, certaines structures contribuent, de façon efficace, à alimenter la nappe de Khalled ; Le déversement d'une partie de leurs réserves se fait conformément à l'écoulement normal. Cette alimentation provient essentiellement des calcaires de l'Yprésien du Dj. Es Sefah.

En conclusion pour quantifier le volume servant à l'alimentation de la nappe il faudrait prendre en considération les trois types d'apports d'eau.

3-4 Carte de la profondeur de plan d'eau :

Elle présente un intérêt pratique puisqu'elle permet de délimiter les régions où le niveau piézométrique est le plus proche du terrain naturel.

Cette carte met en évidence deux zones où le niveau piézométrique est inférieur à 10 m. Ces zones se situent au Sud et au Nord de la plaine. Le centre de la plaine est caractérisé par des niveaux piézométriques relativement profonds (>15 m).

3-5 Exploitation :

Parmi les 62 puits de surface 21 sont équipés de GMP. Les estimations des débits d'exploitation calculées d'après les renseignements fournis par les utilisateurs donnent un volume annuel exhauré de 662.000 m³/an.

3-6 Calcul des ressources dynamiques :

soit **Méthode de Darcy :** Darcy donne une valeur $Q = 2 \text{ l/s}$
soit $Q = 2 \text{ l/s}$ soit $Q = 2 \text{ l/s}$

Par application de la formule de Darcy $Q = TIL$, on peut déterminer le débit d'écoulement souterrain de la nappe avec :

T = Transmissivité de la nappe en m^2/s

I = gradient hydraulique

L = Largeur du front en m

Q = Débit de la nappe en m^3/s .

La faible distance qui sépare l'amont et l'aval nous mène à considérer l'écoulement de la nappe à travers une isopièze moyenne comme représentative des ressources dynamiques de cette nappe.

Dans ce cas on prend l'isopièze moyenne 305 m. la largeur du front de la nappe y est de 14 km, le gradient hydraulique est $I = 1,8 \%$. Nous considérons deux tronçons du front :

3-7 (a) Partie Est :

$L = 2,5 \text{ km}$

$I = 1 \%$

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

$Q = T \cdot L \cdot I = 2,5 \cdot 10^3 \times 0,01 \times 2,5 \cdot 10^{-4} = 6,25 \text{ l/s}$.

(b) Partie Ouest :

$L = 4 \text{ km}$

$I = 2 \%$

$T = 4,4 \cdot 10^{-4}$

$Q = 4 \cdot 10^3 \times 0,02 \times 4,4 \cdot 10^{-4}$

$Q = 35,2 \text{ l/s}$

L'écoulement provenant du secteur NW est évalué à $Q_1 = 6,2 \text{ l/s}$ soit $195,523 \text{ m}^3/\text{an}$.

L'écoulement provenant du secteur SE est évalué à $Q_2 = 35 \text{ l/s}$ soit $1.103.760 \text{ m}^3/\text{an}$.

.../...

En conclusion la formule de Darcy donne une valeur 81,2 l/s soit $1,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ laquelle doit être prise comme représentative des ressources dynamiques de la nappe. Ces ressources comparées à l'exploitation actuelle font apparaître une réserve de 638.000 m³/an.

3-7 Exploitation supplémentaire :

En supposant une exploitation moyenne de l'ordre de 0,3 l/s par puits les ressources disponibles qui s'élèvent à 20,2 l/s permettent la création ou l'équipement de 67 nouveaux puits. Le tableau suivant résume la situation de cette nappe.

Ressources totales	Ressources disponibles	Puits existants	Puits équipés	Puits à créer ou à équiper
$1,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$	$638 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{an}$	62	21	67

3-8 Géochimie :

La géochimie des eaux de la nappe phréatique de Khalled est étudiée ici en se référant à la salinité de l'eau et à la composition chimique.

Les cartes de salinité et les diagrammes d'analyse nous renseignent sur la répartition spatiale des différentes salinités et sur les familles chimiques présentées dans les eaux de cette nappe.

3-8-1 Carte des salinités :

Cette carte permet de répartir les salinités en fonction de la lithologie des formations géologiques en deux zones :

a) Zone à eau dont le résidu sec est inférieur à 2 g/l :

Cette zone se trouve au centre de la plaine et dans le secteur nord. Elle englobe la majorité des points d'eau inventoriés et correspond à des formations constituées d'éboulis.

.../...

b) Zone à eau dont le résidu sec est supérieur à 2 g/l :

Cette zone se trouve surtout près des affleurements triasiques du Dj. Cheid. Les eaux deviennent de plus en plus chargées en sels à mesure qu'on s'approche de ces affleurements.

En se référant à la nature géologique des affleurements, on conclue qu'il y a trois familles chimiques qui permettent de classer les eaux de la nappe en trois groupes :

* Le premier groupe : situé au Nord et Nord-Est de la plaine correspond à des points d'eau creusés dans des formations d'éboulis. Au niveau de cette zone, les points d'eau sont alimentés par l'infiltration directe des eaux de pluies.

Forage	g/l	Observation
5349/3		
5377/3		
6248/3		
6575/3		
5467/3		
6637/3		

* Le deuxième groupe correspond aux puits situés au centre de la plaine où les résidus secs des eaux sont plus élevés que ceux des eaux des puits situés plus au Nord. Cela paraît s'expliquer par deux raisons :

. L'alimentation de la nappe à ce niveau se fait par infiltration des eaux ruisselées le long du réseau hydrographique.

. Le cheminement des eaux est long par conséquent durant leur parcours dans des formations argileuses les eaux se chargent de plus en plus en sels.

* Le troisième groupe correspond aux points d'eau situés au Sud et au Sud-Ouest de la plaine à proximité des affleurements triasiques.

3-3-2 Comparaison des cartes de salinité de 1967 et 1987

Les cartes de salinité de 1967 et 1987 sont identiques dans l'ensemble. Les 3 zones décrites précédemment sont présentées sur les deux cartes. Ceci montre que la nappe est restée pratiquement dans la même situation d'exploitation sans grands changements.

.../...

4- Nappe profonde :

Les travaux de prospection électrique de terrain et de sondages ont révélé l'existence d'horizons aquifères dans des lambeaux calcaires enfouis le long et de part et d'autres de l'oued Khalled.

4-1 Géométrie du réservoir :

Six sondages ont été exécutés dans la plaine de Khalled pour reconnaître les calcaires du Lutetien dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau : Caractéristiques des forages captant les calcaires lutétiens

Forage	P.T. (m)	N.S. (m)	Q (l/s)	Reb. (m)	R.N. (g/l)	Date d'exécution	Observations
5349/3	105	18,1	107	4,39	1,7	5/1971	
5527/3	72	12,9	13,9	16,26	1,4	12/1984	
6248/3	50	14,0	50	11,97	-	-	
6575/3	-	-	60	20	-	-	
5487/3	115	17,65	1,7	17,6	0,9	12/1974	
6637/3	106	15,91	424	17,7	2,1	5/1988	

Le réservoir se présente sous forme d'une couche de 60 à 100 m d'épaisseur. Cette couche est à dominance calcaire avec parfois des alternances d'argiles et de calcaires argileux. Le réservoir calcaire atteint son maximum d'épaisseur au droit du sondage n° 5487/3.

La nappe phréatique communique avec les horizons aquifères sous-jacents du fait que les séquences argileuses ne sont pas épaisses. Ce fait favorise les relations entre les différents horizons aquifères et se traduit par des niveaux piézométriques identiques dans les puits et les forages. Ce phénomène de communication verticale est confirmé par les essais de pompages qui ont mis en évidence la drainance d'un niveau par un autre. En effet la courbe d'abaissement du forage 5349/3 montre quatre segments :

La fig. n° 5 montre que les roches de l'aquifère calcaire appartiennent à la famille calcaire chlorogène calcaire et argentine.
.../...

- la première partie : 0 - 45 s : effet de puits
- la deuxième partie : 4,5 à 5000 s : palier sub-horizontale correspondant à une pseudo-stabilisation due à la drainage.
- la troisième partie : l'apport de la nappe phréatique n'est pas constant et diminue dans le temps d'où l'augmentation des rabattements dans la nappe calcaire à partir de $t = 5000$ s.
- la quatrième partie : de $1,2 \cdot 10^4$ s jusqu'à la fin du pompage. L'accroissement des rabattements suppose l'existence d'une limite étanche ou d'un changement de faciès

4-2 Faciès chimiques :

L'étude des rapports caractéristiques $\frac{rSO_4}{rCl}$ et $\frac{rMg}{rCa}$ nous renseigne sur les variations de la concentration dans la nappe. On remarque que l'augmentation de la concentration de l'amont vers l'aval au sein d'une nappe est repérée généralement par une diminution du rapport $\frac{rSO_4}{rCl}$ et une augmentation des rapports $\frac{rMg}{rCa}$.

Pour la nappe des calcaires, on a choisi un profil qui met en évidence ce phénomène :

	5349/3	5487/3	5527/3
$\frac{rSO_4}{rCl}$	1,1	0,1	1,4
$\frac{rMg}{rCa}$	0,23	0,21	0,2

Ce tableau montre que pour la nappe des calcaires, l'augmentation de la salinité de l'amont vers l'aval est confirmée par la diminution du rapport $\frac{rSO_4}{rCl}$ qui a passé de 1,1 à 0,1 à l'aval. Cela s'explique par la richesse de l'aquifère en sulfates et en chlorures.

La fig. n° 6 montre que les eaux de l'aquifère calcaire appartiennent à la famille sulfatée chlorurée calcique et magnésium.

.../...

4-3 Estimation des ressources de la nappe calcaire : 1967 et 1987

Dans l'état actuel de nos connaissances, l'application de la formule $R = S \times P \times Ci$.

où :

S = Superficie utile d'affleurement en m^2

P = Pluviométrie moyenne annuelle en m

Ci = Coefficient d'infiltration des calcaires.

Ceci donne une idée approximative sur les ressources de la nappe avec :

$$R = 4 \times 0,5 \times 0,5 = 1.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$$

Cette valeur doit être prise avec précaution en attendant l'approfondissement de nos connaissances dans ce sens.

IV- CONCLUSION :

La région de Tébourouk se situe au coeur de la zone des diapirs. Elle se caractérise par la présence d'intrusion triasique qui ont des incidences sur la continuité sédimentaire et les communications aquifères.

Cette région se caractérise aussi par un climat méditerranéen à nuance plutôt sub-humide.

La pluviométrie moyenne inter-annuelle est de 568 mm/an. Les travaux de terrain, de prospection électrique ont révélé la présence de deux principaux aquifères qui sont :

- l'aquifère du remplissage plio-quaternaire de la plaine de Khalled.

- l'aquifère des lambeaux calcaires de l'Eocène inférieur.

Les points d'eau énumérés dans la plaine s'élevaient à 62 puits, 6 sources et 5 sondages. Les courbes isopiézométriques de la nappe phréatique montrent une zone de drainage matérialisée par l'axe de l'oued Khalled.

.../...

La comparaison des cartes piézométriques 1967 et 1967 montrent que le schéma général d'écoulement n'a pas varié dans le temps.

L'alimentation de la nappe se fait par les eaux de pluies à partir du Dj. Chahid et par communication avec le bassin versant de l'oued Zitouna. Les ressources dynamiques s'élèvent à 41 l/s soit 1,3 millions m³/an. Les possibilités de nouvelles créations s'élèvent à 67 puits nouveaux ou à équiper. De point de vue chimique on distingue en fonction de la nature lithologique des terrains 3 familles d'eau :

- un premier groupe situé au Nord de la plaine avec une eau à résidu sec inférieur à 1 g/l.
- un deuxième groupe situé au centre de la plaine avec une eau à résidu sec inférieur à 2 g/l.
- un troisième groupe situées près des affleurements triangulaires avec une eau à résidu sec supérieur à 3 g/l.

La nappe calcaire est exploitée par 4 forages le réservoir se présente sous forme d'une couche de 60 à 100 m. L'interprétation des essais de pompage montre qu'il y a des relations hydrauliques entre les nappes phréatique et profondes dont les eaux appartiennent à la famille sulfatée chlorurée calcique et magnésium.

BIBLIOGRAPHIE

H.ZEBIDI (1967) : Plaine du Krib, de Bled el Ghorfa et de Teboursook, étude hydrogéologique préliminaire BIRH - TUNIS, 1967, 36 p, 12 tabl. fig.

CLARY.P (1968) : Plaine de Teboursook, prospection électrique rapport définitif. BIRH-TUNIS, 1968, 12 p, 4 pl.

GOVERNEMENT DES RECHERCHES DE BAS
Société d'Exploration

COMMANDE: ... J. LACROIX & Co. ...
N° 123... 5269/A...

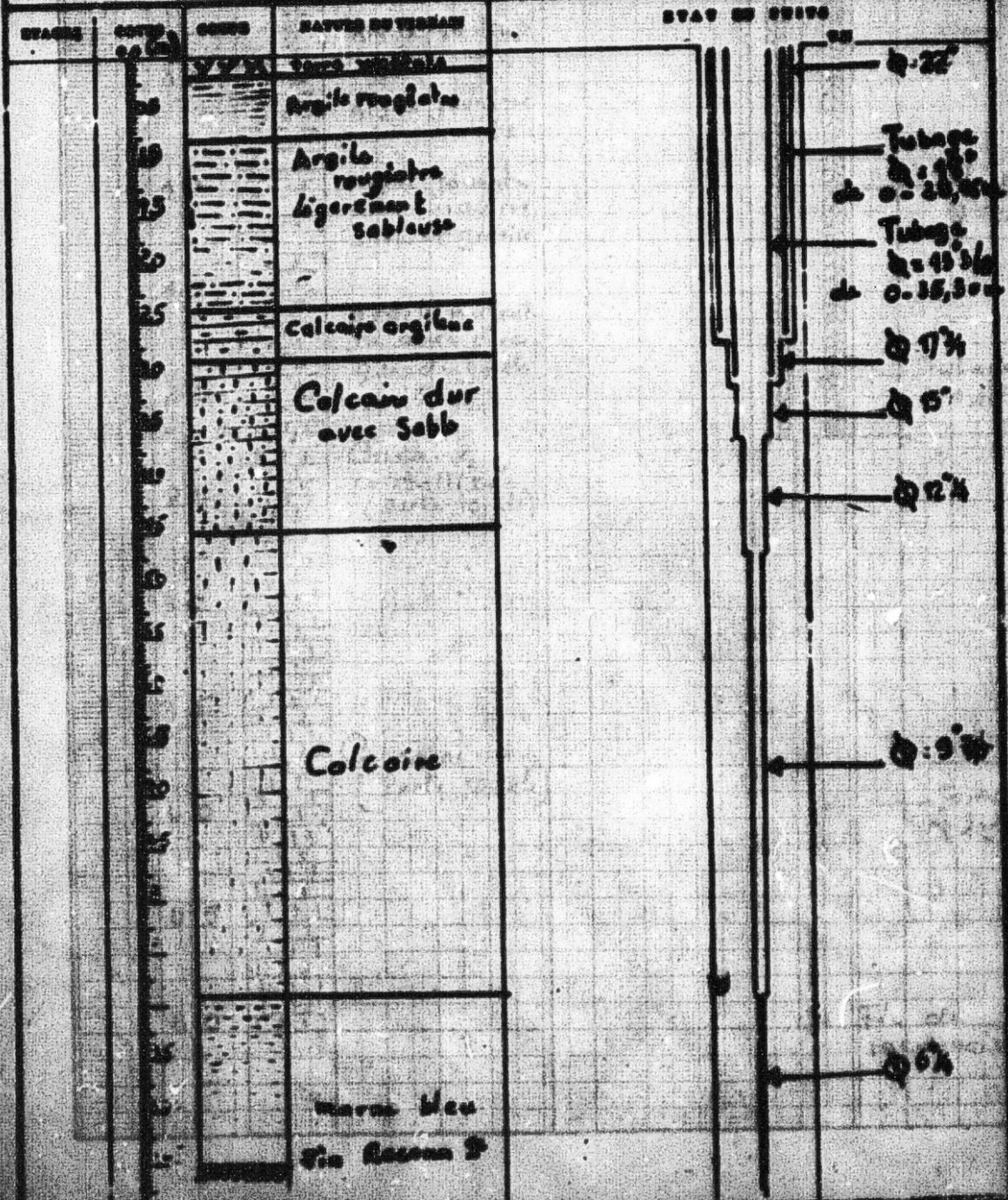
SITUATION

TRAVAIL

LATITUDE: 40° 43' 00"
LONGITUDE: 07° 34' 00"
ALTITUDE: 300 m
CARTE N° 33 AN 4/50000

PROFONDEUR: Forage 2500
COST DE FORAGE: 17.48.70
FIN DE FORAGE: 20.06.74

PROFONDEUR: 1,70
DÉBIT: 1000
P.M. 2.547 IN: 5,40



SITUATION		TRAVAUX		CARACTERISTIQUES	
LATITUDE :	40° 47' 50"	APPAREIL :		NP	14 p m
LONGITUDE :	7° 70' 20"	DEBUT DE FORAGE :		DEBIT :	50 l/s
ALTITUDE :	325 m	FIN DE FORAGE :		N.m.	11,97 m
CARTE :	N° 33 AU 1/50,000				

ETAGES	COTES	COEURS	NATURE DU TERRAIN	ETAT DU TUITO
0	325			
5	320		Argile rouge	
10	315		Argile rouge	
15	310		Argile rouge	
20	305		Argile rouge	
25	300		Argile rouge	
30	295		Argile rouge	
35	290		Argile rouge	
40	285		Argile rouge	
45	280		Argile rouge	
50	275		Argile rouge	
55	270		Argile rouge	
60	265		Argile rouge	
65	260		Argile rouge	
70	255		Argile rouge	
75	250		Argile rouge	
80	245		Argile rouge	
85	240		Argile rouge	
90	235		Argile rouge	
95	230		Argile rouge	
100	225		Argile rouge	
105	220		Argile rouge	
110	215		Argile rouge	
115	210		Argile rouge	
120	205		Argile rouge	
125	200		Argile rouge	
130	195		Argile rouge	
135	190		Argile rouge	
140	185		Argile rouge	
145	180		Argile rouge	
150	175		Argile rouge	
155	170		Argile rouge	
160	165		Argile rouge	
165	160		Argile rouge	
170	155		Argile rouge	
175	150		Argile rouge	
180	145		Argile rouge	
185	140		Argile rouge	
190	135		Argile rouge	
195	130		Argile rouge	
200	125		Argile rouge	
205	120		Argile rouge	
210	115		Argile rouge	
215	110		Argile rouge	
220	105		Argile rouge	
225	100		Argile rouge	
230	95		Argile rouge	
235	90		Argile rouge	
240	85		Argile rouge	
245	80		Argile rouge	
250	75		Argile rouge	
255	70		Argile rouge	
260	65		Argile rouge	
265	60		Argile rouge	
270	55		Argile rouge	
275	50		Argile rouge	
280	45		Argile rouge	
285	40		Argile rouge	
290	35		Argile rouge	
295	30		Argile rouge	
300	25		Argile rouge	
305	20		Argile rouge	
310	15		Argile rouge	
315	10		Argile rouge	
320	5		Argile rouge	

SITUATION

LATITUDE : 40° 49' 70"
 LONGITUDE : 07° 69' 70"
 ALTITUDE : 338 m
 CACTE : n° 33 AN 1/50.000

TRAVAIL

APPAREIL : Franck 200
 DÉBUT DE FORAGE : 17.8.74
 FIN DE FORAGE : 03.12.74

CARACTÉRISTIQUES

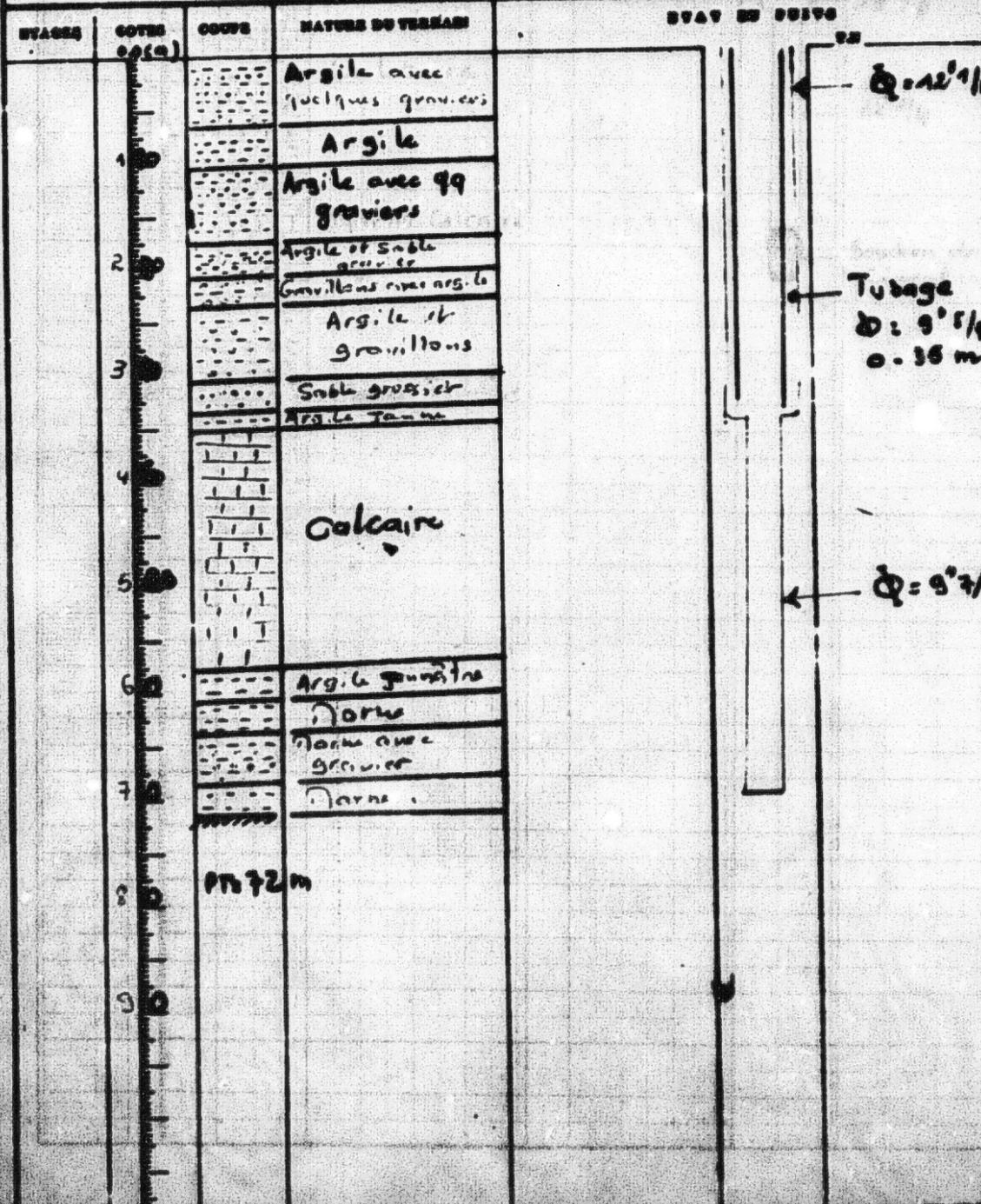
NP 12,65 m
 DÉBIT : 2,8
 Rm 24,93

ÉTAGES	COTES (en m)	COUPE	NATURE DU TERRAIN	ÉTAT EN PRISE
			Arg. li. et galets	
			Alternance de lits de Calcaire dur et de Calcaire argileux plus au moins argileux.	<p>← $\phi = 12^{\circ} 1/4$</p> <p>Tubage</p> <p>Ø: 5 1/2</p> <p>0.30 m</p>
			Calcaire et argile	
			Calcaire micacé blanc à gris	<p>← $\phi = 9^{\circ} 3/4$</p> <p>- 82,0m -</p>
			Calcaire micacé avec nodules calcaires	<p>← $\phi = 9^{\circ} 7/8$</p>
			PT = 115 m	

SITUATION
 LATITUDE : 40° 48' 20"
 LONGITUDE : 07° 71' 20"
 ALTITUDE :
 CARTE : n° 33 au 1/50,000

TRAVAUX
 APPAREIL : FRA... 2000
 DEBUT DE FORAGE : 26/10/74
 FIN DE FORAGE : 4/12/74

CARACTERISTIQUES
 NO 12,3m
 DEBIT m : 13,3
 R.M. : 16,8



SITUATION
 LATITUDE : 40° 48' 40"
 LONGITUDE : 7° 31' 60"
 ALTITUDE : 290 m
 CARTE : N° 33 AU 1/100 000

TRAVAUX
 APPAREIL :
 DÉBUT DE FORAGE : 27/4/88
 FIN DE FORAGE : 4/7/88

CARACTÉRISTIQUES
 N° :
 DÉBIT (m³) :
 R.M. :

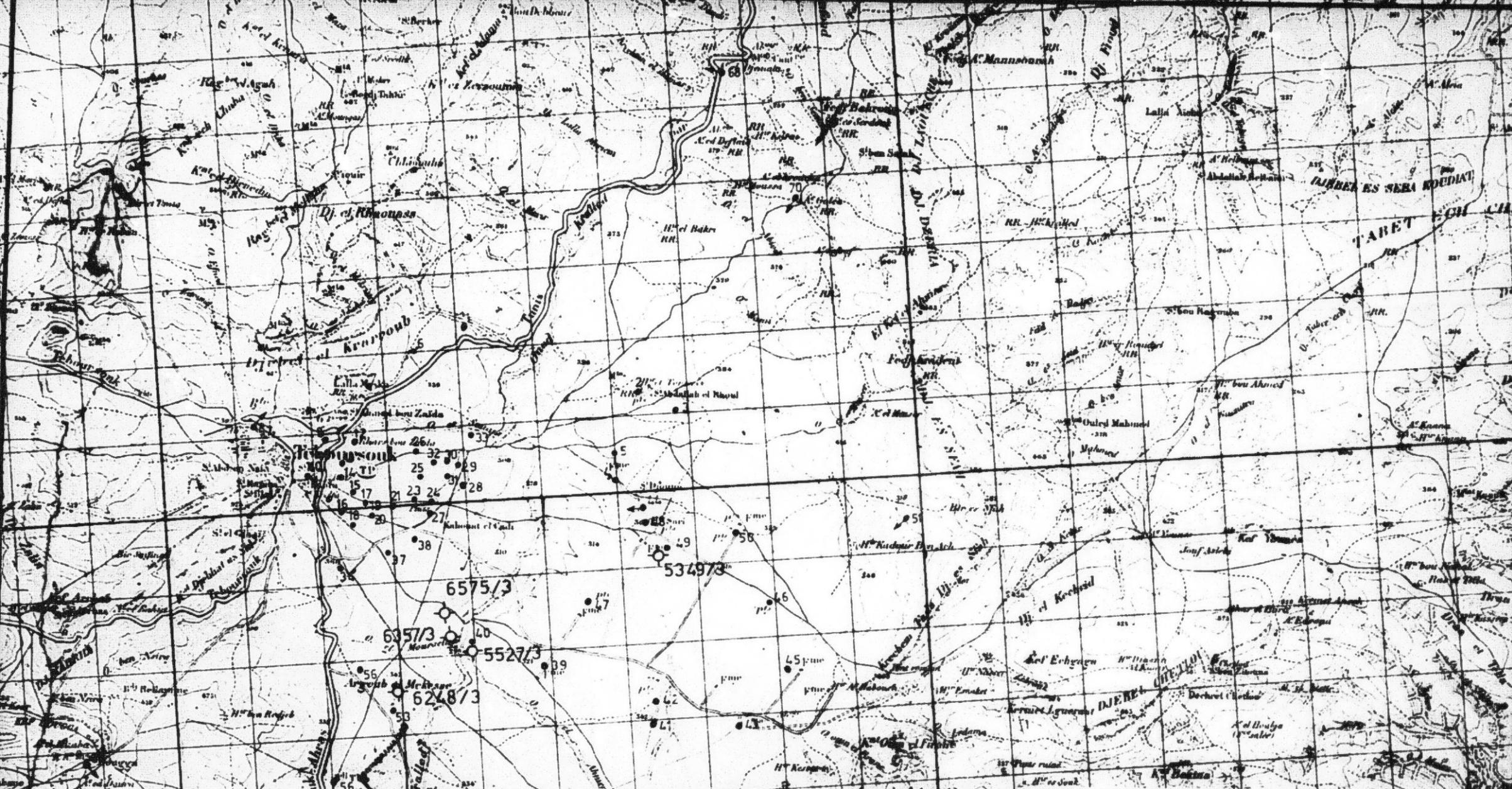
STAGES	COTES	COUPE	NATURE DU TERRAIN	ÉTAT DU PUIT
			Calcaire	18 1/2
			Marne Calcaire	12 1/4
			Marne Friable	
				Bouchon de Ciment

CARTE GEOLOGIQUE

LEGENDE :

-  Alluvions subactuelles
des oueds
-  Croûtes et encroûtements
-  Pliocène Continental
-  Marnes à gypse
- Ey-1  Calcaires lutétien
-  Trias
-  Calcaire en plaquettes
- Qv^c  Silt et conglomérats
-  Marnes grises, brunes
-  Marnes beiges
- Ccam  Campanien
-  Alternances de grès et d'argiles
-  Marnes sombres, Grès argile
-  Cénozanien inférieur

Carte de Teboursouk n° 33 au 1/50.000



PLAINE DE TEBOURSOUK PL: 2

LEGENDE: CARTE DES POINTS D'EAU

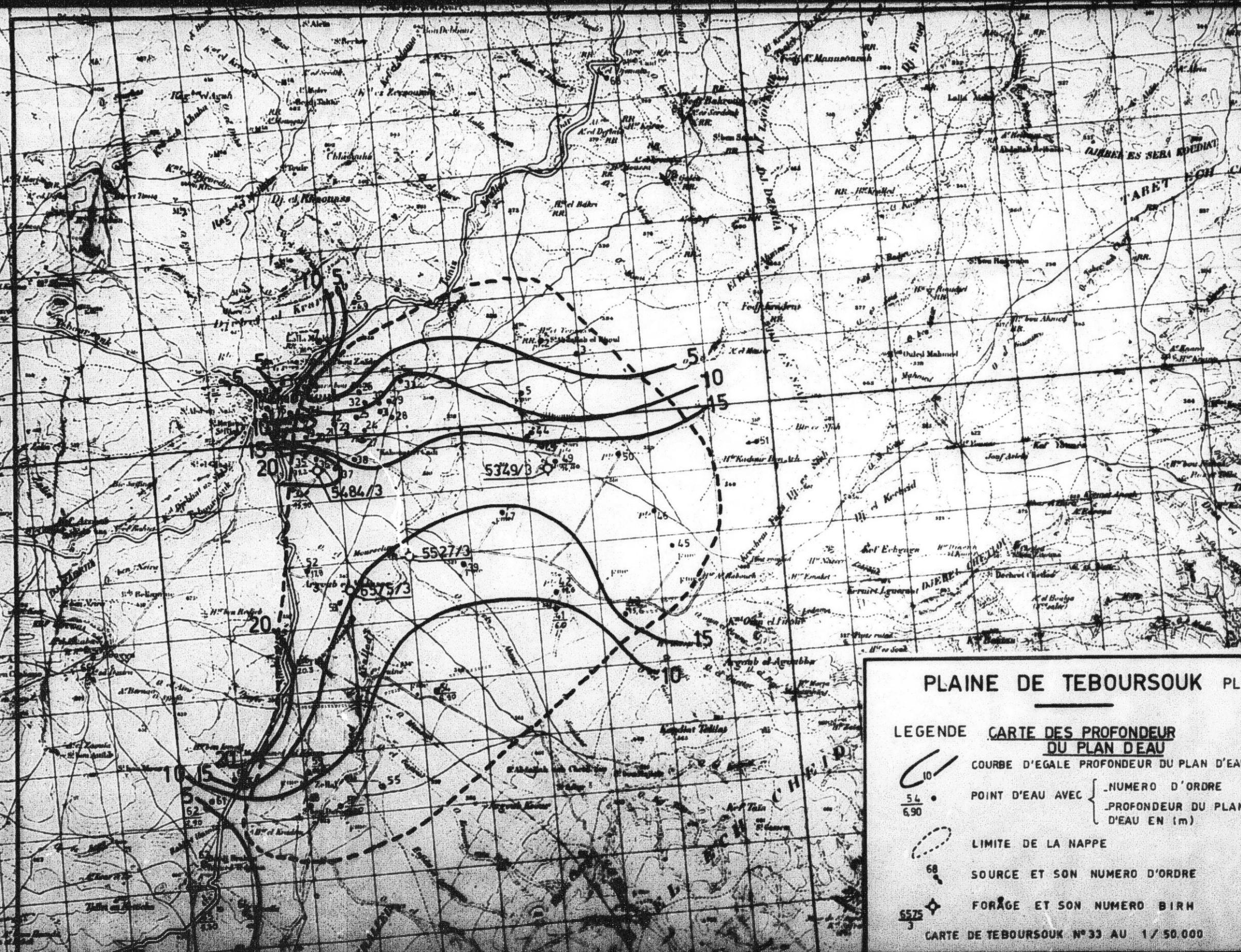
- 10 ● POINTS D'EAU ET NUMERO D'ORDRE
- FORAGE ET SON NUMERO D'ORDRE



PLAINE DE TEBOURSOUK PL:3

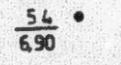
LEGENDE CARTE PIEZOMETRIQUE

-  320 COURBE ISOPIEZOMETRIQUE ET SA COTE EN (m)
-  POINT D'EAU AVEC } NUMERO D'ORDRE
COTE DU NIVEAU
PIEZOMETRIQUE
-  SENS D'ÉCOULEMENT DE LA NAPPE PHREATIQUE
-  LIMITE DE LA NAPPE

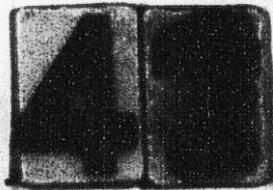


PLAINE DE TEBOURSOUK PL

LEGENDE CARTE DES PROFONDEUR DU PLAN D'EAU

-  COURBE D'EGALE PROFONDEUR DU PLAN D'EAU
-  POINT D'EAU AVEC {
 - NUMERO D'ORDRE
 - PROFONDEUR DU PLAN D'EAU EN (m)
-  LIMITE DE LA NAPPE
-  SOURCE ET SON NUMERO D'ORDRE
-  FORAGE ET SON NUMERO BIRH

FIN



VURS