



HAL
open science

Étude hydrogéologique du bassin versant du Wadi Ghan : Tripolitaine (Libye)

Abdelkader Al Hodairi

► **To cite this version:**

Abdelkader Al Hodairi. Étude hydrogéologique du bassin versant du Wadi Ghan : Tripolitaine (Libye). Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1976. Français. NNT : . tel-00781734

HAL Id: tel-00781734

<https://theses.hal.science/tel-00781734>

Submitted on 28 Jan 2013

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

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

~~T Pr 59801~~

N° d'ordre

R. BARBIER

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ

(troisième cycle de GÉOLOGIE APPLIQUÉE)

par

Abdelkader AL HODAIRI

Etude hydrogéologique du bassin versant
du Wadi Ghan
Tripolitaine (Libye)



PLUS DEUX CARTES

Soutenue le 28 juin 1976 devant la Commission d'Examen

R. BARBIER

Professeur à l'U S M G

Président

J. SARROT-REYNAULD Professeur à l'U S M G

Examineur

J.C.FOURNEAUX

Assistant Docteur

Examineur

~~F Pr 5981~~

T GRE
1976
ALH

n° d'ordre

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

R. BARBIER

DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ

(troisième cycle de GÉOLOGIE APPLIQUÉE)

par

Abdelkader AL HODAIRI

Etude hydrogéologique du bassin versant
du Wadi Ghan
Tripolitaine (Libye)

sciences de la terre
BIUS
JUSSEU
CADIST



Soutenu le 28 juin 1976 devant la Commission d'Examen

| | | |
|--------------------|------------------------|-----------|
| R. BARBIER | Professeur à l'U S M G | Président |
| J. SARROT-REYNAULD | Professeur à l'U S M G | Examineur |
| J.C.FOURNEAUX | Assistant Docteur | Examineur |

AVANT PROPOS

Je voudrais au moment de conclure ce mémoire, exprimer ma profonde reconnaissance à mes parents, qui m'ont encouragé et permis de parachever mes études.

Je remercie vivement Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD qui m'a, non seulement guidé sans relâche, de ses critiques et de ses conseils, mais qui a aussi pris une partie de responsabilité pour réaliser et élaborer ce travail.

Je remercie également toute l'équipe de l'institut Dolomieu, particulièrement Monsieur le Professeur R. BARBIER, qui me fait l'honneur de présider le Jury.

Je ne peux, évidemment oublier l'aide efficace de la «G.W.A.» qui a mis à ma disposition tous les documents possible, en particulier

le rapport «Gharian Water Supply Project» et Les Carottages Géophysiques.

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|-----------|
| Abréviations | 1 |
| I - INTRODUCTION | 1 |
| - La Libye | 1 |
| - Le Jebel Nefusa | 5 |
| II - BASSIN VERSANT DU WADI GHAN | 9 |
| - Situation Géographique | 11 |
| . Définition | 11 |
| . Bassin du Wadi Ghan | 11 |
| - Périmètre et Superficie | 11 |
| - Forme du Bassin | 13 |
| - Altitude - Superficie | 13 |
| - Profil et Orientation du Cours d'eau | 15 |
| III - GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DU WADI GHAN | 17 |
| 1 - Le Trias | 17 |
| - La Formation Ras Hamia | 17 |
| - La Formation Azizia | 18 |
| - La Formation Bu Shyba | 18 |
| - La Formation Bu Gheilan | 20 |
| 2 - Le Jurassique | 22 |
| - La Formation Kikla | 22 |
| 3 - Le Crétacé | 23 |
| - La Formation Ain Tobi | 23 |
| . Membre Ain Tobi | 23 |
| . Membre Jefren | 23 |
| - La Formation Gharian | 25 |
| - La Formation Quasr Tigrinnah | 26 |
| 4 - Les Roches Volcaniques | 27 |
| - Coulées Basaltique | 27 |
| - Dykes et Sills | 27 |
| - Strato-Volcans | 28 |
| - Phonolites Intrusives | 28 |
| 5 - Le Quaternaire | 29 |

| | | | |
|--|----|--|-----|
| APERÇU DE LA STRUCTURE GÉNÉRALE | 29 | 4) Etude des Principaux puits réalisés dans la Formation Bu Shyba | 80 |
| CONCLUSION | 31 | a) Puits HG-9 | 80 |
| IV - HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT DU WADI GHAN | 33 | b) Puits HH-1 | 84 |
| - Facteurs conditionnant l'Hydrologie du Bassin Versant | 33 | c) Puits HG-7 | 89 |
| . Les Températures | 39 | d) Puits HH-2 | 93 |
| . Les Humidités | 41 | e) Puits FT-2 | 97 |
| . Les Vents | 42 | f) Puits NM-1 | 100 |
| - Bilan Hydrologique | 43 | 5) Récapitulation des résultats des essais de pompage | 103 |
| . Calcul de la lame d'eau tombée | 44 | 6) Interprétation des mesures géophysiques | 104 |
| - Calcul par la moyenne Arithmétique | 44 | a) Dans le Sondage HG-1 | 104 |
| - Calcul par l'utilisation des Courbes Isohyètes | 44 | b) Dans le Sondage HG-2 | 105 |
| - Calcul par la Méthode de Thiessen | 46 | CONCLUSION - Sur les caractéristiques hydrodynamiques de la Formation Bu Shyba . | 106 |
| . Calcul de l'Evapo-Transpiration | 48 | - La Formation Azizia | 108 |
| - L'Evapo-transpiration réelle selon L. TURC | 48 | - La Formation Ras Hamia | 111 |
| - L'Evapo-transpiration selon COUTAGNE | 49 | - Autres Ressources Possibles | 113 |
| . Le Ruissellement | 51 | a) La Formation Ouled Chebbi | 113 |
| . L'Infiltration | 51 | b) La Formation Bir el Jaja | 113 |
| . Aperçu du Bilan | 51 | c) La Formation Houaz | 116 |
| V - LES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES | 53 | VI - LES QUALITES ET L'ORIGINE DES EAUX | 117 |
| - La Formation Quasr Tigrinnah | 53 | - Alimentation des nappes Aquifères | 124 |
| - La Formation Gharian | 53 | CONCLUSION GÉNÉRALE | 126 |
| - La Formation Ain Tobi | 55 | BIBLIOGRAPHIE | 129 |
| - La Formation Bu Shyba | 55 | | |
| . Les Essais de Pompage | 58 | | |
| 1) Essai par paliers | 58 | | |
| a) Détermination Graphique des Constantes A et B | 58 | | |
| b) Signification de la Constante A et Approximation de la Transmissivité | 59 | | |
| c) Signification de la Constante B | 60 | | |
| d) Avantages et Limites de l'Essai de Pompage par paliers | 60 | | |
| 2) Méthode de Résolution Graphique des Formules de non-équilibre | 60 | | |
| a) Méthode d'Approximation Logarithmique | 61 | | |
| b) Méthode de la Courbe Standard | 62 | | |
| 3) Courbe de Remontée | 64 | | |
| Les Carottages Géophysiques | 65 | | |
| a) Le Diagramme Micrologue | 65 | | |
| b) Le Diagramme de Rayons Gamma | 65 | | |
| c) Le Diagramme Micro-Diamétrage | 65 | | |
| d) Le Diagramme de Résistivité | 71 | | |

I

INTRODUCTION

Nous commencerons cet exposé en donnant un résumé général sur la géologie et l'hydrogéologie de la Libye d'une part et sur le Jebel Nefusa d'autre part.

LA LIBYE

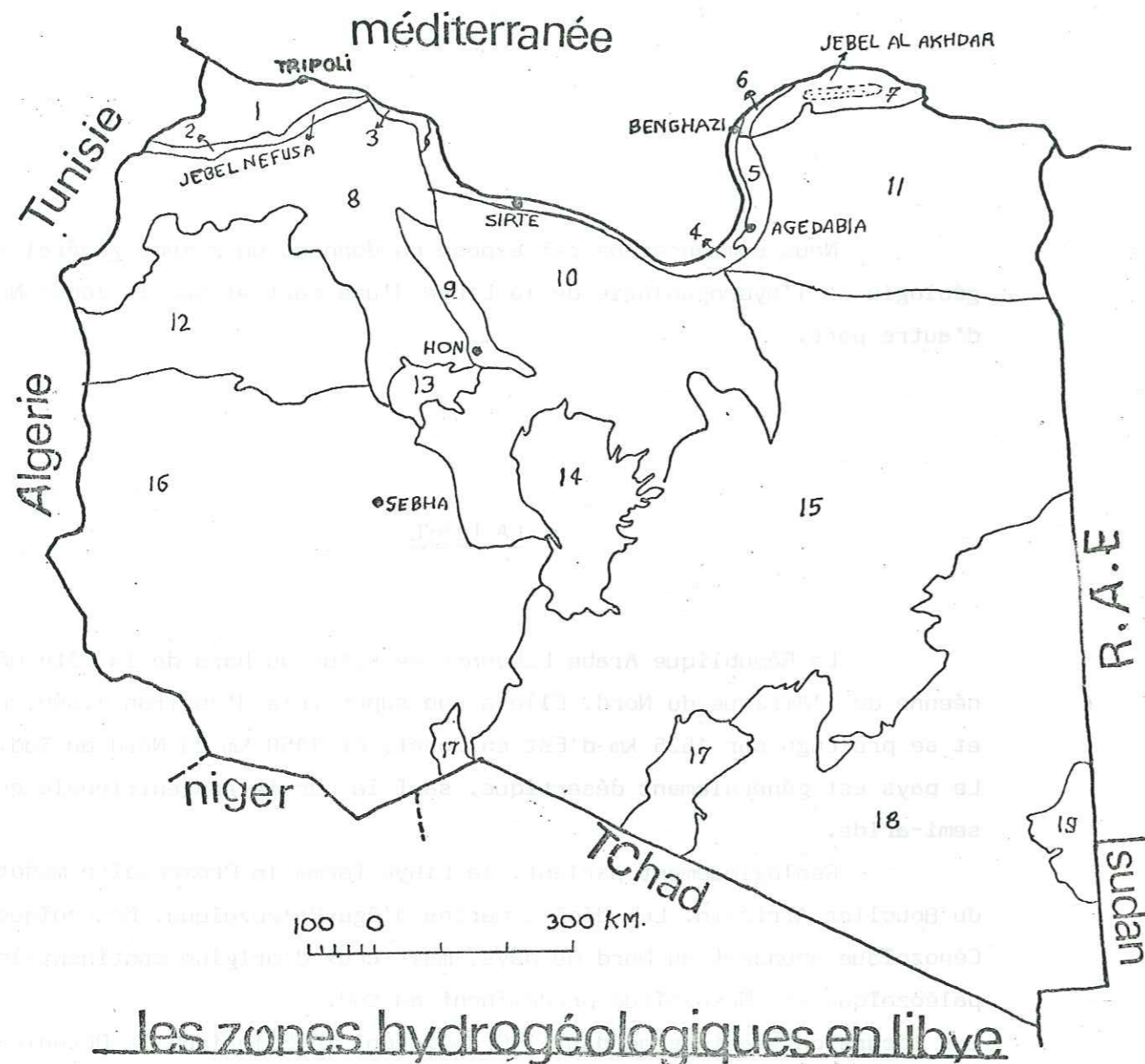
La République Arabe Libyenne se situe au bord de la Côte méditerranéenne de l'Afrique du Nord. Elle a une superficie d'environ 1.600.000 km² et se prolonge sur 1525 km d'Est en Ouset, et 1450 km du Nord au Sud. Le pays est généralement désertique, sauf la partie septentrionale qui est semi-aride.

Géologiquement parlant, la Libye forme le Promontoire méditerranéen du Bouclier Africain. Les dépôts marins d'âge Paléozoïque, Mésozoïque et Cénozoïque abondent au Nord du pays, mais ceux d'origine continentale d'âge paléozoïque et Mésozoïque prédominent au Sud.

Les incursions marines pendant l'Ordovicien, le Silurien, le Dévonien, le Carbonifère, le Crétacé Supérieur et le Tertiaire inférieur étaient parvenues loin au Sud du pays, parfois, dépassant les frontières méridionales.

Les plis de compressions sont presque entièrement inexistantes, alors que les subsidences, les soulèvements, formations de failles et basculements existent. Les discordances angulaires et cartographiques sont courantes. Les structures régionales majeures sont représentées par le Bassin de la Jefara, le Bassin de Hamada ou de Ghadamés, l'Arc de Gargaf, le Bassin de Morzuq, le soulèvement du Tibesti-Haruj, le Bassin de Kufra, le soulèvement de Cyrenaïque et le Bassin du Sirte (Voir PL I).

Les basaltes extrusifs d'âge Cénozoïque sont présents, et les sables et les graviers masquent le bed-rock sur environ le tiers du pays.



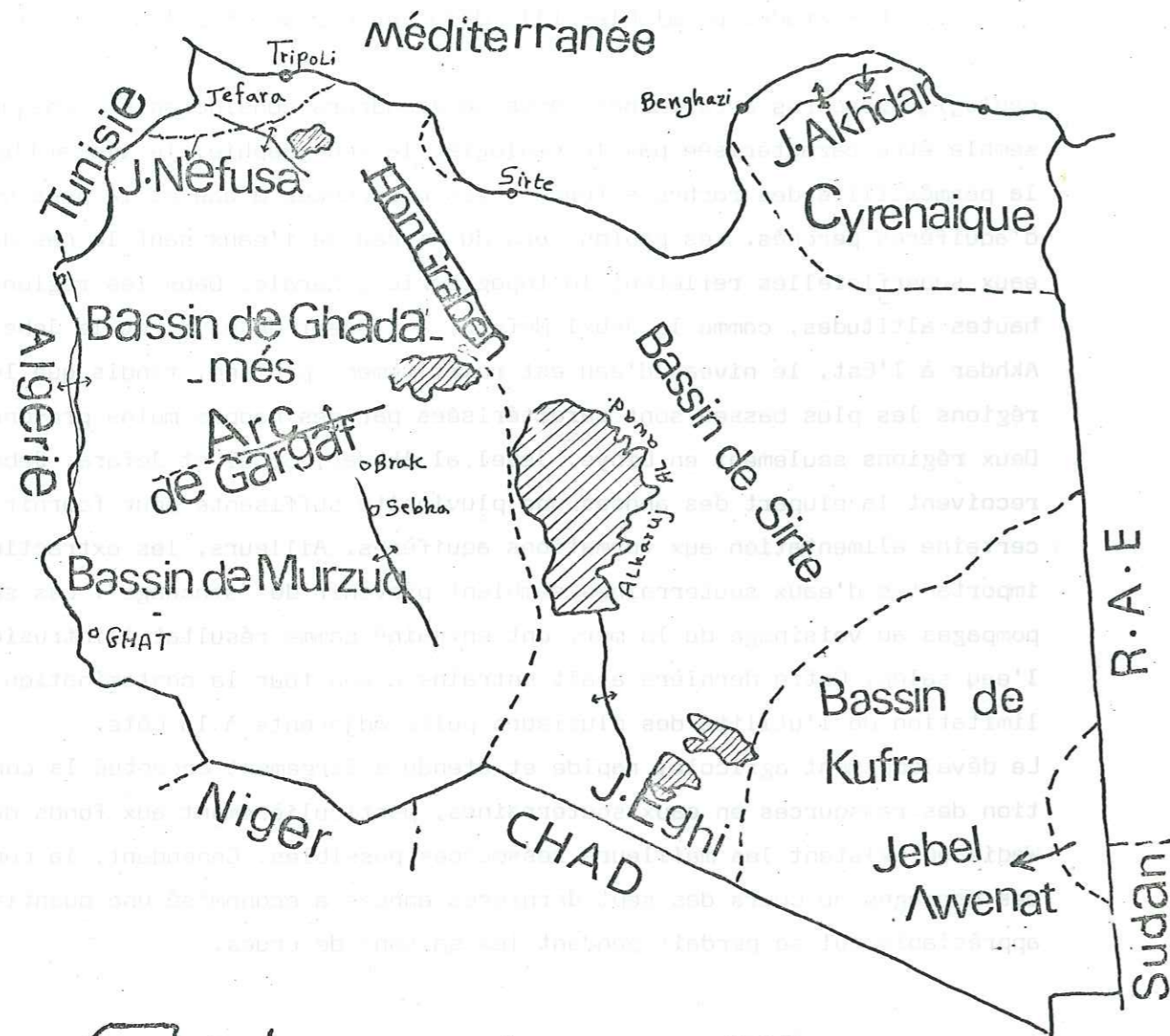
1. Gafara 2. Jebel Nefusa 3. Misurata 4. Sirte Coast
 5. Agedabia 6. Sahel 7. Jebel Akhdar 8. Ghibla
 9. Hon Graben 10. Sirtica 11. Balta 12. Hamada al Hamra
 13. Jebel es Soda 14. Haruj al Aswad 15. Calanshio
 16. Murzuk Basin 17. Tibesti 18. Kufra Basin 19. Uweinat.

J. Jones (1964)

Les études préalables (1), déjà entreprises sur l'hydrogéologie Libyenne ont montré une uniformité relative de certaines conditions hydrogéologiques propres à certaines zones de grandeurs considérables. Chaque zone semble être caractérisée par la géologie, la topographie, le ruissellement la perméabilité des roches saturées, les occurrences d'eau et la présence d'aquifères perchés. Les profondeurs du niveau de l'eau sauf le cas des eaux superficielles reflètent la topographie générale. Dans les régions de hautes altitudes, comme le Jebel Nefusa, à l'Ouest du pays, et le Jebel al Akhdar à l'Est, le niveau d'eau est relativement profond, tandis que les régions les plus basses sont caractérisées par des nappes moins profondes. Deux régions seulement en Libye, Jebel al Akhdar, Sahel et Jefara, Jebel Nefusa reçoivent la plupart des années une pluviosité suffisante pour fournir une certaine alimentation aux formations aquifères. Ailleurs, les extractions importantes d'eaux souterraines semblent provenir du "stockage". Les sur-pompages au voisinage de la mer, ont entraîné comme résultat l'intrusion de l'eau salée. Cette dernière avait entraîné à son tour la contamination et la limitation de l'utilité des plusieurs puits adjacents à la Côte. Le développement agricole, rapide et étendu a largement accentué la consommation des ressources en eaux souterraines, particulièrement aux fonds des Wadis où existent les meilleurs ressources possibles. Cependant, la construction des barrages au cours des sept dernières années a économisé une quantité d'eaux appréciable qui se perdait pendant les saisons de crues.

(1) J. Jones (1964), Water provinces in Libya.

Carte des Principaux Elements Structuraux de la Géologie Libyenne



(1)

LE JEBEL NEFUSA

Le Jebel Nefusa est une caractéristique géomorphologique très éminente au Nord-Ouest de la Libye. La falaise du plateau d'altitude variable se prolonge vers l'Est et l'Est-Nord-Ouest sur environ 320 km, à partir des frontières Tuniso-Libyennes, près de "Wazin" jusqu'au voisinage de "Khoms" sur la Côte méditerranéenne. Le plateau qui se courbe, et fait face vers le Nord est variablement disséqué par des canaux et des vallées relativement profonds. Il surplombe une large plaine (la plaine de la Jefara), qui est coincée entre la falaise et la mer méditerranéenne.

Le Jebel, se compose, géologiquement, des roches Mésozoïques, notamment de grès, d'argiles, de calcaires dalomitiques. Les roches tendre forment les talus, qui sont souvent couverts par des éboulis et des masses rocheuses. Les roches volcaniques représentées par des basaltes extrusifs et des phonolites intrusives couvrent le coin Sud-Est de la région, ainsi que des taches au tour de la ville de Garian. Les formations stratigraphiques qui affleurent dans la région, et le développement de leur nomenclature, sont présentés dans le tableau 1. Au Nord du Jebel, la plaine de la Jefara est largement couverte par des dépôts quaternaires. Au dessous de cette couverture une faille majeure, "la faille de l'AZIZIA", se prolonge d'Est en Ouest et divise la plaine presque en deux parties égales, c'est à cette faille, que quelques auteurs (2) ont attribué la création de la falaise du Jebel. L'autre hypothèse (3), qui admet un soulèvement d'une falaise marine érodée par l'action des vagues, lorsque la plaine de la Jefara était encore submergée, n'est plus valable après les dernières études géophysiques du sous-sol.

Le climat du Jebel Nefusa est généralement semi-aride. La température est très élevée en été et relativement basse en hiver. Le maximum dépasse 40° C, alors que le minimum peut être inférieur à zéro degré. Les précipitations sont saisonnières, tombant pour la plupart en hiver et varient d'une année à l'autre. Cependant cette région reçoit des précipitations

(1) Jebel, signifie un plateau où une montagne,

(2) Lipparini (1940), et Miller (1971)

(3) Zaccagna (1919)

Développement des Divisions Chrono-stratigraphiques du Jebel Nefusa

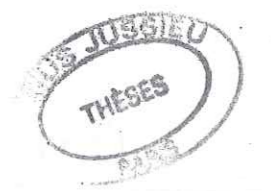
Tableau 1

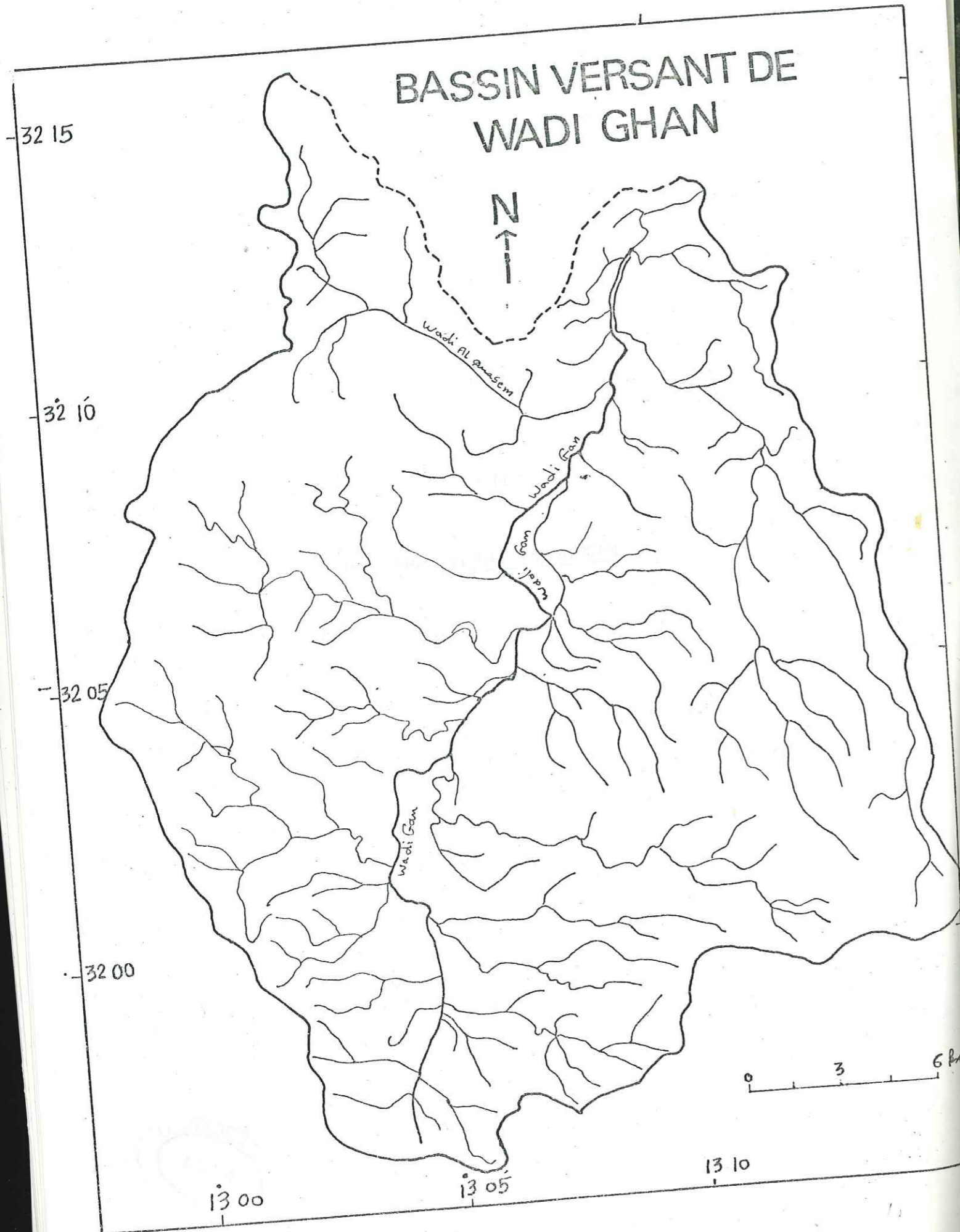
| Auteur Age | | Christie | Lexigest. | Burollet | Desio | Magnier | C. R. 1 | |
|---------------|------------|------------------------------------|-----------|--------------|-------------------------|----------------|------------|-------|
| | | 1955 | 1960 | 1963 | 1963 | 1963 | 1975 | |
| Crétacé | SUPERIEUR | Céno manien Turo- nien | Fm QT | Fm QT | Fm QT | Fm QT | Fm QT | |
| | | | Fm GH | Fm GH | Fm T | Fm QT | Fm QT | |
| | | | Mb J | Fm J | Fm J | Fm GH | Fm N | |
| | | | Mb AT | Fm AT | Fm AT | Fm AT | Mb J | |
| | | | Mb AT | Mb UZ | Fm AT | Mb SC Fm GE | Fm K | Mb AT |
| | INFÉRIEUR | Albien Neocomien Aptien | Fm K | Mb G Fm K | Mb K | Fm K | Fm CA | |
| | | | | | Mb CA | | | |
| | | | | | Fm SH | | | |
| | | | | | Mb GO Mb GI Mb TA | | | |
| | | | | | | | Fm SH | Fm K |
| Jurassique | MOYEN SUP. | Bajocien Bathonien Oxfordien | Gr BGH | GYPSE | | Fm TI | Fm K | |
| | | | | BGH | | Fm TA | Fm TA | |
| | INF. | Majocin | Mb BG | | Fm AB | Fm AB | Mb AB | |
| | | | | | BN | Mb BN | Mb BN | |
| Trias | SUPERIEUR | Murien Rhétien | Gr BU | Fm BU | Mb BG | Fm BGH | Mb BGH | |
| | | | | | Mb BG | | | |
| | MOYEN | Carnien | Fm BU | Fm BU | Fm BU | Fm BU | Fm BU | |
| | | | Fm AZ | Fm AZ | Fm AZ | Fm AZ | Fm AZ | |
| | | Fm AZ | Fm RH | Fm KU | Fm KU | Fm KU | | |
| | | Fm BO | Fm RH | | Fm KU | Fm KU | Fm ? OC | |

plus importantes que les autres régions de Libye à l'exception du Jebel al Akhdar et de quelques zones dans la plaine de la Jefara.
Les eaux souterraines sont caractérisées par la présence d'aquifères perchés qui dans plusieurs cas donnent naissance à des sources le long de la falaise. La présence d'argile et de gypse entraîne l'accroissement de la salinité des eaux, et la détérioration de leur qualité.

BASSIN VERSANT DE WADI GHAN

II





SITUATION GEOGRAPHIQUE

Définition :

Un bassin versant est un bassin hydrographique fermé, dans lequel toute la zone à un exutoire commun pour son écoulement de surface. Il est séparé des autres bassins par une limite topographique entourant la zone d'où provient l'écoulement.

BASSIN DU WADI GHAN :

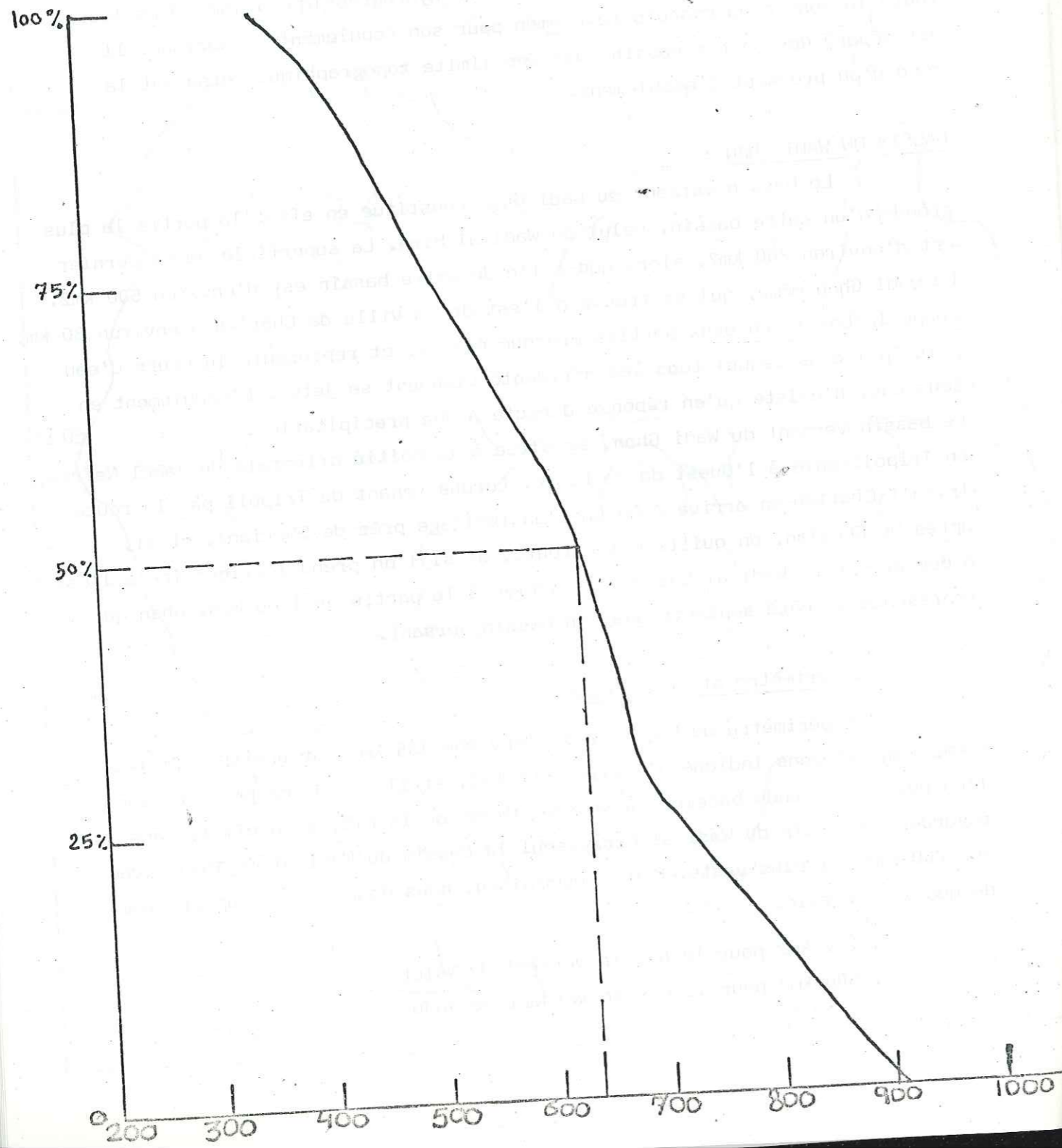
Le bassin versant du Wadi Ghan constitue en effet la partie la plus grande d'un autre bassin, celui du Wadi al Hira. La superficie de ce dernier est d'environ 700 km², alors que celle de notre bassin est d'environ 600 km². Le wadi Ghan même, qui se trouve à l'est de la ville de Gharian à environ 30 km, coupe le bassin en deux parties presque égales, et représente le cours d'eau principal dans lequel tous les affluents viennent se jeter. L'écoulement en tous cas, n'existe qu'en réponse directe à une précipitation. Le bassin versant du Wadi Ghan, se situe à la moitié orientale du Jebel Nefusa, en Tripolitanie à l'Ouest de la Libye. Lorsque venant de Tripoli par la route Tripoli-Gharian on arrive à Bu Gheilan (village près de Gharian), et si, après Bu Gheilan, on quitte cette route, et si l'on prend l'itinéraire à l'Est à peu près vers Wadi al Quasem, on arrive à la partie aval du Wadi Ghan qui représente le côté septentrional du bassin versant.

• Périmètre et Superficie :

Le périmètre du bassin est d'environ 135 km pour une superficie, comme nous l'avons indiqué d'environ 600 km², et il est de ce point de vue l'un des plus grands bassins du versant Ouest de la Libye. En effet, sans regarder le bassin du Wadi al Hira, seul le bassin du Wadi al Majinin, avec ses 760 km² est plus vaste. Pour comparaison, nous donnons les superficies de quelques bassins

- 277 km² pour le bassin versant de Nalut
- 500 km² pour le bassin versant de Jadu

courbe hypsométrique



- 592 km² pour le bassin versant de Wadi Arramil
- 190 km² pour le bassin versant de Wadi Libdah.

• Forme de bassin :

Le style du périmètre d'un bassin, joue un rôle important, car, c'est lui qui contrôle la proportion d'eau de surface qui alimente le cours principal de l'amont à l'aval. Plusieurs indices ont été introduit pour exprimer numériquement la forme du bassin versant. Cependant, l'indice le plus généralement admis, est le coefficient de compacité de Gravelins qui représente le rapport du périmètre du bassin P à la circonférence d'un cercle ayant la même superficie S. Si le coefficient de Gravelins est C, nous pourrions donc établir la relation :

$$C = \frac{P}{2 \sqrt{S}}$$

Pour le bassin versant de Wadi Ghan C est :

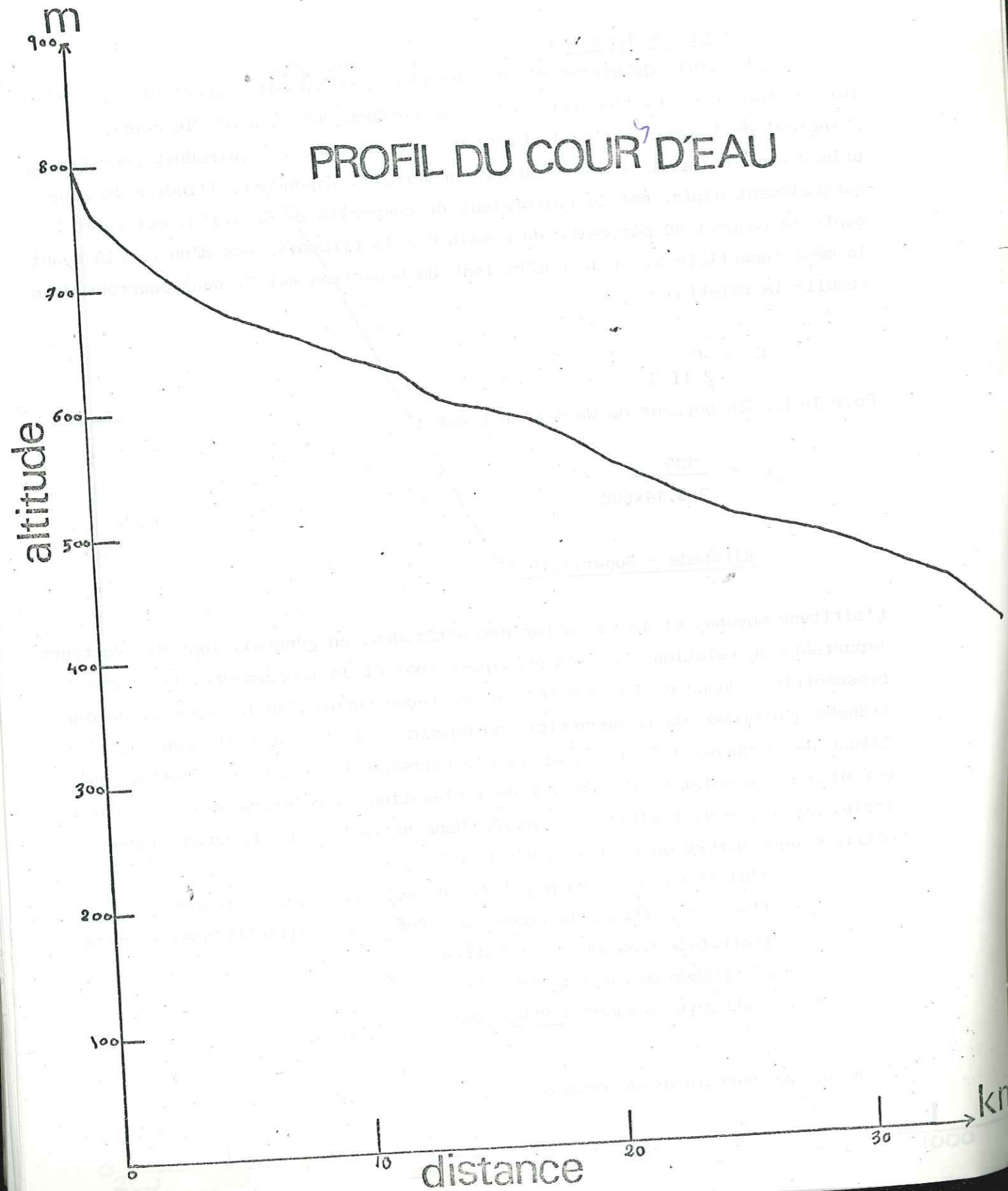
$$C = \frac{135}{2 \sqrt{3,14 \times 600}}$$

• Altitude - Superficie :

L'altitude moyenne et la variation des altitudes, en général, sont des facteurs importants en relation avec les précipitations et la température. La courbe hypsométrique donne de façon simple et de façon cumulative la répartition par tranche d'altitude de la superficie du bassin versant. Sur cette courbe, l'altitude de fréquence 50% de la superficie correspond à l'altitude Médiane qui est plus représentative de l'effet de l'élévation en relation avec l'hydrologie, que celle de l'altitude moyenne. Dans notre bassin, la courbe hypsométrique nous permet de définir surtout :

- l'altitude de fréquence 1/2, qui est celle qui correspond à l'abscisse 1/2 de la courbe des fréquences altimétriques = 635 m
- l'altitude maximum : 950 mètres
- l'altitude minimum : 360 mètres
- l'altitude moyenne : $\frac{950 + 360}{2} = 655$ mètres.

Ces résultats entraînent un commentaire.



On note que la différence entre l'altitude moyenne et celle de fréquence 1/2 n'est pas grande. Ce qui dénote une prédominance des zones d'altitudes comprises entre 635 et 655 m. Ainsi, le bassin versant du Wadi Ghan, apparaît-il homogène dans sa morphologie.

• Profil et orientation du Cours d'eau :

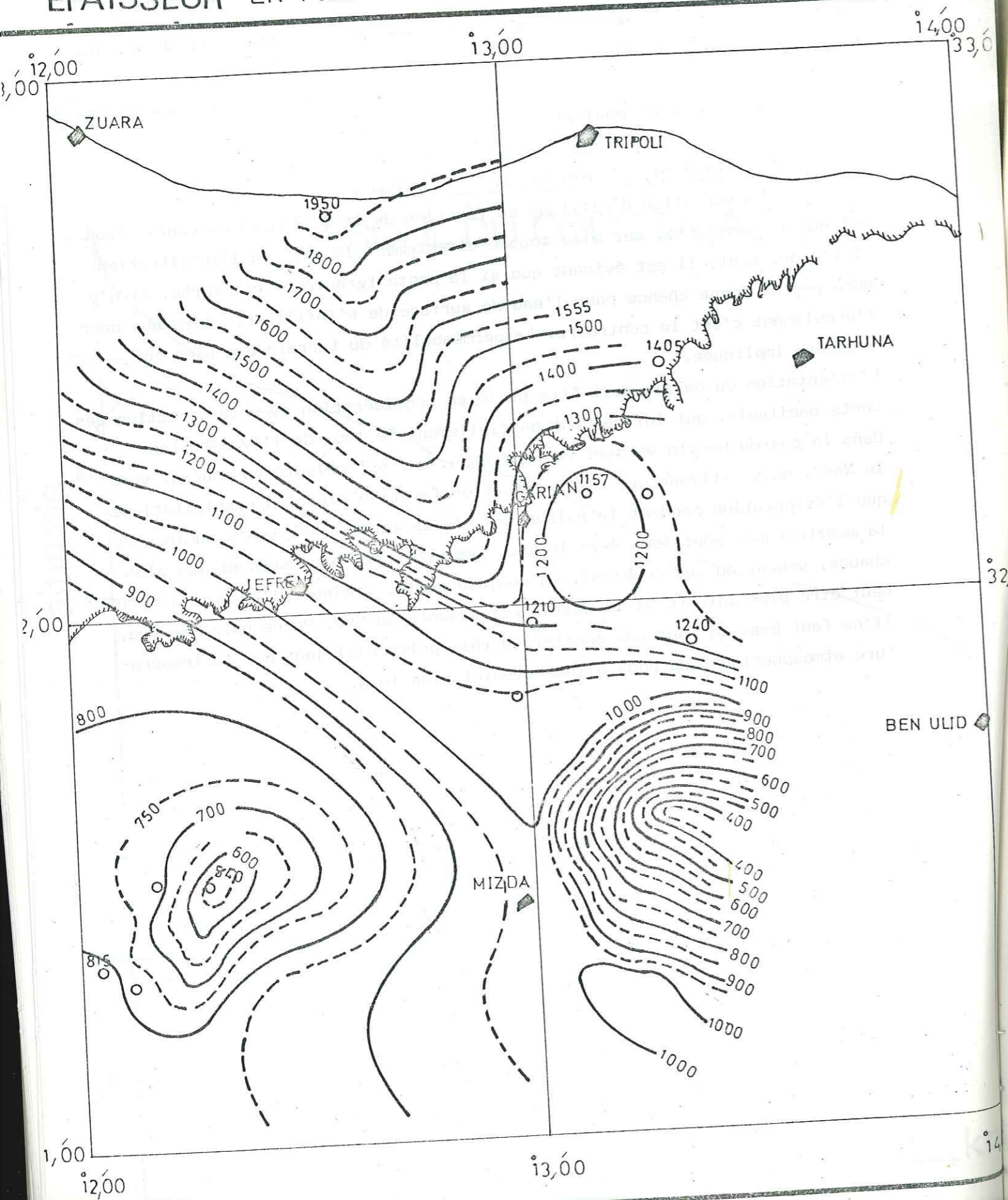
La variation d'altitude en fonction de la distance, du cours d'eau est aussi importante, car elle touche directement le taux de l'infiltration et l'écoulement. Il est évident que si la pente (gradient) est forte, il n'y aura pas de bonne chance pour l'eau de surface de s'infiltrer, alors que pour l'écoulement c'est le contraire. La perméabilité du terrain est bien sûr toujours impliquée.

L'orientation du bassin doit être prise en considération avec la direction des vents habituels, qui influencent partiellement le taux de l'évaporation. Dans le cas du bassin versant du Wadi Ghan, qui est orienté en général vers le Nord, nous estimons que cette situation favorise plus les précipitations que l'évaporation pendant la saison des pluies lorsque les vents humides de la méditerranée soufflent vers le Sud. Les vents les plus secs et les plus chauds, venant du Sud semblent, en quelque sorte, diminuer l'évaporation qui peut être plus intense si le bassin est orienté au Sud. De ce point de vue, il ne faut pas, en tout cas oublier le rôle primordial joué par la température atmosphérique que nous allons étudier plus loin.

CARTE ISOPAQUE DE LA FORMATION
RAS HAMIA

ÉPAISSEUR EN PIEDS

ÉCHELLE 1:1 000 000



III

GÉOLOGIE DU BASSIN VERSANT DU WADI GHAN

Dans la description de la géologie générale du bassin versant du Wadi Ghan, nous faisons mention du fait que celle-ci doit toujours être remplacée dans le cadre général, de la géologie de l'ensemble du Jebel Nefusa qui semble caractériser cette région. Nous commençons tout d'abord par la lithostratigraphie des formations qui affleurent dans le bassin, de la base au sommet.

Le Trias

- La formation Ras Hamia :

Cette formation était appelée aussi "Boutonnière", et "Kurrush", mais nous avons adopté l'appellation Ras Hamia, car c'est la plus couramment admise. Dans notre région, il n'y a qu'un petit nombre d'affleurements du sommet de la formation. Ces affleurements partiels forment plusieurs dômes à Gharian et au front de la falaise du Jebel Nefusa. Toutes les études significatives concernant cette formation sont basées en général sur des renseignements recueillis dans les forages. D'après les études sédimentologiques et pétrographiques entreprises à la lumière des forages pétrolières, la formation Ras Hamia comprend généralement trois unités plus ou moins distinctes de la base au sommet.

- Une zone argilo-carbonatée caractérisée par la présence d'une association de Myophories, telles que : *Myophoria élégans* DUNKER ; *Myophoria inaequicostata* KLIPSTEIN ; et *Myophoria orbicularis* BRONN. En raison de cette association de fossiles la zone est largement connue comme la zone à Myophorie.

- Une zone continentale au milieu qui se compose de grès et d'argiles avec un ciment dolomitique.

- Un ensemble carbonaté où se développent des intercalations minces, composées de grès et d'argiles rougeâtre.

Au sommet de cet ensemble, une série dolomitique représente la transition entre les formations clastiques continentales et les calcaires de la formation AZIZIA

au-dessus.

Le Ras Hamia est une formation transgressive. Cette caractéristique est mise en évidence par la présence de grains de quartz corrodés et de glauconie, particulièrement à la base, et par l'existence de la série détritique sous-jacente dont l'épaisseur diminue régulièrement en allant vers le Sud, ainsi que la formation Ras Hamia. (Voir la carte isopaque du Ras Hamia).

L'âge de la formation tout entière est rattaché au Muschelkalk supérieur.

Ce rattachement résulte surtout de la séquence argilo-carbonatée qui constitue la zone à Myophorie d'âge Ladinien.

- La formation AZIZIA :

Faisant suite à la formation Ras Hamia, on rencontre en concordance, (1) le calcaire de l'AZIZIA qui prend le nom d'un village et qui constitue le cœur de l'anticlinal de Gharian ainsi que quelques affleurements dans la plaine de la Jefara.

La lithologie se compose essentiellement de calcaires bien stratifiés de couleur grise, ces calcaires dans lesquels les bandes de cherts sont courantes, sont mi-dolomitiques, mi-siliceux. La partie supérieure de cette formation se transforme graduellement en un faciès argilo-gypseux dont le contact avec les couches sus-jacentes est marquée par une surface ondulée, la limite inférieure est parfois discutable, mais nous la localisons à la première apparition de calcaires stratifiés.

A la base de la formation, des fossiles du "Ladinien" ont été identifiés, tels que *Lingula Tenuissima* (Bronn), et *Lapha montis Caprilis* (Klipst), tandis qu'au milieu et au sommet, ils sont représentés par : *Nucula strigillata* Goldfuss. *Modiolus Paronia Bitt* et *Lapha Calceiformis* (Broili). Le dépôt de la formation AZIZIA, qui semble être dominée par un environnement marin, s'est donc faite du Ladinien au Carnien.

- La formation Bu Shyba :

Succédant au calcaire de l'AZIZIA, nous trouvons la formation Bu Shyba.

(1) nom introduit par Parona (1914).

aussi dénommée par Christie (1955) pour décrire un groupe gresseux du Wadi Bu Shyba au Nord de Gharian.

Cette formation peut être décomposée en deux membres principaux :

- le membre inférieur consiste pour la plupart en silts consolidés rougeâtres et grès dolomitiques à ciment carbonaté. Ce membre à son tour est divisé en quatre zones de la base au sommet.

1. Grès et silts consolidés rougeâtre à ciment dolomitique séparés par des bandes minces de marnes et argiles de quelques centimètres d'épaisseur (— 15 cm). La couleur rougeâtre est attribuée à la matrice argileuse.

2. Grès dolomitique argileux, tendre, d'un gris rougeâtre montrant des litages parallèles. Ce membre est entrecoupé par des calcaires et des marnes où la dolomitisation, parfois courante. Les crinoïdes, les algues (carbonatées), les ostracodes et les pélécy-podes sont par place perceptibles.

3. Grès rosâtres, fréquemment interstratifiés par de l'argile gris blanchâtre et souvent déformés par le phénomène de dessiccation pénécotemporaine.

4. Silt consolidé et grès grossiers rougeâtres séparés par des lits argileux festonnés. Le membre supérieur consiste entièrement en grès rosâtres, généralement peu cimentés et interstratifiés par des niveaux argileux. A l'Est du Wadi Ghan, ce membre se compose de grès à grain moyen à grossier caractérisé par des lits fortement intercroisés, alors qu'à l'Ouest les grès argileux et les litages parallèles s'accroissent.

Le contact entre les deux membres dont nous avons parlé implique une discontinuité de sédimentation démontrée par la présence de chenaux d'érosion remplis de conglomérats et de grès grossiers.

Les caractéristiques lithologiques et paléontologiques du membre inférieur Bu Shyba suggèrent un environnement de sédimentation en eaux peu profondes passant graduellement au-dessus à un environnement progressivement continental.

Le membre suivant indique en général un environnement continental. Les dépôts à grain grossier à l'Est du Wadi Ghan montrent un brassage en eau agitée tandis qu'à l'Ouest les grès argileux proviennent d'une sédimentation en eau plus calme.

Du fait que la partie la plus grande de Bu Shyba est coincée entre le calcaire Carnien d'AZIZIA et celui de la formation sus-jacente de même âge rapporté à Tarhuna, l'âge de Bu Shyba peut donc être considéré comme Carnien.

- La formation Bu Gheilan : (1)

Sur la formation Bu Shyba, nous trouvons en continuité de sédimentation les calcaires de Bu Gheilan. Ces calcaires sont pour la plupart dolomitiques, blanchâtres ou gris clairs à brun. Ils donnent de bons affleurements le long de la falaise entre le Wadi Ghan et l'Ouest de Gharian, et occupent une position intermédiaire dans cette falaise. Au Wadi Ghan même la formation disparaît soudainement et les couches supérieures recouvrent directement le Bu Shyba. Cette disparition peut être justifiée par les conditions de dépôt ou d'érosion. A l'Ouest de Gharian, à Wadi Zagut, les faciès calcaires se transforment graduellement en gypses.

Généralement on peut diviser cette formation en trois parties de la base au sommet :

- Brèche dolomitique et conglomérat séparés par de minces lits dolomitiques. Cette partie est surtout caractérisée par la présence de dolomites à stromatolites en bancs, associés à des évaporites et des marnes à mud-cracks.

- Au milieu, on observe la prépondérance de calcaires oolitiques et des calcaires à stratifications entre-croisées, séparés par des niveaux dolomitiques massifs à stromatolites.

- Finalement on rencontre des dolomites massives régulièrement stratifiées, des conglomérats à galets aplatis et des croûtes dolomitiques. Les évaporites sont en général moins courantes.

L'interprétation du dépôt de cette formation semble être la suivante : Les caractéristiques de l'unité inférieure nous amènent à conclure à l'existence d'une sebkra en raison de :

- 1) - la présence de Mud -Cracks
 - 2) - l'absence de fossiles
 - 3) - la présence de pseudomorphoses de gypse carbonaté. Au milieu, les calcarénites oolitiques suggèrent un environnement sous marin. Ces calcaires oolitiques associés aux stratifications entre-croisées ont été formés par l'action de courants vigoureux dans les barres ou dans les chenaux de marée.
- A la fin, nous trouvons une condition climatique moins extrême pendant la sedi-

(1) nom présenté par Christie (1955).

mentation, indiquée par le manque d'évaporites, ce qui n'est pas le cas à la base. Les dolomites stratifiées ont été déposées dans un environnement supra-tidal à intertidal.

A cause de l'absence de fossiles bien conservés, l'âge de la formation Bu Gheilan ne peut être interprété que grâce à sa position litho stratigraphique qui se trouve entre Bu Shyba (Carnien) et la partie supérieure de Bir al Chenen (Bajocien) (1), ce qui implique un dépôt pendant le laps de temps compris entre le Carnien et le Bojaciën.

LE JURASSIQUE- La formation Kikla :

Cette formation représente une séquence clastique, premièrement décrite par Christie (1955) à Kikla, et qui affleure en général à l'Ouest du Wadi Ghan le long de la falaise du Jebel Nefusa, à partir des frontières Tuniso-Libyennes jusqu'à environ 30 kms à l'est de Gharian, où elle s'amincit et disparaît. (voir la distribution des Formations au Jebel Nefusa). La lithologie se compose de grès rougeâtres ou jaunâtres à grains fins, moyens, ou grossiers, bien arrondis et peu criblés. Ces grains ne sont pas consolidés pour la plupart et les galets de quartz considérablement polis, abondent. La partie inférieure et celle du milieu de Kikla sont caractérisées par la présence de stratifications entre-croisées, tronquées ainsi que quelques intercalations non clastiques mineures. Les non-calcaires prédominant à la base, où les bois pétrifiés et les grands troncs d'arbres sont répandus, et passent à des dépôts carbonatés au sommet. Les limites de la formation, surtout dans la zone entre Giado et Gharian font l'objet de controverses entre plusieurs chercheurs, mais dans la région de Gharian et du Wadi Ghan la formation est définie selon sa position litho-stratigraphique comme celle qui comporte la succession clastique, coïncée en discordance entre le calcaire de Bu Gheilan et le calcaire d'Ain Tobi au-dessus.

Les conditions de l'environnement, dans lequel cette succession clastique s'est déposée semblent être instables malgré la prépondérance du caractère continental. Cette instabilité est évidente surtout là où le complexe des dépôts clastiques est entrecoupés par des lits carbonatés.

Les études paléontologiques ont mis en évidence la possibilité de rattacher la formation Kikla à l'Oxfordien-Kimmeridgien. Ce rattachement est admis après l'identification de quelques microfossiles tels que : *Valvulinella jurassica* (Henson) et *Nuculana ovum* (sow), ainsi que des débris végétaux carbonatés d'âge jurassique.

LE CRETACE- La formation Ain Tobi :

Deux unités successives, calcaires d'Ain Tobi et Marnes de Jefren, composent cette formation à laquelle Christie (1955) a donné le nom. Ces unités lithostigraphiques sont généralement présentées ensemble, dans la géologie libyenne, sous le nom de Formation Ain Tobi qui repose en discordance sur la formation Kikla. Nous allons sommairement donner une description générale de chaque membre indépendamment.

- Membre Ain Tobi :

Les calcaires d'Ain Tobi, représentent les roches les plus répandues le long du sommet de la falaise du Jebel entre Gharian et Tarhuna à l'Est. Ils sont en discordance sur la Formation Kikla qui disparaît à Wadi Ghan ; au delà, c'est la Formation Bu Gheilan qui est en contact avec ce membre, et encore plus loin, à l'Est du Wadi Ghan, cette dernière formation s'amincit à son tour et la discordance apparaît entre Bu Shyba et Ain Tobi. La lithologie dans l'ensemble comporte un calcaire marneux jaunâtre à gris pâle, bien stratifié. La partie inférieure qui est plus siliceuse contient des grains gréseux et des quartz très abondants.

Parmi les fossiles identifiés dans ce membre, qui indiquent un âge Cénomaniens nous mentionnons les fossiles suivants :

Exogyra flabellata (Godlf), *E. Columba* (fmk) ; et *Cardiata Forgemoli* (ccq)

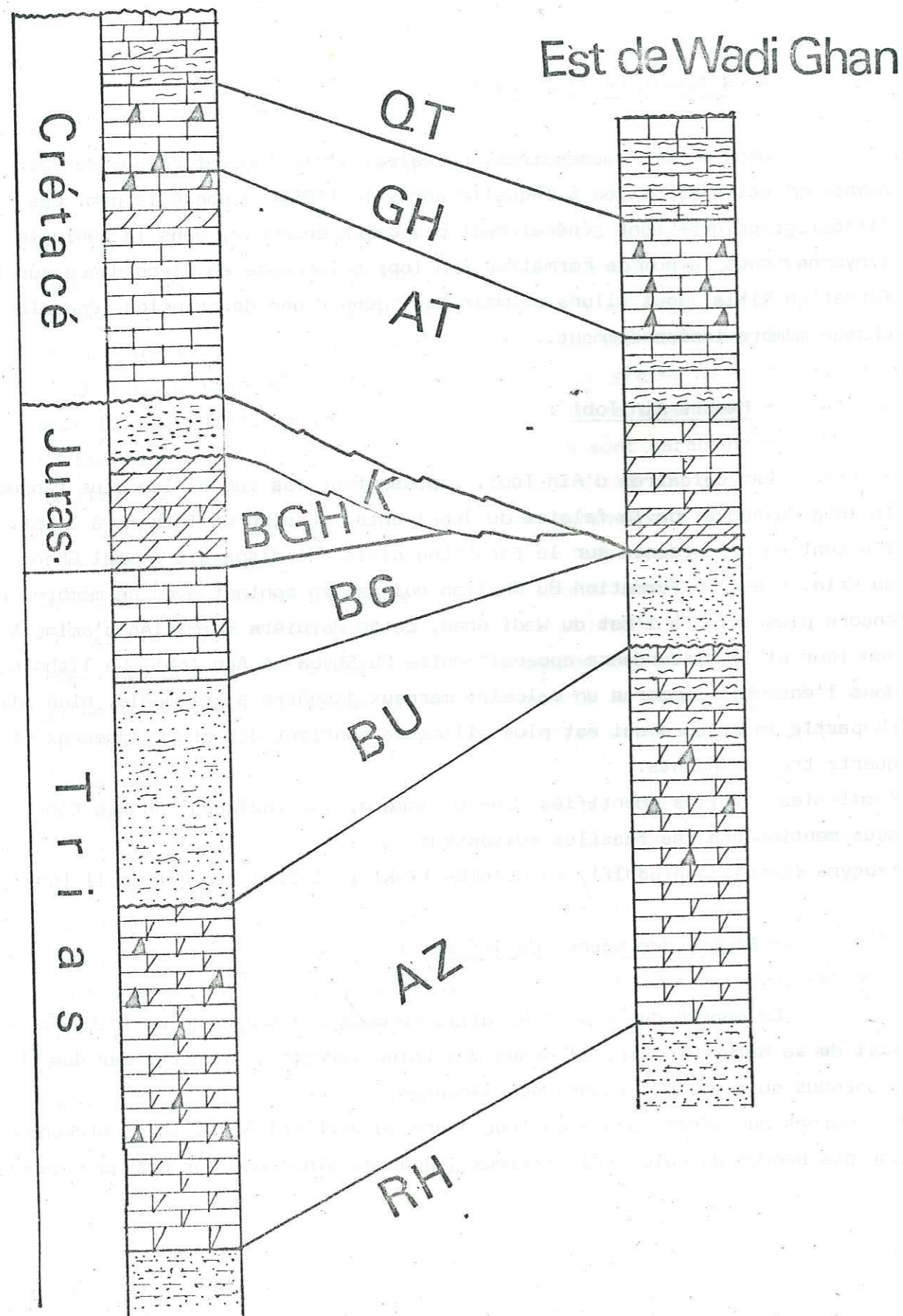
- Membre des marnes de Jefrens :

Ce membre donne de bons affleurements à l'Ouest du Wadi Ghan et du fait de sa nature tendre, il donne des talus jaunâtres couverts par des éboulis descendus surtout, des roches sus-jacentes.

Les marnes de Jefren, d'une couleur jaune ou vert grisâtre, sont entrecoupées par des bandes de calcaires argileux jaunâtres ainsi que par quelques bandes

Comparison entre les colonnes litho-stratigraphiques

Ouest de Gharian



de Gypses et/ou d'anhydrites de quelques mètres d'épaisseur. A l'Est de Gharian en particulier, les marnes deviennent très souvent associés aux calcaires, ce qui rend la distinction entre les deux membres de la formation difficile, et c'est pour cela que quelques auteurs ont eu tendance à grouper indistinctivement ces deux membres comme une formation sous le nom d'Ain Tobi.

Les fossiles identifiés par Christie (1955), dans ce membre sont les suivants : Nerina Gemifera Coq, Tylostoma Sp et Turritella Sp.

L'assemblage des fossiles de ce membre et du membre Ain Tobi rattache la Formation Ain Tobi au Cénomaniens.

- La formation Gharian :

Cette formation a été décrite initialement par Zaccogna (1919) sous le nom de Calcaire de Nalut. Cependant Christie (1955) et Burollet (1963) ont introduit le nom de Gharian qui est actuellement plus couramment admis. La formation est largement distribuée dans toute la région du Jebel Nefusa. Elle forme souvent les sommets surplombant la falaise ainsi que la surface de son plateau, à partir de Gharian jusqu'aux frontières Tuniso-Libyennes à l'Ouest. La Formation Gharian, se situe en concordance entre la formation Quasr Tigrinnah au-dessus et celle d'Ain Tobi au-dessous. Elle est facilement distinguée des autres formations calcaires adjacentes par sa nature massive, par sa couleur grisâtre, par son faciès dolomitique, et sa cristallisation et par la présence de concrétions et de cherts.

La formation Gharian est très peu fossilifère, et les fossiles qu'on a pu trouver sont très mal conservés. Parmi la liste des fossiles identifiés par Christie (1963), nous signalerons les suivants : Neithea Shawi (Sow), N° Quinquecostata (Sow), Exogyra Conica (Sow) et Pecten Sp.

Selon Christie et Desis, cet assemblage de fossiles rattache la formation au Cénomaniens, alors que selon Zaccogna (1919) et Burollet (1963), il la rattacherait au Turonien. Cette dernière attribution est basée sur la Corrélation avec les formations tunisiennes analogues, mais en raison de l'insuffisance de précision de cette corrélation, nous admettons le rattachement au Cénomaniens.

- La Formation Quasr Tigrinnah :

Faisant suite à la Formation Gharian, on rencontre les calcaires marneux de Quasr Tigrinnah qui représentent la dernière Formation sédimentaire dans la colonne lithostratigraphique de la région étudiée.

Cette Formation a été introduite pour la première fois par Christie (1955). Elle est considérée par d'autres auteurs (1) comme le membre inférieur de la Formation Mizda au-dessus de celle de Gharian.

Les affleurements de Quasr Tigrinnah couvrent une superficie considérable, surtout au Sud de la ville de Gharian. Dans le Sud-Est du Bassin versant, elle forme une bande étroite surplombant la Formation Gharian, et affleure au-dessous de la couverture des coulées basaltiques.

La lithologie est représentée essentiellement par une succession des marnes tendres et de calcaires rosés. Ce calcaire est mi-dolomitique, mi-siliceux. L'âge de la formation est vraisemblablement Cenomanien - Turonien, mais selon Christie et Desio un âge Turonien est plus généralement admis.

(1) Jordi et Fonfat (1963)

LES ROCHES VOLCANIQUES

Ces roches essentiellement représentées par des couvertures basaltiques extrusives et des phonolites intrusives sont bien visibles au coin Sud-Est du bassin versant ainsi qu'au centre du dôme de Gharian et dans la région adjacente. La mise en place de ces roches volcaniques est très probablement liée aux activités tectoniques du Jebel Nefusa pendant la période post-cretacé. Les observations sur le terrain ont montré que les roches présentent des styles morphologiques différentes :

- Coulées basaltiques :

Ce type est constitué par des basaltes extrusifs couvrant les roches du Trias au Crétacé supérieur. Les basaltes sont disposés en succession de plusieurs coulées donnant une sorte de couverture d'une extension relativement considérable. Pétrographiquement parlant, ce sont essentiellement des basaltes à olivine avec augite ainsi que quelques minéraux accessoires dont le plus courant est la magnétite. L'âge de cette couverture basaltique est compris entre l'Eocène inférieur et le Paleocène pour Piccoli (1971), mais il serait Quaternaire Inférieur pour Christie (1955).

- Dykes et Sills :

Les Dykes et Sills de basaltes sont bien visibles entre Bu Gheilan et Wadi Ghan, à l'Est. Ils existent sous forme de collines ou de cheminées basaltiques noires alignées plus ou moins parallèlement à la falaise. Les Sills sont présents au contact entre la Formation Kikla et Ain Tobi dans le dôme de Gharian. La composition pétrographique est en général semblable à celle de la couverture basaltique sauf que cette dernière est plus scoriacée.

- Strato-Volcans :

Ce phénomène extrusif existe au Sud-Est de la région où les collines ayant la forme de cratère, se composent d'une alternance de laves et de matériaux volcaniques fragmentés et sont distribués sur la couverture de basaltes.

- Phonolites intrusives :

Ce sont les roches volcaniques les plus courantes à Gharian, surtout, par exemple à Kaf abu Gannush et Kaf Takut. Les roches sédimentaires autour de ces phonolites sont courbées et montrent un pendage relativement fort de 45°. La création de la structure du dôme de Gharian et des autres dômes au voisinage de Gharian est attribuée à l'activité éruptive qui a permis la mise en place de ces phonolites.

LE QUATERNAIRE

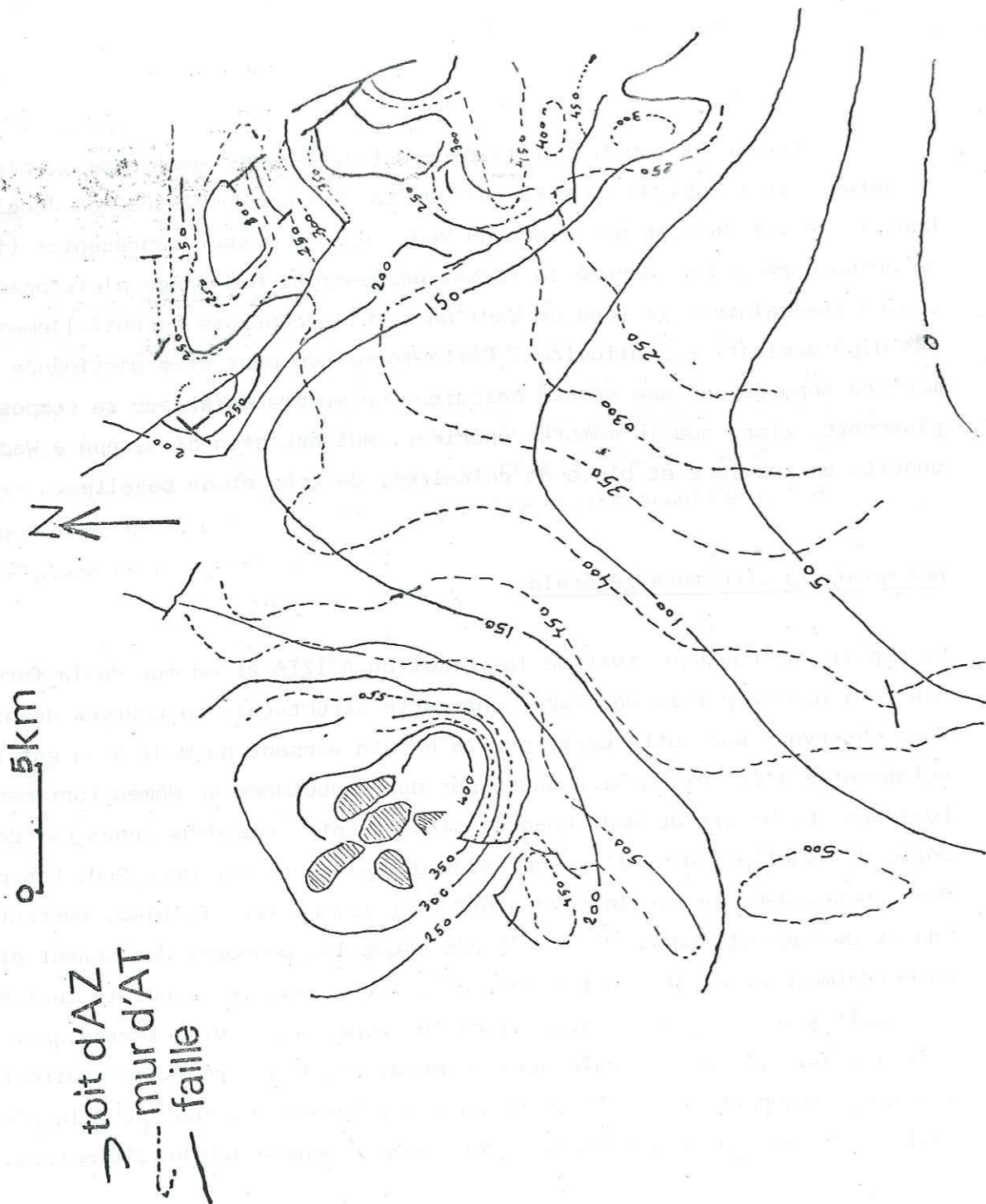
Les dépôts quaternaires couvrent la majeure partie de la plaine de la Jefara ainsi que quelques tâches sur la surface du plateau du Jebel Nefusa. Dans la région du bassin versant du Wadi Ghan, ils sont représentés (1) par ce qu'on a récemment appelé la formation Quasr el Haj d'âge pleistocène qui couvre généralement le fond du Wadi Ghan. Elle consiste essentiellement en des dépôts clastiques alluviaux. Cette formation peut être distinguée en deux membres séparés par une croûte calcaire. Le membre inférieur se compose de conglomérats, alors que le membre supérieur, qui est bien développé à Wadi Ghan consiste en graviers et blocs de calcaires, de grès et de basaltes.

Aperçu de la structure générale

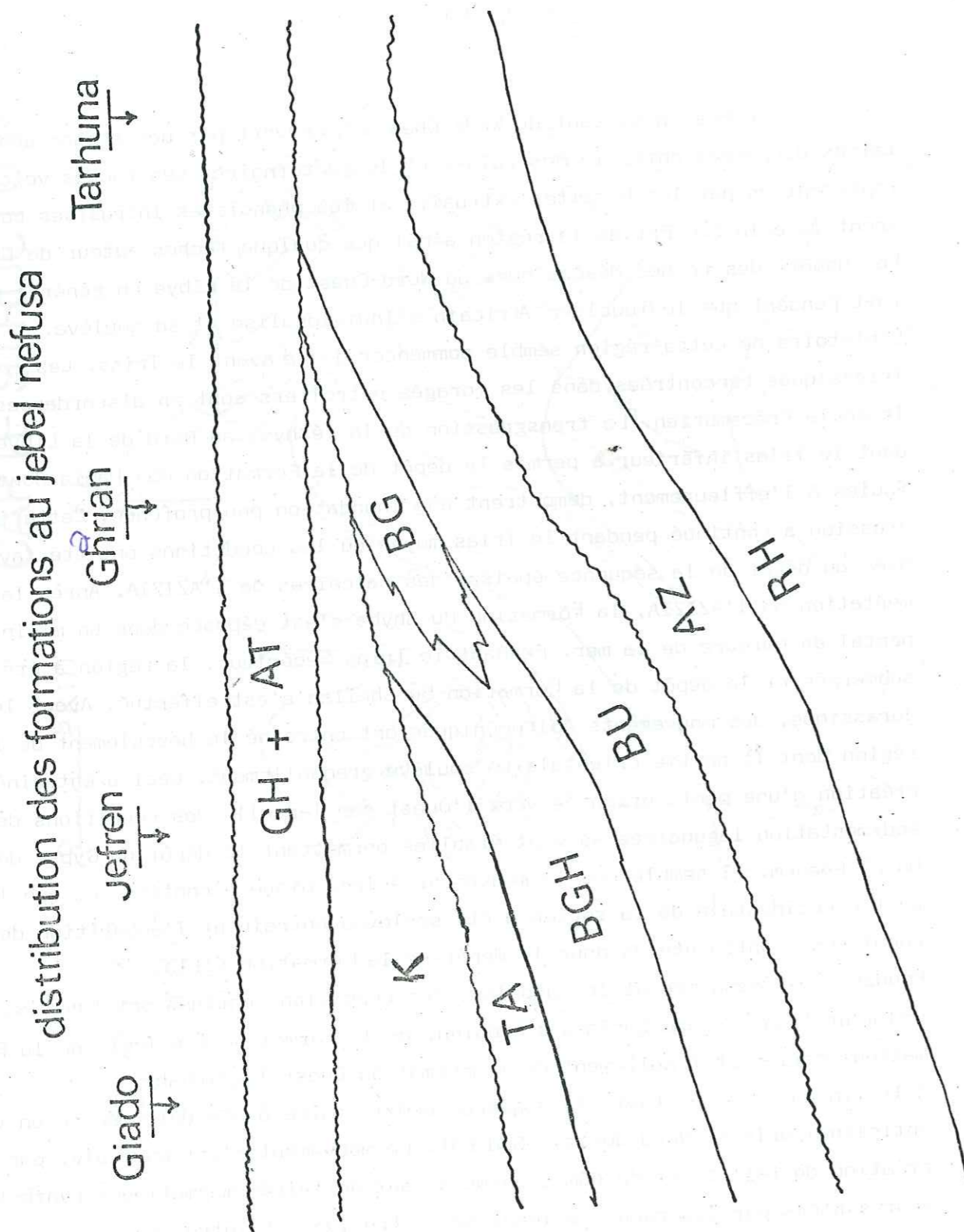
Le report sur carte du toit de la formation AZIZIA et du mur de la formation Ain Tobi nous a permis de tracer une carte structurale en courbes de niveau. Nous observons sur cette carte que le bassin versant du Wadi Ghan est limité, notamment à l'Est et au Nord-Ouest par des structures en dômes fortement tectonisées. Le bassin du Wadi Ghan se situant entre ces deux zones est donc une sorte de synclinal dont l'axe est plus ou moins orienté Nord-Sud. Les pendages des couches dans le bassin même sont généralement très faibles, surtout au Sud et au Sud-Est (entre 2° et 4°) alors que les pendages deviennent plus forts au Nord (moyenne de 10°), et encore plus forts dans les zones tectonisées (45°). Des failles importantes existent dans les zones d'activité tectonique. Elles ont une orientation générale vers le Nord. C'est-à-dire la même direction que la ligne tectonique de soulèvement du Jebel Nefusa. Ce sont pour la plupart des failles normales avec des déplacements compris entre 100 et 250 mètres.

(1) C.R.I. (1975).

CARTE STRUCTURALE

CONCLUSION

Le Bassin versant du Wadi Ghan est couvert par des roches sédimentaires disposées entre le Mésozoïque et le Quaternaire. Les roches volcaniques représentées par les basaltes extrusifs et des phonolites intrusives couvrent le coin Sud-Est de la région ainsi que quelques taches autour de Gharian. Le dépôt des roches Mésozoïques au Nord-Ouest de la Libye en général s'est fait pendant que le Bouclier Africain s'individualise et se soulève. L'histoire de cette région semble commencer juste avant le Trias. Les roches Permianes Triassiques rencontrées dans les forages pétroliers sont en discordances sur le socle Précambrien. La transgression de la Téthys, au Nord de la Libye, pendant le Trias inférieur a permis le dépôt de la Formation Ras Hamia dont les faciès à l'affleurement, démontrent une inondation peu profonde. Cette transgression a continué pendant le Trias moyen où les conditions ont été favorables au dépôt de la séquence épaisse des calcaires de l'AZIZIA. Après la sédimentation de l'AZIZIA, la Formation Bu Shyba s'est déposée dans un milieu continental en bordure de la mer. Pendant le Trias Supérieur, la région a été encore submergée et le dépôt de la Formation Bu Gheilan s'est effectué. Avant le Jurassique, des mouvements épirogéniques ont entraîné le basculement de la région dont la partie orientale se soulève graduellement. Ceci a entraîné la création d'une pente orientée vers l'Ouest sur laquelle des conditions de sédimentation lagunaires se sont établies permettant le dépôt du Gypse de Bu el Ghenem. Il semble que le mouvement épirogénique a continué et que la partie occidentale de la région a été soulevée entraînant l'apparition des conditions continentales pour le dépôt de la Formation Kikla. Pendant le Cénomaniens et le Turonien, les conditions marines ont favorisé la sédimentation sur une surface d'érosion, de la Formation Ain Tobi, de la Formation Gharian et finalement de la Formation Quasr Tigrinnah. A la fin du Crétacé, toute la séquence sédimentaire a été déformée en un vaste anticlinal orienté Nord-Ouest - Sud-Est. Ce mouvement s'est poursuivi par la création de failles et de dômes associés aux activités magmatiques syntectoniques représentées par les roches volcaniques extrusives et intrusives.



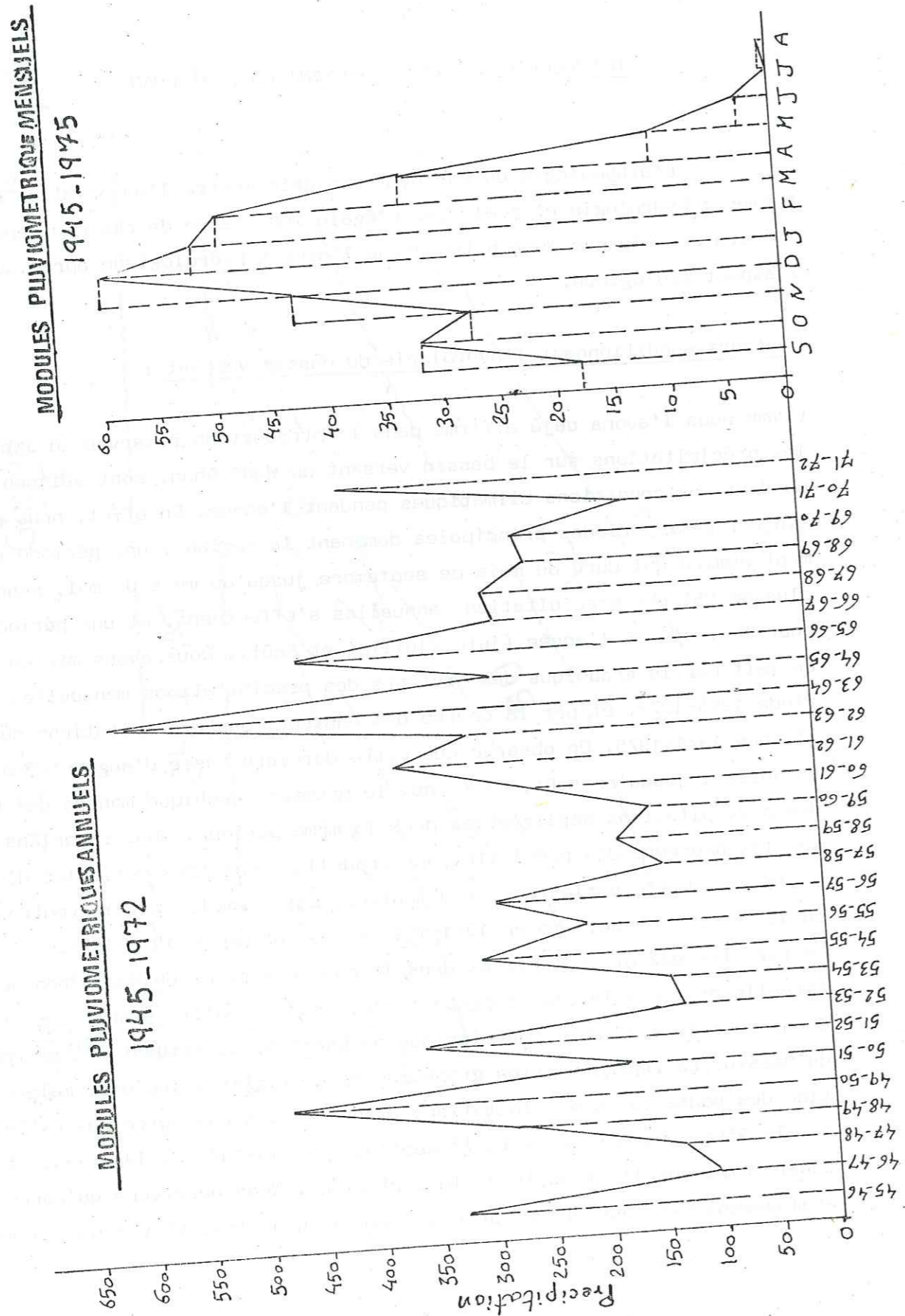
IV

HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT DU WADI GHAN

L'éthymologie du mot hydrogéologie montre l'association de deux termes : hydrologie et géologie. L'égalité de ces deux ensembles nous amènera à envisager pour notre étude l'aspect hydrologique après avoir envisagé l'aspect géologique.

Facteurs conditionnant l'hydrologie du Bassin Versant :

Comme nous l'avons déjà affirmé dans l'introduction réservée au Jebel Nefusa, les précipitations sur le bassin versant du Wadi Ghan, sont saisonnières, répondant aux conditions climatiques pendant l'année. En effet, nous pouvons distinguer deux périodes principales dominant la région ; une période relativement humide qui dure du mois de septembre jusqu'au mois de mai, pendant laquelle plus de 95% des précipitations annuelles s'effectuent, et une période sèche pour le reste de l'année (juin, juillet et Août). Nous avons mis en évidence ce fait par le graphique des hauteurs des précipitations mensuelles de la période 1945-1972, et par la courbe des hauteurs des précipitations cumulées de l'année 1974-1975. On observe que cette dernière cesse d'augmenter à partir de juillet jusqu'en Août, alors que le premier graphique montre des valeurs des précipitations négligeables pour la même période. Nous rappelons le fait que les hauteurs des précipitations annuelles sont très variables d'une année à l'autre. Cette variation est démontrée, par exemple, par le contraste de 912,4 mm en 1925-1926, de 90,7 mm en 1941-1942 et de 284 mm en 1973-1974. Le registre des précipitations dans le bassin versant du Wadi Ghan pour l'intervalle de temps le plus long possible, est en réalité établi à partir des données de la station météorologique de Gharian, se situant à l'extrême Ouest du bassin. La représentation graphique de ce registre indique, malgré la variation des hauteurs de précipitations d'une année à une autre que cette variation semble être systématique ; (à l'exception de 1948-1949 et 1954-1955 et sans tenir compte de l'intensité de la variation). Nous observons qu'après tout abaissement des hauteurs de précipitations annuelles, il y a une augmentation de



celle-ci l'année suivante. L'abaissement et l'augmentation ne faisant ce- pendant qu'alterner d'une année à l'autre. Le même registre nous a permis de calculer :

- Le module pluviométrique annuel, qui est la moyenne arithmétique des hauteurs de précipitations annuelles exprimées en millimètres sur une série d'années aussi grande que possible. Il est de l'ordre de 271,5 mm pour la période 1945-1972.

- Le module pluviométrique extrême, pour la même période qui est le rapport entre le maximum et le minimum des hauteurs de précipitations moyennes annuelles. Il est donc égal à :

$$\frac{\text{maximum}}{\text{minimum}} = \frac{617,7}{104,7} = 5,9$$

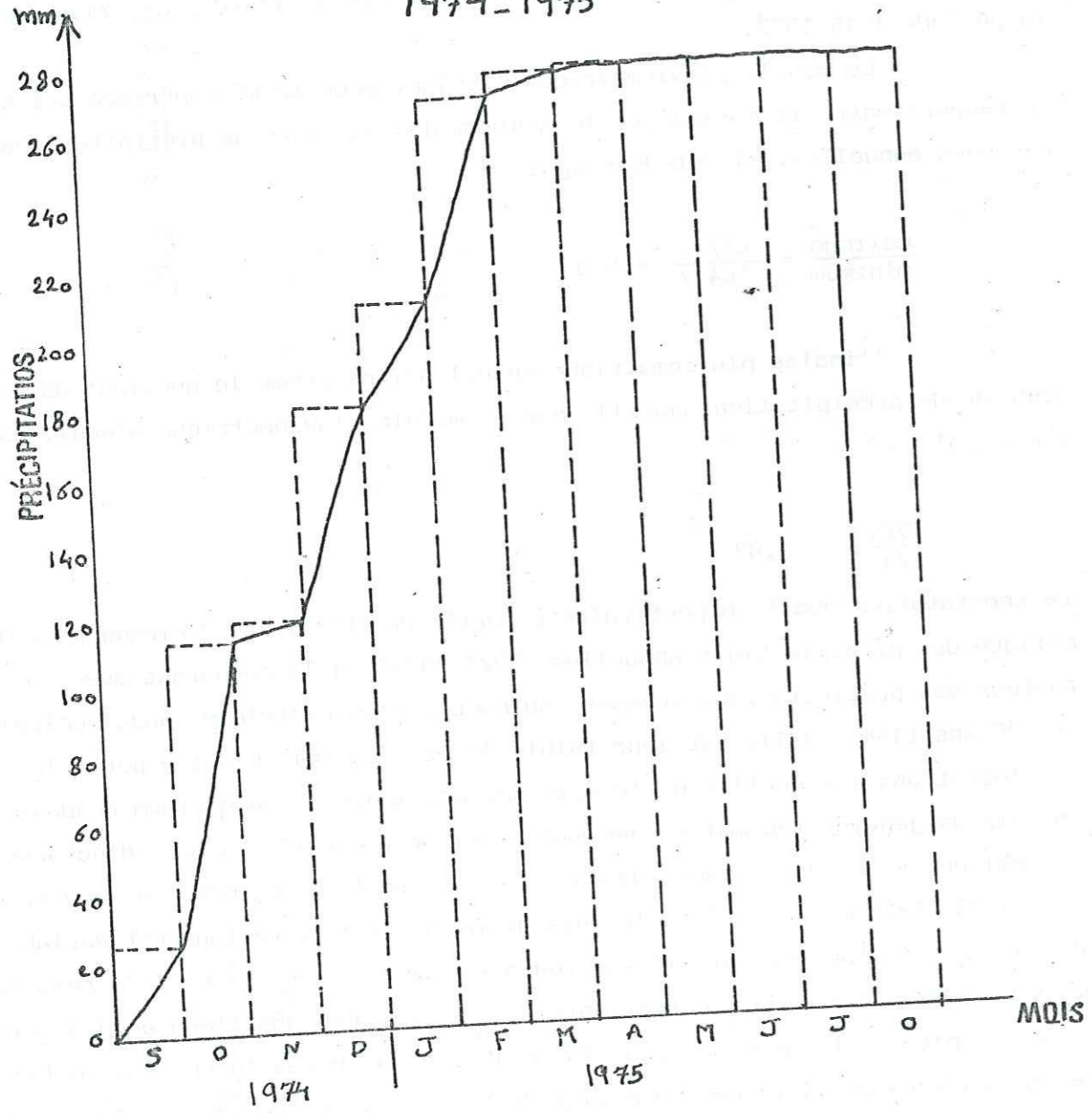
- l'indice pluviométrique annuel défini comme le quotient de la hauteur de précipitation annuelle par le module pluviométrique annuel, est donc égal à :

$$\frac{278,9}{271,5} = 1,03$$

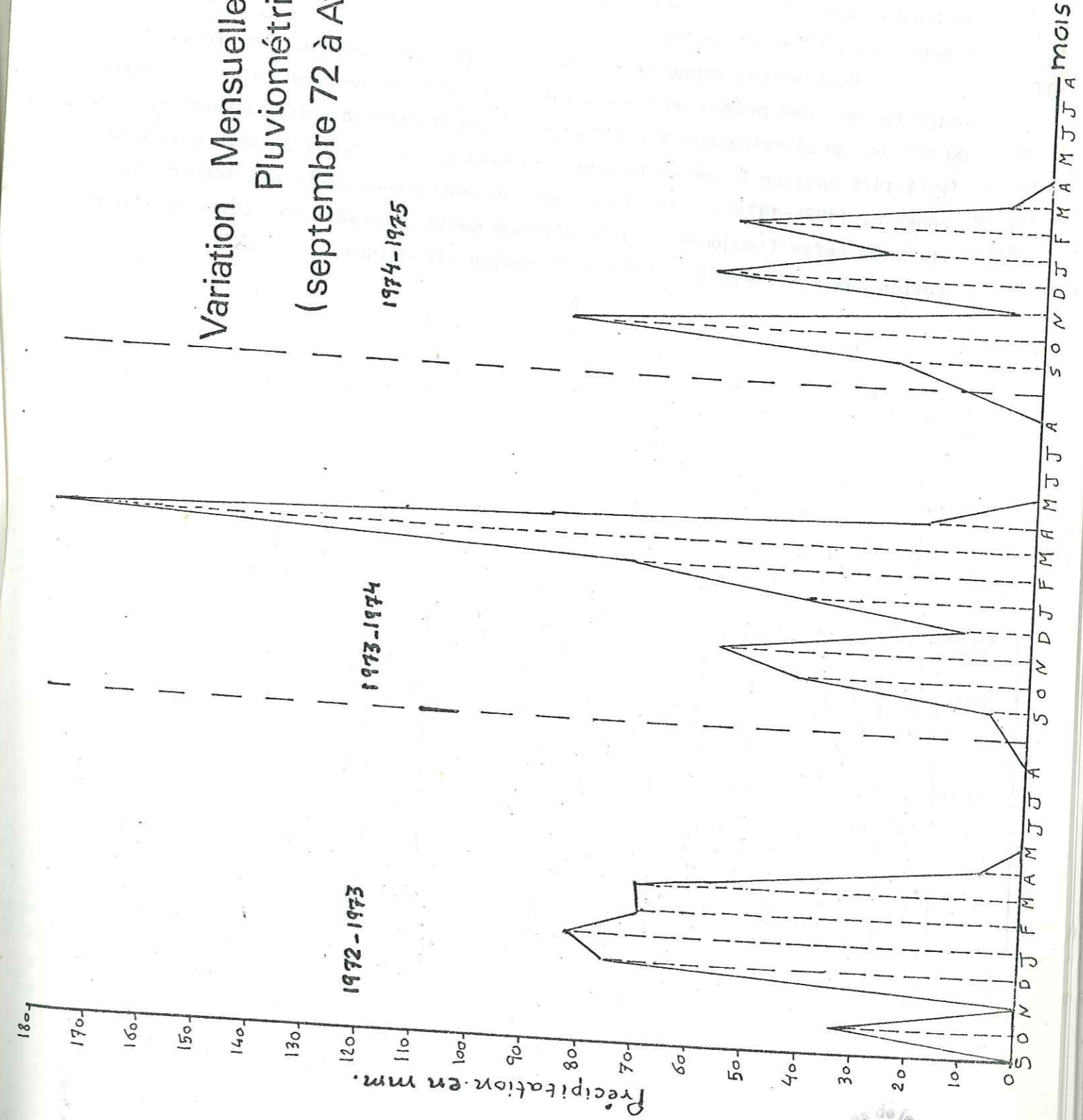
La constatation que l'on peut faire à partir du chiffre de la moyenne arith- métique des précipitations annuelles (1974-1975) en le comparant avec la hauteur des précipitations moyennes ou module pluviométrique annuel calculé sur 26 ans (1945-1971), est leur faible écart (7,4 mm). D'autre part, les précipitations mensuelles de la même période montrent un maximum pendant le mois de janvier (60 mm), alors que le maximum est lié au mois d'octobre (88 mm) en 1974-1975, au mois de mars en 1973-1974, et au mois de janvier en 1972-1973 (83,5 mm). En effet le mois de fortes précipitations est variable d'une année à l'autre, mais il est toujours compris dans la période relative- ment humide, c'est-à-dire entre septembre et mai. Pendant l'année 1973, plusieurs stations pluviométriques couvrant toute la région du bassin ont été installées et mises en service en faveur du projet de barrage de Wadi Ghan. Le report sur carte de ces relevés pluviométriques nous a permis de tracer des courbes d'égalés précipitations ou courbes isohyètes pour l'année 1974-1975, ainsi que de calculer arithmétiquement la lame d'eau tombée qui est de l'ordre de 278,9 mm

COURBES DES HAUTEURS DE PRÉCIPITATION MENSUELLE CUMULÉES

1974-1975



Variation Mensuelle de la Pluviométrie (septembre 72 à Avril 75)



Services de la forêt
BIUS
JUSSEU
CADIST

pour la même année. La carte isohyètes montre que les précipitations les plus fortes dans le bassin versant du Wadi Ghan sont concentrées autour de la ville de Gharian, où le maximum atteint 382,5 mm. Elle diminue rapidement vers le Nord comme nous l'observons au coin septentrional du bassin, et moins rapidement vers l'Est et le Sud.

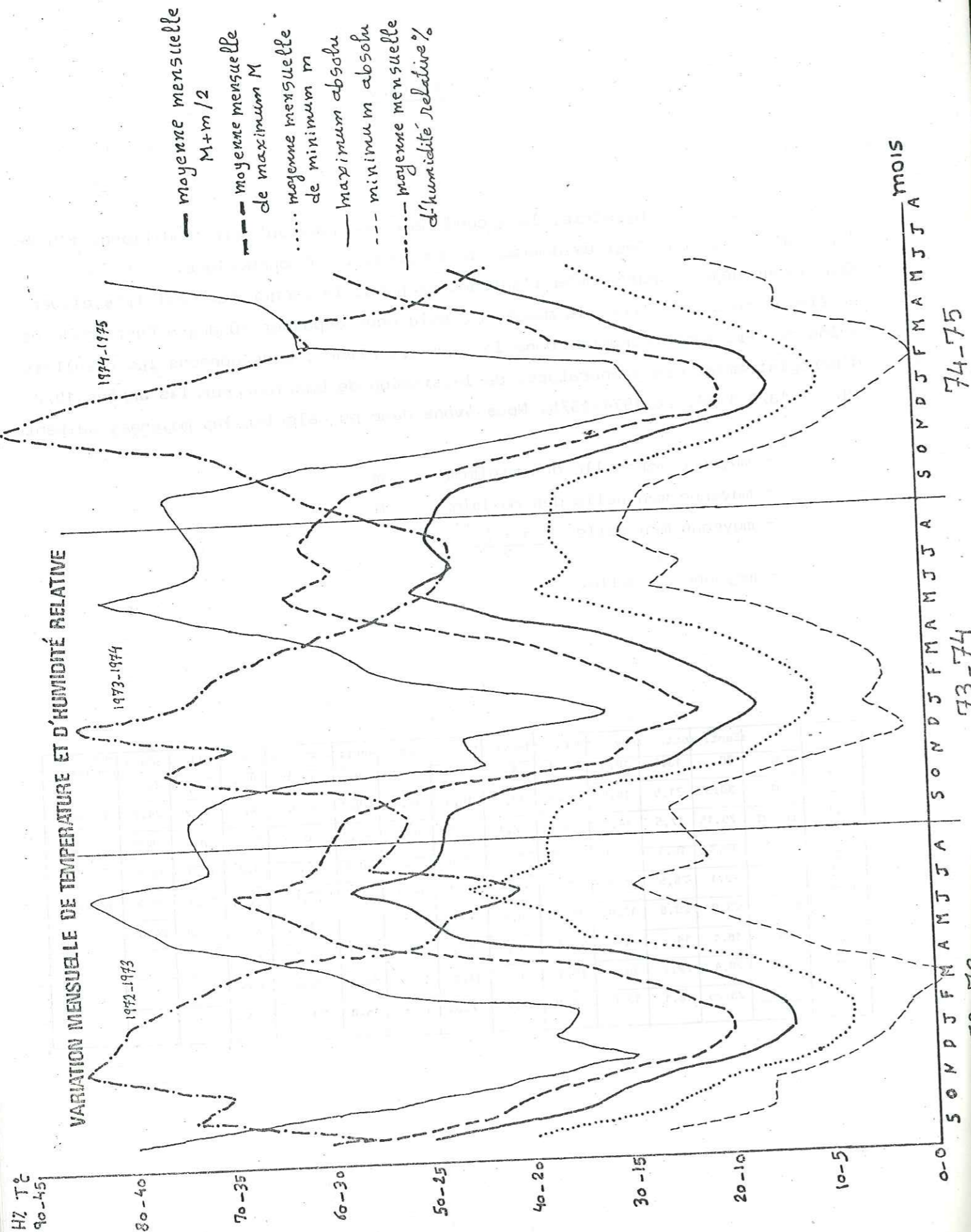
Nous devons rappeler que les prescriptions solides sous forme de neige ne sont pas prises en considération à cause de leur rareté. Le registre du service météorologique a indiqué par exemple qu'il a neigé un seul jour en 1974-1975 environ 5 cm de hauteur, (notamment le soir de 27 février). Cette année-ci (1975-1976), à la fin du mois de mars, nous avons été informé que la chute de neige (toujours peu) a entraîné quelques dégâts en raison de l'inadaptation des habitants à cette manifestation climatique.

LES TEMPERATURES

Après la pluviométrie, le second facteur important qui conditionne l'hydrologie d'une région c'est évidemment la température atmosphérique. Nous avons déjà rapporté dans l'introduction que la température est très élevée en été et basse en hiver, le maximum absolu peut dépasser 40 degré Centigrade et moins de zéro comme minimum. Dans le tableau suivant, nous donnons les résultats d'enregistrement des températures de la station de Gharian pour les années 1972-1973 - 1973-1974, et 1974-1975. Nous avons donc pu calculer les moyennes suivantes :

- moyenne mensuelle des minimum m
- moyenne mensuelle des maximum M
- moyenne mensuelle $\frac{m + M}{2}$
- moyenne annuelle.

| | | Sept. | oct. | nov. | déc. | janv. | fév. | mars | avril | mai | juin | juil. | août | moyenne annuelle |
|-----------|-------------------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------------------|
| 1972-1973 | m | 20 | 13,5 | 10,8 | 6,1 | 4,2 | 4,1 | 6,1 | 9,7 | 17,4 | 18,9 | 23,1 | 23,1 | 17,38 |
| | M | 30,3 | 21,5 | 18,6 | 12,2 | 10 | 10,9 | 14,2 | 19,7 | 29,6 | 31,9 | 34,7 | 34,7 | |
| | $\frac{m + M}{2}$ | 25,15 | 17,5 | 14,7 | 9,15 | 7,1 | 7,5 | 10,15 | 14,17 | 23,5 | 25,4 | 28,9 | 28,9 | |
| 1973-1974 | m | 18,7 | 16,1 | 9,1 | 7,1 | 5,5 | 5,8 | 7,8 | 10,4 | 15,2 | 19,2 | 17,3 | 18,4 | 17,42 |
| | M | 29,1 | 25,5 | 15,8 | 14,4 | 11,3 | 13,9 | 16,8 | 21 | 27,8 | 31,7 | 29,4 | 30,9 | |
| | $\frac{m + M}{2}$ | 23,9 | 20,8 | 12,45 | 10,75 | 8,4 | 9,85 | 12,3 | 15,7 | 21,5 | 25,4 | 23,35 | 24,65 | |
| 1974-1975 | m | 18,1 | 14 | 9 | 6,4 | 4,7 | 5,3 | 7,7 | 11,1 | 14,6 | 17,1 | | | |
| | M | 28,4 | 22,2 | 16,2 | 10,1 | 9,7 | 11,4 | 17,9 | 20,5 | 25,8 | 28,6 | | | |
| | $\frac{m + M}{2}$ | 23,25 | 18,1 | 12,6 | 8,25 | 7,2 | 8,35 | 12,8 | 15,8 | 20,2 | 22,85 | | | |



Nous observons dans ce dernier tableau que les températures les plus basses correspondent aux périodes pluvieuses, tandis que celles les plus élevées correspondent aux périodes sèches. Le mois le plus froid a été toujours celui de janvier pendant les trois dernières années, et les moyennes annuelles des années 1972-1973 - 1973-1974, montrent un très faible écart par rapport à la moyenne annuelle calculée pour la période 1945-1971 qui est de l'ordre de 18 degrés. L'enregistrement à la station de Gharian nous a permis aussi d'obtenir les maximum et les minimum des températures mensuelles absolues ainsi que les moyennes des humidités relatives mensuelles. Nous présentons, les chiffres des températures absolues dans le tableau suivant :

| | | Sep. | Oct. | Nov. | Déc. | Jan. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-----|------|-------|------|
| 72-73 | max. | 40 | 30 | 22 | 15 | 19 | 18 | 28 | 31 | 37 | 40 | 42 | 36 |
| | min. | 14 | 8 | 8 | 3,8 | 2 | 1 | - 0,5 | 5 | 8 | 12 | 15 | 11 |
| 73-74 | max. | 37 | 35 | 22 | 23 | 16 | 22 | 28 | 30 | 36 | 41 | 36 | 36 |
| | min. | 13 | 10 | 5 | 1 | 3 | 2 | 2,5 | 5 | 8 | 13,5 | 12 | 15 |
| 74-75 | max. | 37,5 | 31 | 20 | 13 | 14 | 15 | 30,5 | 31 | 33 | 40 | | |
| | min. | 13,5 | 9 | 5,5 | 3,4 | 1,5 | 0 | 1,5 | 6,8 | 7 | 11 | | |

Sur la planche (p.41) nous avons porté les températures des deux derniers tableaux, ainsi que les humidités relatives. Cette superposition des courbes montre une certaine similitude dans les tracés. Nous observons que les courbes des températures baissent progressivement de septembre jusqu'à ce qu'elles atteignent un minimum au mois de janvier. A partir de ce mois là, les courbes montent presque de la même façon. Les températures maximales marquent la période la plus sèche comprise entre mai et août.

LES HUMIDITES

L'humidité s'apprécie selon deux principes, on distingue l'humidité absolue "masse de vapeur d'eau contenue dans l'unité de volume d'air et l'humidité relative" rapport de l'humidité absolue vraie à l'humidité absolue saturante à la même température et à la même pression. Les humidités relatives mensuelles que nous avons porté sur la même planche que les températures varient en général en sens inverse des températures. C'est-à-dire lorsque ces dernières baissent, les humidités augmentent et vice-versa. D'autre part, nous observons que le pouvoir précipitant de l'atmosphère correspond à la période la plus humide dans la région. Nous présentons dans le tableau suivant les chiffres d'humidités relatives en pourcentage.

| | Sep. | Oct. | Nov. | Déc. | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août |
|-----------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|
| 1972-1973 | 3,4 | 3,2 | 2,9 | 2,9 | 3,8 | 3,7 | 3,9 | | | | | 2,5 |
| 1973-1974 | 2,9 | 2,9 | -- | 4,6 | 2,7 | 4,9 | 3,9 | 4 | 2,7 | 3,2 | 2,3 | 3 |
| 1974-1975 | 3,7 | -- | 2,6 | 1,5 | 2,8 | -- | 5,9 | -- | -- | -- | -- | -- |

LES VENTS

Les vents se dirigent des hautes pressions vers les basses pressions, grâce à la force du gradient de pression. L'écoulement ne se fait pas perpendiculairement aux isolars, du fait de l'intervention d'autres facteurs comme les habitudes et la rotation terrestre. L'enregistrement des vents dans le Bassin versant du Wadi Ghan (toujours Gharian) est incomplet. Nous donnons dans le tableau suivant les chiffres des moyennes mensuelles de la vitesse en m/sec que nous avons pu obtenir pour les dernières trois années.

| | Sep. | Oct. | Nov. | Dec. | Jan. | Fév. | Mars | Avr. | Mai | Juin | Juil. | Août |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|------|
| 72-73 | 3,4 | 3,2 | 2,9 | 2,9 | 3,8 | 3,7 | 3,9 | -- | -- | -- | -- | 2,5 |
| 73-74 | 2,9 | 2,9 | -- | 4,6 | 2,7 | 4,9 | 3,9 | 4 | 2,7 | 3,2 | 2,3 | 3 |
| 74-75 | 3,74 | | 2,6 | 1,5 | 2,8 | -- | 5,9 | -- | -- | -- | -- | --- |

Sans regarder les grandeurs de vitesse, nous pouvons, en général, distinguer deux types de vents. Les vents habituels pendant la période pluvieuse sont relativement froids, et humides. Ces vents, venant de la méditerranée en direction générale, Nord-Sud, semblent augmenter le pouvoir précipitant de l'atmosphère. Contrairement, les vents de la période sèche soufflant du Sud vers le Nord, sont moins humides, plus chauds et parfois sableux entraînant souvent des tempêtes.

BILAN HYDROLOGIQUE

Il est important de connaître, après les précipitations, et les températures, le devenir de l'eau ainsi apportée au bassin versant. On pourrait schématiser le cheminement de l'eau par une formule reprenant les termes principaux :

- P les précipitations ou lame d'eau tombée en millimètres
- E L'évapotranspiration réelle en millimètres
- I L'infiltration en millimètres
- R Le ruiselement de surface en millimètres

$$P = R + E + I$$

Nous allons donc essayer d'évaluer chacun de ces termes

• Calcul de la lame d'eau tombée :

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. Ce calcul peut se faire suivant plusieurs méthodes.

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

- La seconde méthode est celle des courbes isohyètes. Son utilisation est relativement précise mais elle présente l'inconvénient d'être longue. Après report sur carte des stations, il fait relier celles qui ont reçu la même quantité d'eau, puis calculer la surface partielle comprise entre deux courbes successives, et affecter à cette surface la pluviométrie moyenne entre les précipitations des deux courbes limitant la surface partielle. La lame d'eau tombée est donc obtenue par le quotient de la somme de ces volumes partiels par la surface totale du bassin.

Enfin, la troisième méthode est celle de Thiessen. Les stations sont reportées sur carte ; on relie celles qui sont adjacentes par

des segments de droite, les intersections des médiatrices de ces segments déterminent des polygones auxquels on affecte les précipitations relevées aux stations se trouvant en leur milieu, la lame d'eau tombée est alors calculée à partir de ces lames partielles.

Nous allons, donc reprendre chacune des méthodes citées.

• Calcul par la moyenne arithmétique des précipitations

Les moyennes arithmétiques des précipitations mensuelles, pour l'année 74-75 sont calculées à partir des relevés de 24 stations pluviométriques, distribuées sur l'ensemble du bassin versant. Nous avons pu obtenir les résultats suivants :

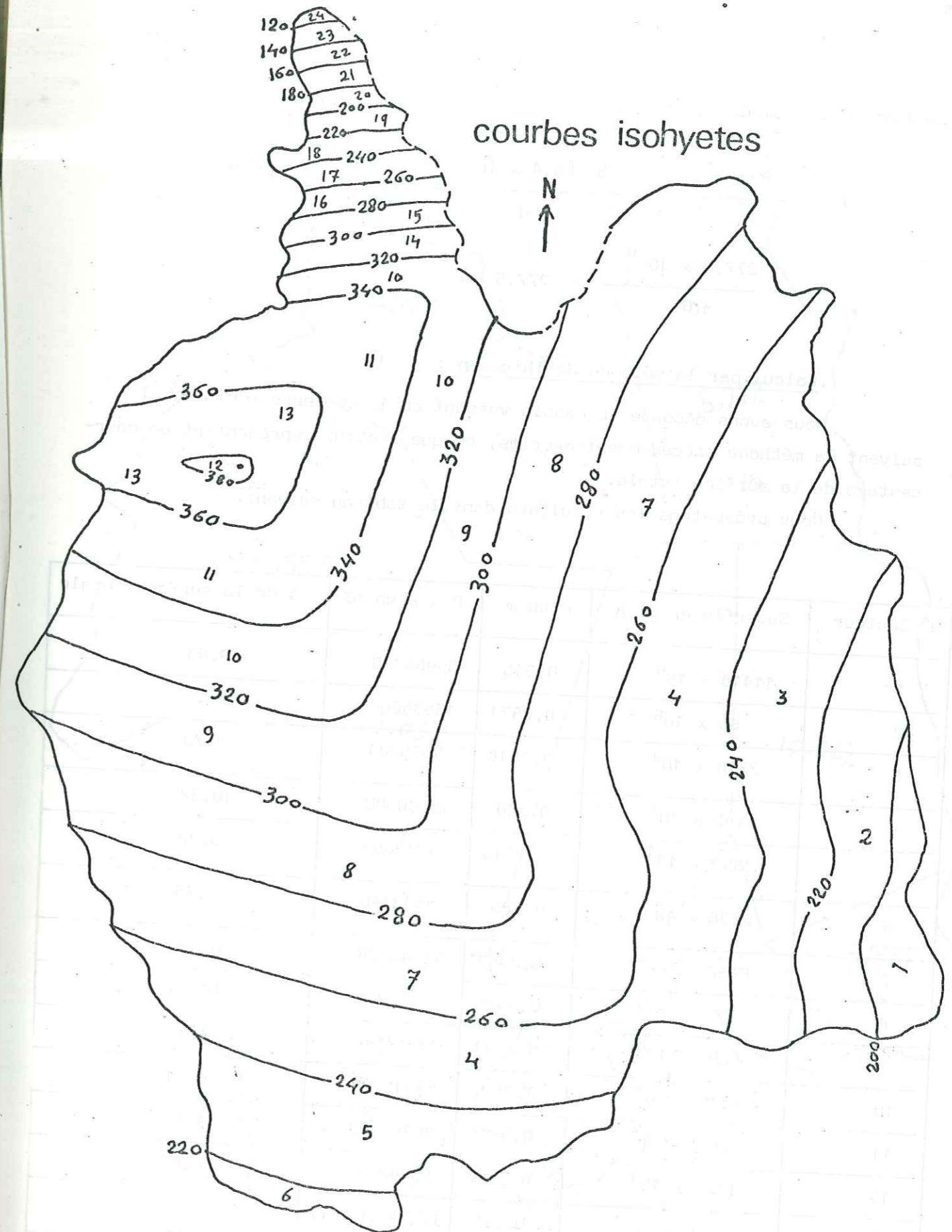
| Sep. | Oct. | Nov. | Dec. | Janv. | Fév. | Mars. | Avr. | Mai | Juin | Juil. | Août |
|------|------|------|-------|-------|------|-------|--------|-----|------|-------|------|
| 27,1 | 88,1 | 5,51 | 62,23 | 29,6 | 58,2 | 7,86 | 0,4 mm | 0 | 0 | 0 | 0 |

Ce qui représente une lame d'eau tombée de 278,9 millimètres pour toute l'année

• Calcul par l'utilisation des courbes isohyètes :

Nous avons reporté sur la planche (p. 45) le tracé des isohyètes pour l'année 74-75 ; le planimétrage permet d'obtenir les résultats suivants :

| Secteur | Superficie Km ² A | P moyenne x 10 ⁶ en Km | Volume partiel x 10 ⁶ en Km ³ PxA |
|---------|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| 1 | 11,63 | 130 | 2209,7 |
| 2 | 26,1 | 210 | 5481 |
| 3 | 39,9 | 230 | 8347 |
| 4 | 39,38 | 250 | 9845 |
| 5 | 27,83 | 230 | 6400,9 |
| 6 | 4,91 | 210 | 1031,1 |
| 7 | 100,76 | 270 | 27205,2 |
| 8 | 88,82 | 230 | 20577,8 |
| 9 | 55,07 | 310 | 17071,7 |
| 10 | 48,77 | 330 | 16094,1 |
| 11 | 47,45 | 350 | 16607,5 |
| 12 | 1,1 | 380 | 418 |
| 13 | 20,66 | 370 | 7644,2 |
| 14 | 4,88 | 310 | 1512,8 |
| 15 | 4,01 | 290 | 1162,9 |
| 16 | 3,12 | 270 | 842,4 |
| 17 | 3,77 | 250 | 942,5 |
| 18 | 2,66 | 230 | 611,8 |
| 19 | 2,45 | 210 | 514,5 |
| 20 | 1,52 | 130 | 288,8 |
| 21 | 2,18 | 170 | 370,5 |
| 22 | 1,97 | 150 | 295,5 |
| 23 | 1,46 | 130 | 189,8 |
| 24 | 0,56 | 110 | 61,6 |
| | | Total PxA | 166506,4 x 10 ⁶ Km ³ |



La lame d'eau tombée est donc P =

$$P = \frac{P \times A}{A} = \frac{166506,4 \times 10^{-6}}{600} = 277,5 \times 10^{-6} \text{ Km}$$

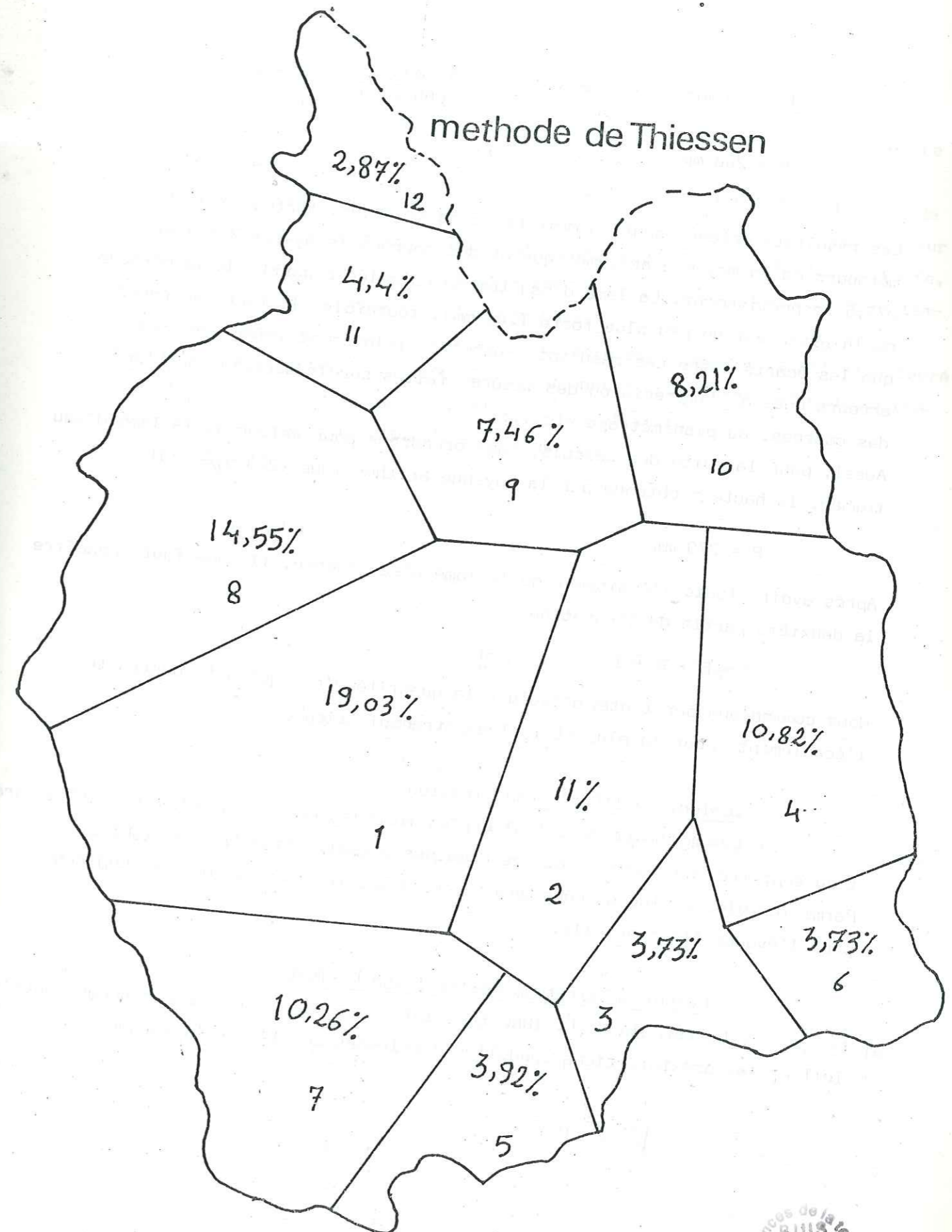
$$P = \frac{277,5 \times 10^{-6}}{10^6} = 277,5 \text{ mm}$$

Calcul par la méthode de Thiessen :

Nous avons découpé le bassin versant en 12 secteurs (PLP. 47) suivant la méthode précédemment décrite, chaque secteur représentant un pourcentage de la surface totale.

Nous présentons les résultats dans le tableau suivant.

| N° Secteur | Superficie en m ² A | P en m | P x A en m ³ | % de la surface totale |
|------------|--------------------------------|--------|--------------------------|------------------------|
| 1 | 11418 × 10 ⁴ | 0,315 | 35966700 | 19,03 |
| 2 | 66 × 10 ⁶ | 0,2521 | 16638600 | 11 |
| 3 | 2238 × 10 ⁴ | 0,2518 | 5635284 | 3,73 |
| 4 | 6492 × 10 ⁴ | 0,240 | 15580800 | 10,82 |
| 5 | 2352 × 10 ⁴ | 0,2219 | 5219088 | 3,92 |
| 6 | 2238 × 10 ⁴ | 0,203 | 4543140 | 3,73 |
| 7 | 6156 × 10 ⁴ | 0,2363 | 14546628 | 10,26 |
| 8 | 873 × 10 ⁵ | 0,3825 | 33392250 | 14,55 |
| 9 | 4476 × 10 ⁴ | 0,3041 | 13611516 | 7,46 |
| 10 | 4926 × 10 ⁴ | 0,2907 | 14319882 | 8,21 |
| 11 | 264 × 10 ⁵ | 0,3415 | 90156000 | 4,4 |
| 12 | 1722 × 10 ⁴ | 0,2517 | 4334274 | 2,87 |
| | | Total | 172803762 m ³ | |



$$P \text{ est donc égal à } \frac{P \times A}{A} = \frac{172803762}{600 \times 10^6} = 0,288 \text{ m}$$

$$P = 288 \text{ mm}$$

Les résultats obtenus sont du même ordre de grandeur, surtout pour les méthodes de la moyenne arithmétique et des courbes isohyètes 278,9 et 277,5 respectivement. La lame d'eau tombée calculée à partir de la méthode de Thiessen est un peu plus forte (288 mm), toutefois, il faut remarquer que les écarts entre ces résultats sont très faibles et inférieurs aux erreurs dues à l'imprécision des mesures faites sur le terrain, au tracé des courbes, au planimétrage etc...

Aussi, pour la suite des calculs, nous prendrons pour valeur de la lame d'eau tombée, la hauteur obtenue par la moyenne arithmétique (278,9 ~~279~~)

$$P = 279 \text{ mm}$$

Après avoir étudié l'épaisseur de la lame d'eau tombée, il nous faut connaître la deuxième partie de l'équation.

$$P = E + R + I$$

Nous commençons par tenter d'évaluer la quantité d'eau qui est soustraite à l'écoulement, pour la plupart ; l'évapotranspiration

Calcul de l'évapotranspiration

Les méthodes de calcul et les formules permettant d'évaluer l'évaporation sont très nombreuses, et les domaines d'application très variables. Parmi les plus employées nous avons retenu les formules de TURC et COUTAGNE pour l'évaporation annuelle.

Evapotranspiration réelle selon L. TURC.

La formule de L. TURC fait intervenir la température moyenne annuelle T et les précipitations annuelles P relevées sur le bassin versant

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

$$\text{avec } L = 300 + 25 T + 0,5 T^3$$

La température moyenne annuelle T que nous avons déjà mentionnée dans notre étude des températures est de l'ordre de 17,4.

Ce chiffre est calculé à partir des relevés de la station météorologique de Gharian à l'extrême Ouest du Bassin pour les années 72-73 et 73-74, mais sur une carte des courbes d'égale température annuelle de toute la Tripolitanie, pour une période assez longue, nous avons observé que la courbe d'égale température de 18,5° C passe au milieu du Bassin versant.

Nous avons donc eu l'impression que cette dernière température est plus représentative de la moyenne de la température annuelle du Bassin et nous allons l'appliquer dans les formules de l'évapotranspiration.

Dans le Bassin versant du Wadi Ghan, nous avons :

$$T = 18,5^\circ \text{ C}$$

$$P = 279$$

et

$$L = 300 + (25 + 18,5) + [0,05 \times (18,5)^3] = 1079$$

$$E = \frac{279}{\sqrt{0,9 + \frac{(279)^2}{(1079,1)^2}}} \rightarrow 279 \text{ mm}$$

Donc, selon la formule de L. TURC, l'évapotranspiration annuelle sur le Bassin du Wadi Ghan est supérieure à 279 mm

$$E = 279 \text{ mm} \quad E > 279 \text{ mm}$$

L'évapotranspiration selon COUTAGNE :

Cette formule fait aussi intervenir la température moyenne et les précipitations annuelles. L'évapotranspiration réelle selon COUTAGNE E_r est égale à :

$$E_r = P - \lambda P^2$$

P est la précipitation annuelle en mètres.

$$\lambda = 1/0,8 + 0,14 T$$

$$\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 \times 18,5} = 0,293$$

$$E = 0,279 - 0,29 \times (0,279)^2 = 0,256 \text{ mètres}$$

L'évapotranspiration réelle est donc selon COUTAGNE de l'ordre de 256 mm

$$E_r = 256 \text{ mm}$$

Nous allons voir que si nous prenons la moyenne des températures uniquement pour la période pluvieuse, qui est de l'ordre de 14° , les résultats seront probablement plus proches de la réalité. Cette moyenne de la période pluvieuse est logiquement plus favorable, car en prenant la moyenne annuelle, les résultats donnent une influence aux valeurs extrêmes de la période sèche pendant laquelle les précipitations sont nulles.

Si la température est de 14° C , la formule de L. TURC deviendra :

$$L = 300 + (25 \times 14) + [0,05 \times (14)^3]$$

$$L = 787,2$$

L'évapotranspiration est égale à :

$$E = \frac{279}{\sqrt{0,9 + \frac{(279)^2}{(787,2)^2}}} = 274,8$$

$$E = 275 \text{ mm}$$

et l'évapotranspiration réelle selon COUTAGNE sera

$$\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 \times 14} = 0,362$$

$$E_r = 0,279 - 0,362 \times (0,279)^3 = 251 \text{ mm}$$

$$E_r = 251 \text{ mm}$$

Nous observons donc que l'évapotranspiration selon TURC, reste loin d'être logique, cependant, malgré que la formule de COUTAGNE n'est applicable que lorsque la précipitation P est comprise entre $\frac{1}{2\lambda}$ et $\frac{1}{8\lambda}$, ce qui n'est pas réalisé dans notre cas, l'évapotranspiration selon cette formule semble proche de ce que nous pensons être la réalité.

Nous allons donc admettre : $E = 251 \text{ mm}$

• Le ruissellement :

Le calcul de ruissellement est basé sur les relevés des crues effectués à l'extrême partie aval du Wadi Ghan. Ces relevés pour l'année 1974-1975 sont malheureusement incomplets. Cependant le registre de la région de Gharian nous a montré qu'une moyenne des hauteurs de ruissellement pour la période 1945-1971 de l'ordre de 18 mm. Nous ne pouvons donc qu'admettre ce chiffre qui ne nous semble pas loin de ce que nous pensons de la réalité.

$$\# \text{ Ruissellement } R = 18 \text{ mm}$$

L'infiltration :

Après avoir estimé la lame d'eau tombée P (279 mm), l'évapotranspiration E (251 mm) et le ruissellement R (18 mm), nous pouvons donc estimer la hauteur d'eau qui s'infiltré, à partir de la formule générale du Bilan qui est $P = E + R + I$

$$279 = 251 + 18 + I$$

$$\text{Infiltration} = 279 - 269 = 10 \text{ mm}$$

La moyenne de l'infiltration annuelle est de l'ordre de 10 mm

$$\# I = 10 \text{ mm}$$

Nous attirons l'attention sur le fait que ce chiffre de l'infiltration doit être plus élevé, car une partie de l'eau du Ruissellement pendant les périodes pluvieuses s'infiltré dans le sous sol à partir du lit du Wadi Ghan dans lequel les crues n'existent qu'en réponse directe à des précipitations suffisantes.

Aperçu du Bilan :

Tous les éléments constituant le bilan hydrologique ont été ainsi déterminées ; nous les résumons ci-dessous

$$P = 279 = \begin{cases} E = 251 \text{ mm} \\ R = 18 \text{ mm} \\ I = 10 \text{ mm} \end{cases} + = 279 \text{ mm}$$

Il est évident qu'une erreur de $\pm 10\%$ du calcul doit être prise en considération. Cette erreur est probablement liée surtout à l'application des formules de calcul de l'évapotranspiration.

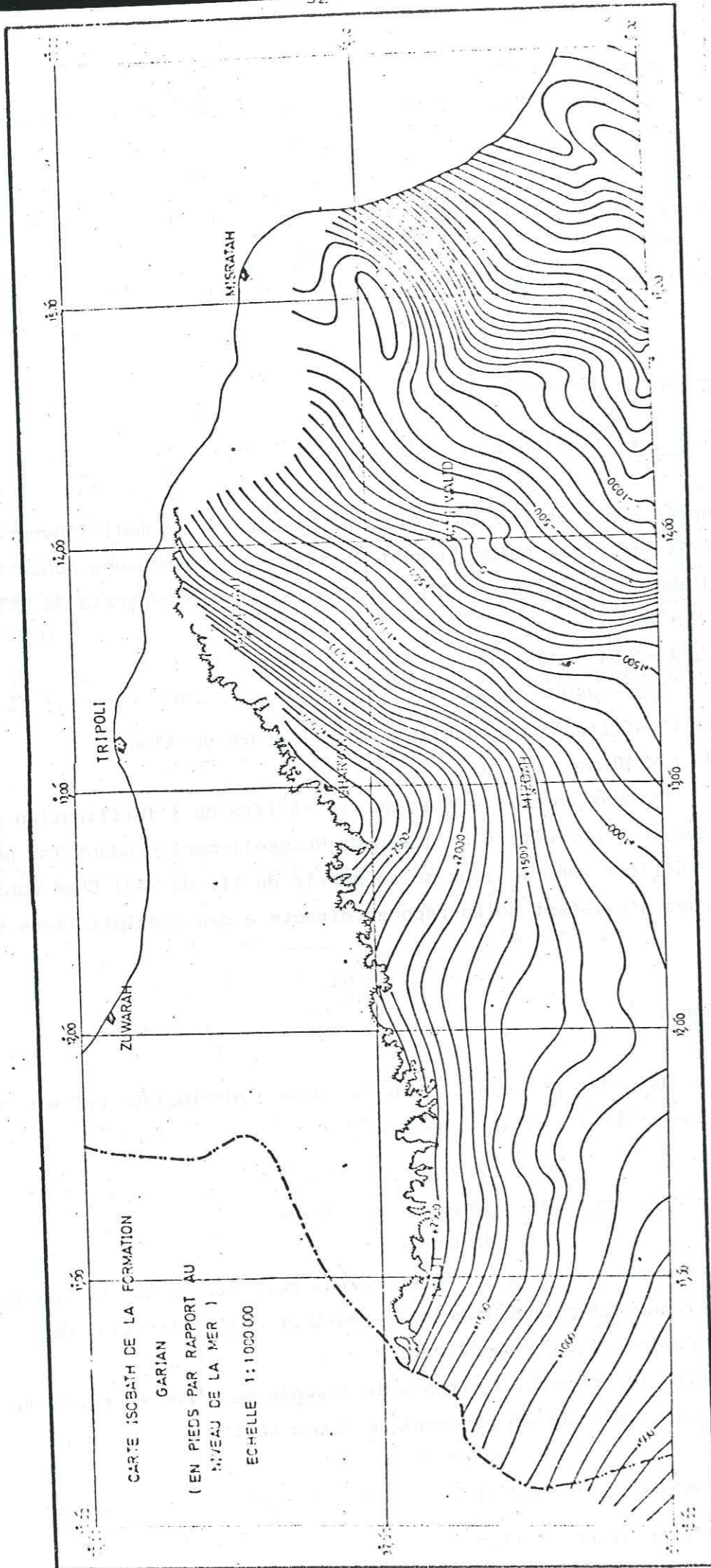
En tous cas, selon les résultats obtenus le devenir de l'eau apportée au Bassin versant est distribué en pourcentage comme suit :

La lame d'eau tombée = 279 mm dont :

#89,96% pour l'évapotranspiration

#6,45% pour le ruissellement

#3,58 pour l'infiltration



V
LES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Après avoir établi la géologie de la région de Gharian et décrit la colonne lithostratigraphique, nous allons essayer d'étudier les caractéristiques hydrogéologiques de chaque formation dans cette colonne, du sommet à la base, à la lumière des enseignements valables.

La Formation Quasr Tigrinnah :

Cette formation ne semble jouer aucun rôle important du point de vue hydrogéologique. Les caractéristiques lithologique représentées par les marnes et argiles associées aux évaporites, ne favorisent pas l'infiltration de l'eau de surface vers le sous sol, et par conséquent ne permettent aucune alimentation des roches sous-jacentes. Le pouvoir évaporant de l'atmosphère régnant dans la région entraîne parfois l'existence de salinités considérables des eaux accumulées dans les fossés imperméables dans le cadre de cette formation.

La Formation Gharian :

Les calcaires dolomitiques de Gharian sont caractérisés par leur grande porosité secondaire, en raison de la présence de fractures et de fissures qui ont été créées par les activités tectoniques ainsi que par le phénomène de dolomitisation. Le rôle majeur de cette formation dans l'hydrogéologie du Bassin versant du Wadi Ghan est entièrement gouverné par cette grande porosité secondaire. Dans les zones où la formation affleure, c'est-à-dire dans la zone non saturée, elle favorise, très largement l'infiltration de l'eau de surface pendant la saison pluvieuse. On peut donc constater qu'elle représente un milieu de transfert de l'eau de surface vers la couche sous-jacente (Ain Tobi). Ailleurs où la formation est couverte par les roches volcaniques et/ou la Formation Quasr Tigrinnah, ce qui est le cas au Sud-Est du Bassin, un niveau est signalé entre la base de la formation Gharian et la partie supérieure d'Ain Tobi. Ce niveau est déterminé évidemment par le transfert d'eau à travers les calcaires de Gharian d'une part et par les marnes argileuses imperméables d'Ain Tobi qui servent à la stopper d'autre part.

En allant plus loin vers le Sud et le Sud-Est, où se situe le Bassin de Ghadamés, la formation Gharian est relativement profonde et montre de meilleures conditions hydrogéologiques ; la plupart des forages pétroliers traversant cette formation ont en général subi une perte de circulation de la boue dans cet horizon. Cette perte de circulation confirme aussi la présence et l'influence des fissures et des fractures même dans les zones où la formation ne forme pas la couverture de surface. Dans ce dernier cas, elle devient plus intéressante comme ressource en eaux souterraines, malgré le fait que les débits varient d'une zone à l'autre. Cette variation comme nous la montrons dans le tableau suivant est évidemment attribuée au changement de transmissivité selon la nature et la densité de la fissuration.

| | Localisation | | Altitudes par rapport au sol en m | Profondeur en m par rapport au sol | niveau statique en m par rapport au sol | Débit en m ³ /hr |
|--------------------|--------------|-------------|-----------------------------------|------------------------------------|---|-----------------------------|
| | Haut. | Long. | | | | |
| G ₁ -90 | 30° 18' 23" | 10° 5' 40" | 374,9 | 271 | 38,1 | 40 |
| F ₂ -90 | 30° 31' 20" | 10° 25' 40" | 451,1 | 317 | 137,2 | 5,6 |
| 9-70 | 31° 03' 14" | 11° 43' 45" | 610 | 372 | 306 | 2,85 |
| 182 | 30° 07' 39" | 9° 29' 54" | 337 | 450 | Artésien | 120 |
| B.D.1 | 30° 09' | 10° 27' | -- | 300 | 93 | 34 |
| 168 | 31° 01' 52" | 10° 36' | 434 | 350 | 140 | 12 |
| 85 | 31° 56' 35" | 10° 40' 40" | 358 | 93 | 60 | 5 |
| 61 | 31° 51' 52" | 12° 00' 04" | 635 | 250 | 27 | 1,8 |

Les chiffres des niveaux statiques et des débits doivent toujours être considérés comme approximatifs, car les forages n'avaient pas essentiellement pour but des études hydrogéologiques, mais ils ont été utilisés pour avoir uniquement une première estimation des paramètres de certaines aquifères tels que celui de Gharian.

En bref, la formation Gharian, dans le Bassin versant du Wadi Ghan ne représente pas une ressource en eaux souterraines, mais elle joue le rôle d'un milieu de transfert qui favorise l'infiltration de l'eau de surface.

En dehors du Bassin, surtout au Sud et au Sud-Est où la formation est recouverte par d'autres couches, elle présente des importances variables comme aquifère en fonction de la localisation topographique et de l'existence d'une porosité secondaire due à la fissuration.

La Formation Ain Tobi :

Les calcaires de la formation Ain Tobi semblent avoir favorisé l'existence d'un réservoir d'eau, mais en réalité ce n'est pas le cas. Cette situation peut être attribuée à l'absence de niveaux assez imperméables pour emmagasiner l'eau et l'arrêter à la base, et par conséquent l'eau s'enfuit au dessous.

Dans la région qui nous concerne, il semble que la Formation Ain Tobi n'a aucune importance significative comme ressource en eaux souterraines. Les essais de pompage préliminaires déjà entreprises sur cette formation ont donné un résultat de moins de 10 m³/hr de débit, avec un rabattement de 12 mètres.

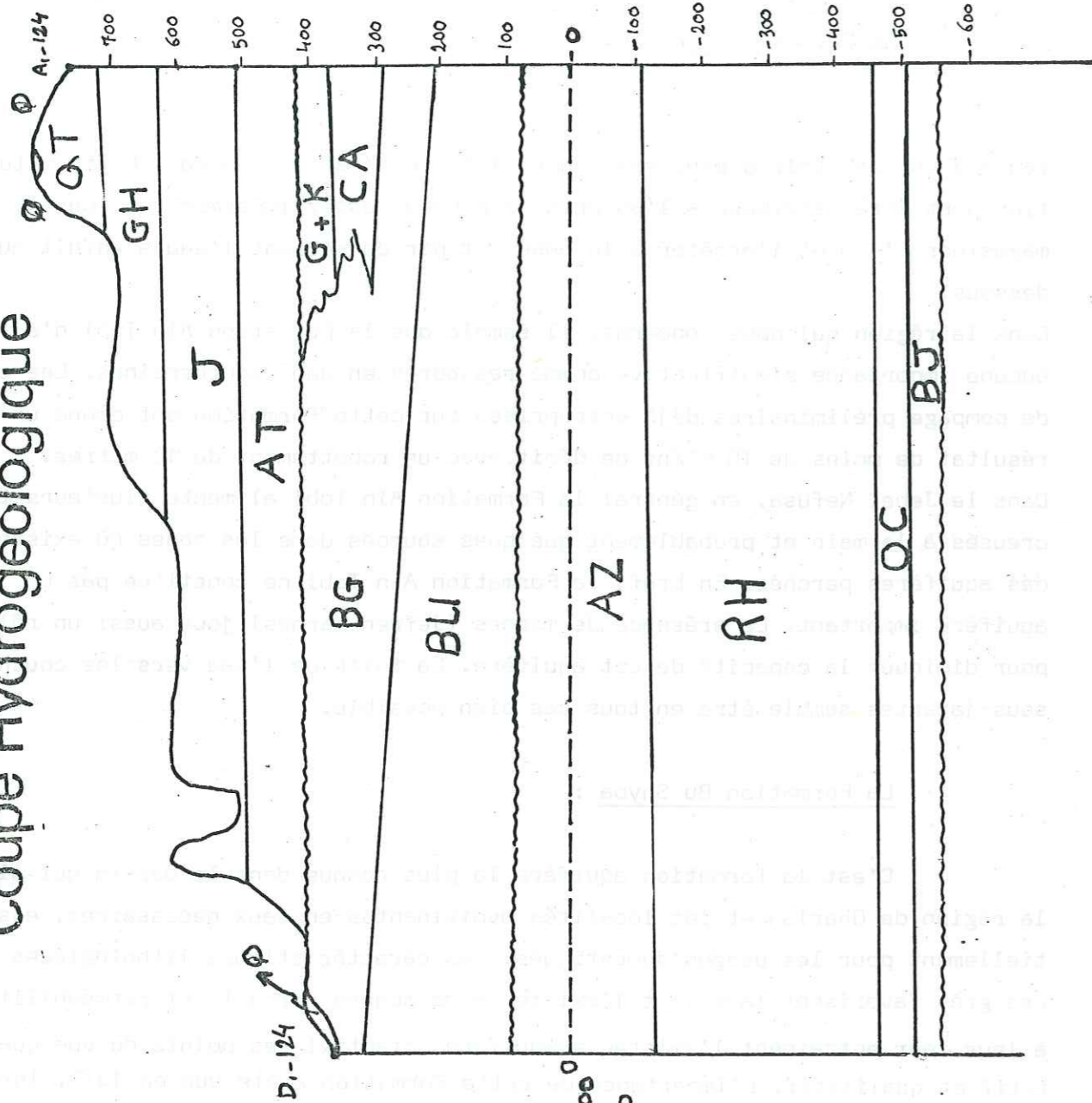
Dans le Jebel Nefusa, en général la Formation Ain Tobi alimente plusieurs trous creusés à la main et probablement quelques sources dans les zones où existent des aquifères perchés. En bref, la Formation Ain Tobi ne constitue pas un aquifère important. La présence de marnes (Jefren marnes) joue aussi un rôle pour diminuer la capacité de cet aquifère. La fuite de l'eau vers les couches sous-jacentes semble être en tous cas bien possible.

La Formation Bu Shyba :

C'est la formation aquifère la plus connue dans le Bassin qui alimente la région de Gharian et les localités avoisinantes en eaux nécessaires, essentiellement pour les usages domestiques. Les caractéristiques lithologiques de ces grès favorisent largement l'existence de bonnes porosité et perméabilité qui à leur tour entraînent l'existence aquifère potentiel des points de vue quantitatif et qualitatif. L'importance de cette formation a été vue en 1973, lorsque le G.W.A a planifié d'explorer les ressources en eaux dans la région à la requête de la municipalité de Gharian. Nous allons dans les pages suivantes essayer d'étudier les caractéristiques de cet aquifère et vérifier les résultats des essais de pompages ainsi que les carottages géophysiques (géophysical logging).

Nous allons donc rappeler les principes d'interprétation avant d'étudier les forages qui ont été réalisés dans cette Formation Bushyba.

Coupe Hydrogéologique



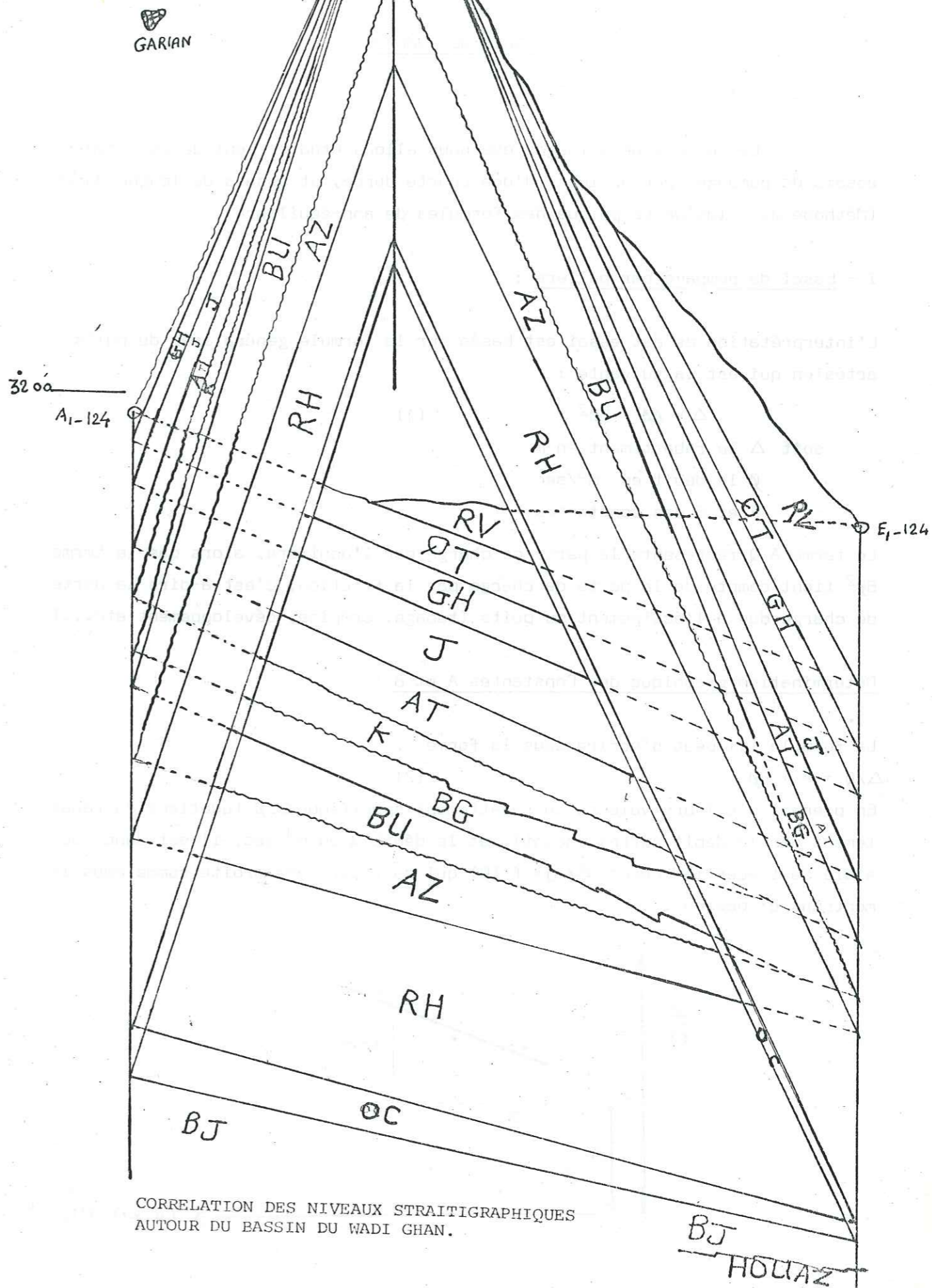
56

échelle horizontale 1:200,000
 : : : verticale 1:10,000

32° 15'

32° 15'

57



CORRELATION DES NIVEAUX STRATIGRAPHIQUES
 AUTOUR DU BASSIN DU WADI GHAN.

BJ
 HOUAZ

LES ESSAIS DE POMPAGE

Les essais de pompages que nous allons étudier sont de deux types ; essais de pompages par paliers, d'une courte durée, et essais de longue durée (Méthode de solution graphique des formules de non-équilibre).

I - Essai de pompage par paliers :

L'interprétation de cet essai est basée sur la formule généralisée du puits artésien qui est la suivante :

$$\Delta = A\varnothing + B\varnothing^2 \quad (1)$$

soit Δ le rabattement en m
 \varnothing le débit en m³/sec
 A et B des constantes

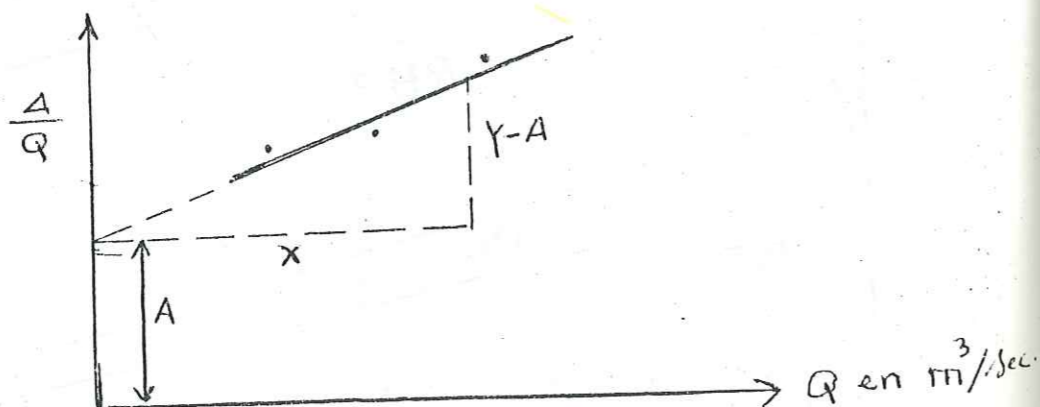
Le terme A Q représente la perte de charge par l'aquifère, alors que le terme BQ² tient compte de la perte de charge par la friction, c'est-à-dire la perte de charge due à l'équipement du puits (tubage, crépine, développement etc...)

Détermination graphique des Constantes A et B :

La formule (1) peut s'écrire sous la forme

$$\Delta/Q = A + BQ \quad (2)$$

En prenant plusieurs valeurs du rabattement spécifique Δ/Q (quotient du rabattement par le débit correspondant), et le débit Q en m³/sec, il est donc possible de tracer la courbe $\Delta/Q = f(Q)$ qui doit être une droite comme nous le montrons ci dessous.



La droite représentative de cette fonction est obtenue en portant en abscisses les débits et en ordonnées les rabattements spécifiques. Le coefficient A est directement obtenu sur le graphique à l'intersection de la droite avec l'axe des rabattements en A. La constante B d'autre part, correspond à la pente de la droite $\frac{(y-A)}{x}$. Il peut être facilement déterminé en prenant $x = 0,1$ ou $x = 1$

Signification de la Constante A et approximation de la Transmissivité :

Si un puits est bien équipé, de telle manière que la perte de charge par la friction soit négligeable, l'équation (1) deviendra

$$\Delta = A \varnothing \quad (3)$$

Cette dernière équation est comparable à la formule de DUPUIT

$$A = \frac{\varnothing}{2 T T} \text{ Ln } R/r \quad (4)$$

donc
$$A = \frac{I}{2 \Pi T} \text{ Ln } R/r \quad (5)$$

T est la transmissivité

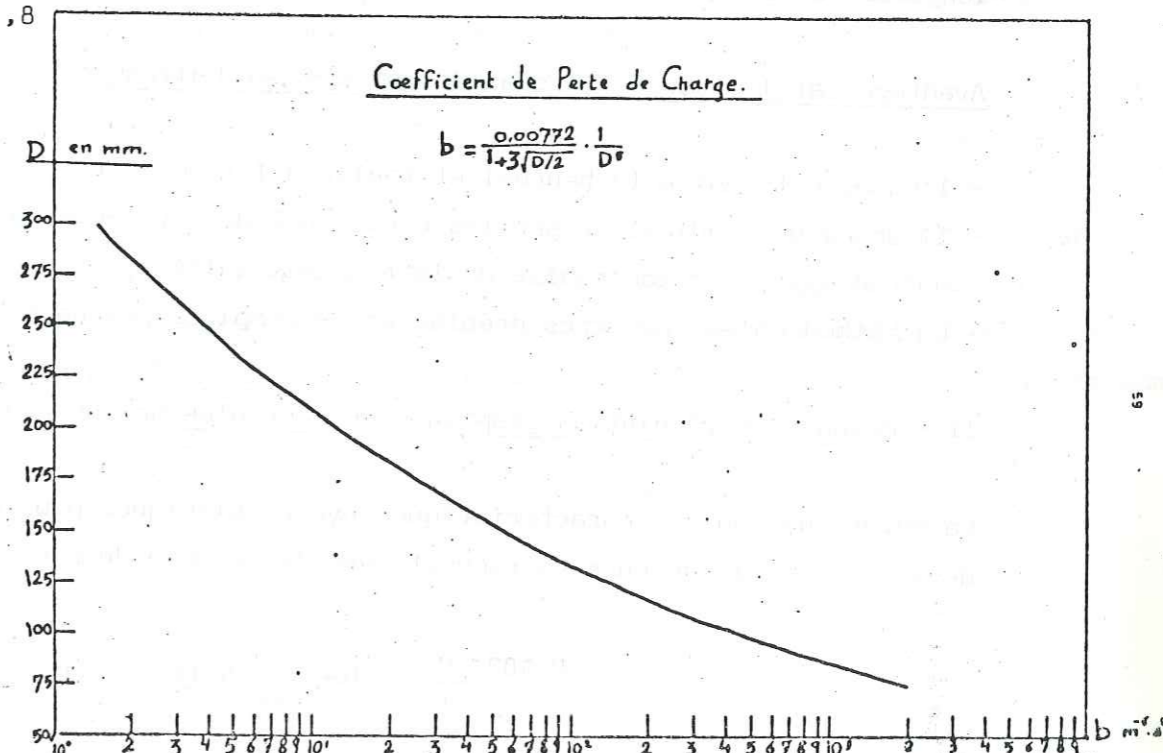
R est le rayon d'action

r est le rayon du puits

En remplaçant le logarithme naturel par le logarithme décimal, et en introduisant la valeur numérique de T dans l'équation (5) nous aurons

$$A = \frac{0,37}{T} \log R/r \quad (6)$$

Dans une nappe captive, la valeur du terme $\log R/r$ est comprise entre 2,9 et 4,8 et par conséquent le terme $0,37 \log R/r$ est approximativement compris entre 1,1 et 1,8



En obtenant graphiquement la valeur du coefficient A, il est donc possible d'approcher la transmissivité T en remplaçant le terme $0,37 \log R/r$ dans l'équation (6) par sa valeur numérique qui est comprise entre 1,1 et 1,8. Nous aurons alors $\frac{1,1}{A} T \frac{1,8}{A}$

La meilleure approximation de T en Libye, est obtenue lorsque on prend $T = \frac{1,6}{A}$ (7)

Signification de la Constante B :

Le terme BQ^2 dans l'équation (1) comme nous l'avons dit, tient compte de la perte de charge due à la friction, entraînée par l'équipement installé dans le puits. Dans le cas de développement incomplet (crépine partiellement bouchée, dépôts de bonne ou mud-cake non dissocié), cette perte de charge et par conséquent la valeur de B sera très élevée. La Constante B est donc un indice du développement du puits. Si nous comparons la valeur de B calculée à partir de la pente $\frac{y - A}{x}$ à sa valeur théorique calculée par la formule $B = b,1$ (8), nous allons pouvoir déterminer les conditions du puits considéré. Dans l'équation (8), l représente la longueur de chaque tubage composant l'équipement installée, et b, est son coefficient de perte de charge par la friction, calculé à partir de la formule d'approximation de Levey

$$b = \frac{0,00772}{13 \sqrt{D/2} \times \frac{1}{D^5}}$$

où D est le Débitmètre interne de tubage.

Cette dernière formule de Levey est établie pour des tubages d'une qualité moyenne il est évident que les tubages d'une meilleure qualité donneront un meilleur résultat. L'expérience en Libye nous a appris que la valeur de B = 500 pour une longueur de 100 mètres est acceptable.

Avantages et limites de l'essai de Pompage par Paliers :

- l'essai est rapide (3 heures) et facile à interpréter
- Il donne une indication sur les conditions de développement du puits ainsi qu'une approximation rapide de la transmissivité
- La méthode n'est pas très précise et ne remplace pas un essai de longue durée.

II - Méthode de résolution graphique des formules de non-équilibre :

La détermination des caractéristiques hydrogéologiques peut être effectuée par deux méthodes graphiques en rapport avec la formule de non équilibre.

$$= 0,183 \frac{Q}{T} \log \frac{2,25 T t}{x^2 S} \quad (1)$$

$$\text{ou plus généralement } \Delta = \frac{Q}{4 T t} W(u) \quad (2)$$

où W(u) est la (Well fonction) du puits dans lequel $u = \frac{x^2 S}{4 T t}$

Ces deux méthodes sont : A - méthode graphique d'approximation logarithmique
B - méthode de la courbe standard (type curve)

A : Méthode graphique d'approximation logarithmique :

Plusieurs types de représentations graphiques de la formule de non-équilibre existent, mais nous allons utiliser uniquement la droite rabattement-logarithme du temps.

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

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

c'est une fonction de la forme $Y = a (\log b + \log x)$ dans laquelle la constante a est déterminée par $a = 0,183 \frac{Q}{T}$, et les variables sont $y = \Delta$ et $\log x = \log t$. La droite représentant cette fonction est obtenue en portant sur un diagramme semi-logarithmique en abscisses les logarithmes du temps t et en ordonnées les rabattements Δ . La constante $a = 0,183 \frac{Q}{T}$ est donc déterminée par la tangente de cette courbe.

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

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, $\log t = 1$ et par conséquent $0,183 Q / T = C$

$$\text{donc } T = 0,183 Q / C$$

Le coefficient d'emménagement peut être calculé, dans un cas général, en choisissant un point arbitraire sur la droite représentative, et en introduisant ses coordonnées Δ et t dans la formule (1), et lorsque $0,183 Q / T = C$ donc $\Delta = C \log \frac{2,25 T t}{x^2 S} = C \log \frac{2,25 T t}{S}$ (pour le puits pompé)

d'où S est la seule inconnue

B : Méthode de la courbe Standard (Type Curve) :

Cette méthode est basée sur la formule (2)

$$\Delta = \frac{Q W(u)}{4 \pi T} \quad \text{avec } u = \frac{x^2 S}{4 T t}$$

La procédure d'utilisation est la suivante :

- on prépare sur un diagramme bilogarithmique la courbe standard (type curve) en portant les valeurs de "well function" $W(u)$ en ordonnée et les valeurs de u en abscisses. Ces valeurs sont données par des tables spéciales.

Cependant, il est fréquemment plus commode d'utiliser la "reversed type curve" qui est obtenue en portant sur le diagramme bilogarithmique les valeurs de $W(u)$ et $1/u$ au lieu de u . Ce diagramme sera utilisé comme abaque.

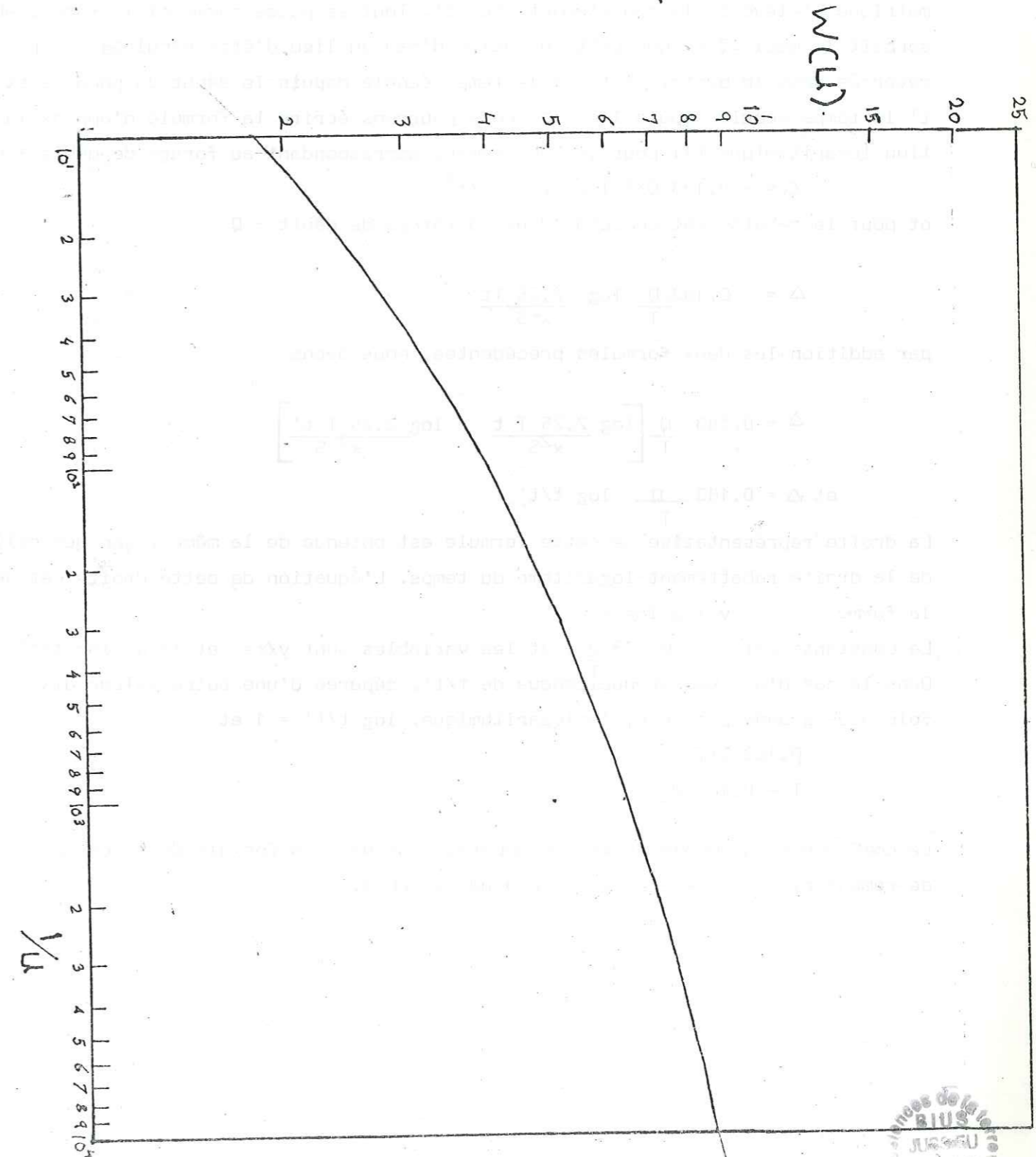
- on prépare aussi un diagramme bilogarithmique de même échelle que celle de la "reversed type curve" en portant les valeurs des rabattements en ordonnées et les valeurs du logarithme du temps en abscisses pour l'étude du puits pompé et T/x^2 pour un pompage avec piézomètre c'est donc la courbe expérimentale.

- On superpose la courbe expérimentale sur la "reversed type curve", et on fait coïncider les deux portions de courbes. Les axes de coordonnées des deux courbes doivent être toujours parallèles.

- On choisit un point arbitraire sur la portion de coïncidence des deux courbes et on détermine les valeurs de $W(u)$, u , Δ et t correspondant à ce point. La transmissivité est donc calculée par la formule $\Delta = \frac{Q W(u)}{4 \pi T}$ avec $T = \frac{Q W(u)}{4 \pi \Delta}$

Le coefficient d'emmagasinement est égal à $S = 4 T t u/x^2$ pour un pompage avec piézomètre et $4 T t$ pour un puits pompé.

Courbe Standard



COURBE DE REMONTEE

Supposons qu'un débit + Q soit pompé dans le puits jusqu'à un instant où le pompage est arrêté. A l'arrêt du pompage, il est évident que le niveau piézométrique s'élève et le rabattement décroît. Tout se passe comme si le forage absorbait le débit - Q et que cette quantité d'eau au lieu d'être expulsée était reversée dans le puits. Si t est le temps écoulé depuis le début du pompage et t' le temps écoulé depuis l'arrêt, nous pourrions écrire la formule d'approximation logarithmique (1) pour le rabattement correspondant au forage de débit + Q

$$\Delta = + 0,183 \frac{Q}{T} \log \frac{2,25 T t}{x^2 S}$$

et pour le rabattement correspondant au forage de débit - Q

$$\Delta = - 0,183 \frac{Q}{T} \log \frac{2,25 T t'}{x^2 S}$$

par addition les deux formules précédentes, nous avons

$$\Delta = 0,183 \frac{Q}{T} \left[\log \frac{2,25 T t}{x^2 S} - \log \frac{2,25 T t'}{x^2 S} \right]$$

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

La droite représentative de cette formule est obtenue de la même façon que celle de la droite rabattement-logarithme du temps. L'équation de cette droite est de la forme

$$y = a \log x$$

La constante est $a = 0,183 \frac{Q}{T}$, et les variables sont $y = \Delta$ et $\log x = \log t/t'$. Dans le cas d'une valeur quelconque de t/t' , séparée d'une autre valeur dix fois plus grande par un cycle logarithmique, $\log t/t' = 1$ et

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

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

Le coefficient d'emménagement n'apparaît pas dans la formule de la courbe de remontée. Celle-ci est donc indépendante de S.

LES CAROTTAGES GEOPHYSIQUESA : Le diagramme Microlog :

Il est obtenu par carottage électrique dans les sondages.

Dans ce diagramme, la résistivité du dépôt de boue et celle de la zone envahie par la boue, sont représentées ensemble respectivement par le microlog-inverse (espacement "1") et le microlog-normal (espacement "2")

- Les zones imperméables sur le diagramme peuvent être distinguées par les conditions suivantes :

1 - le microlog-normal est à droite du microlog-inverse, en effet la résistivité de la zone envahie par la boue est plus faible que celle des dépôts de boue

2 - Le microlog-normal et le microlog-inverse coïncident ce qui signifie que le terrain envahi par la boue à la même résistivité que le dépôt de boue.

3 - Le microlog-normal et le microlog-inverse montrent une forte déviation simultanée quand on a une roche massive imperméable.

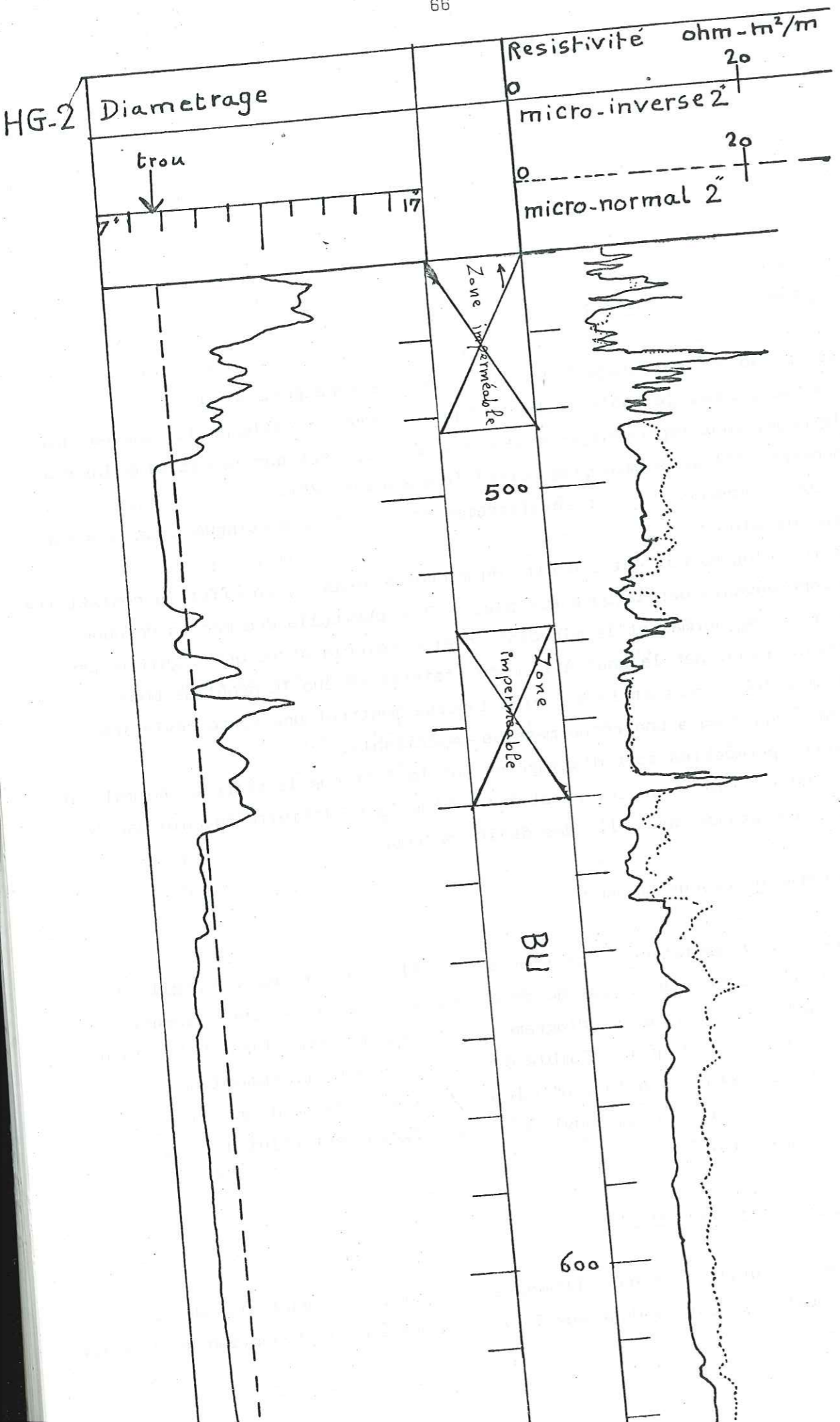
- Les zones perméables sont distinguées par le fait que le microlog-normal est à gauche du microlog-inverse, c'est-à-dire que la résistivité envahie par la boue est plus grande que celle des dépôts de boue.

B : Diagramme de Rayons Gamma :

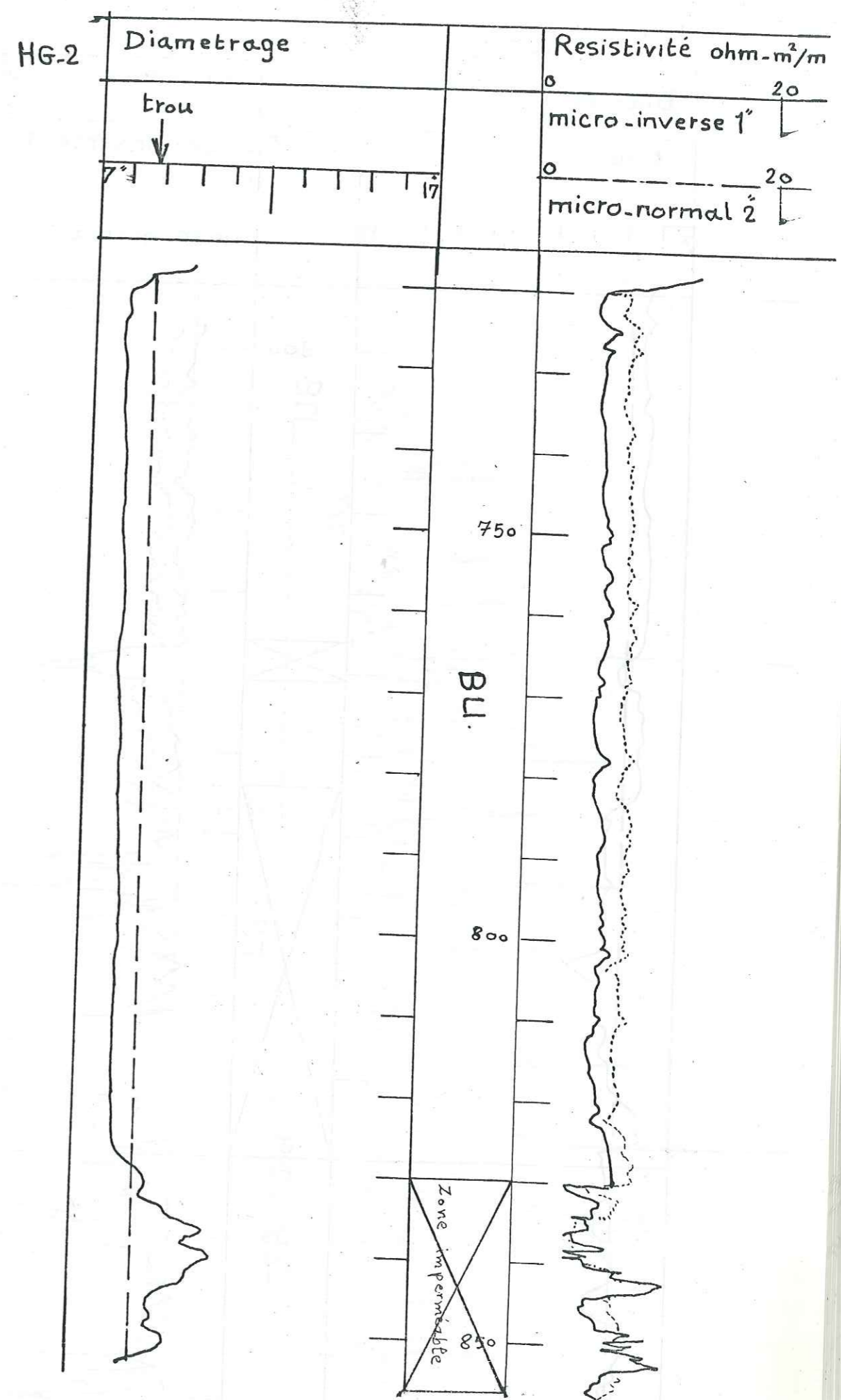
L'intensité de la déviation de ce diagramme reflète la présence d'argile dans les couches. L'utilisation du diagramme de rayons Gamma seul est insuffisant, et il faut le compléter par d'autres diagrammes tels que les micrologs. Cette insuffisance est due au fait qu'une faible déviation indique uniquement une faible teneur en argile, qui à son tour n'indique pas nécessairement une zone perméable. Le cas le plus courant envisagé, à cet égard, est celui des calcaires et dolomites massifs.

C : Diagramme Micro-diamétrage :

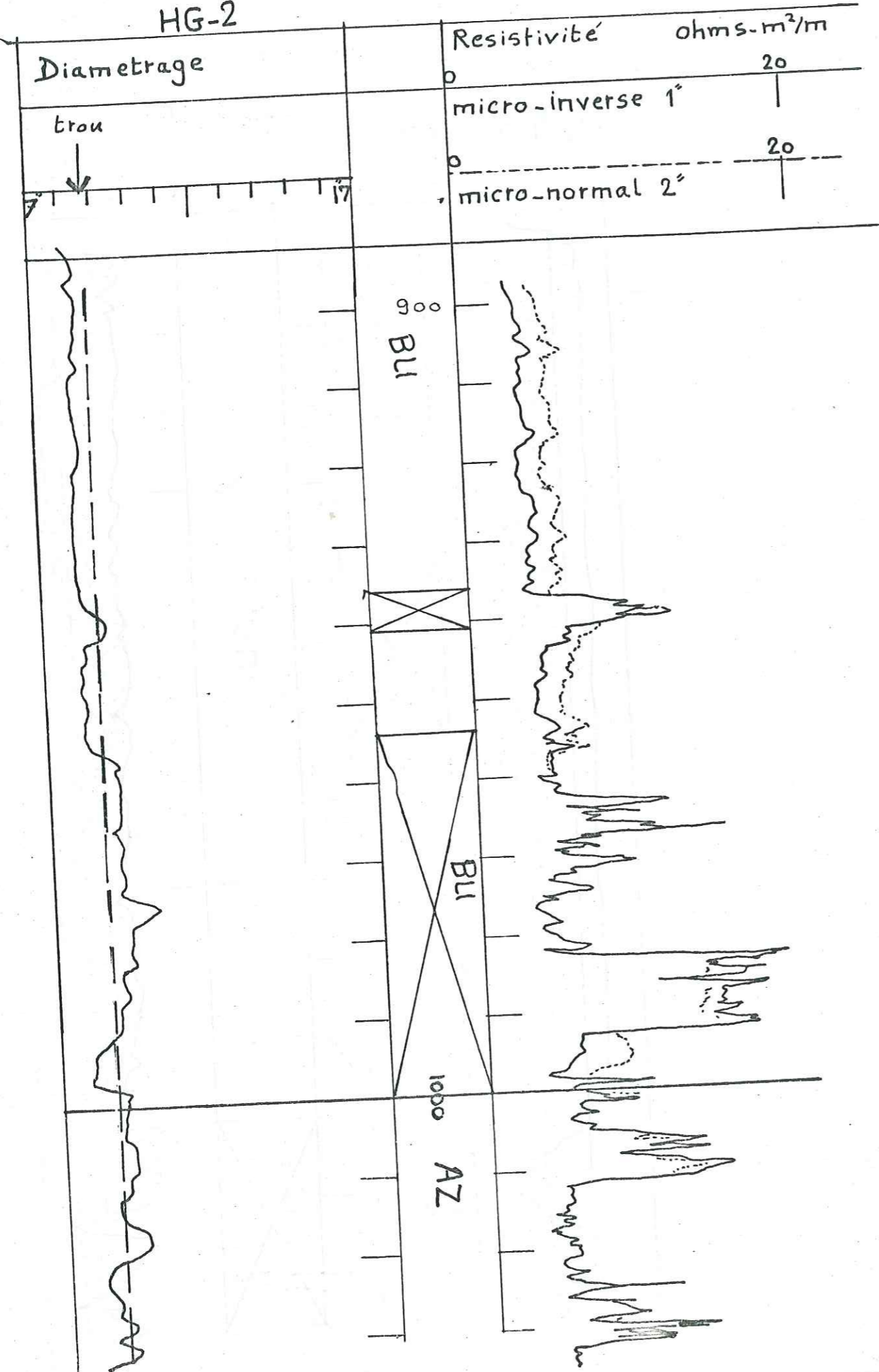
Ce diagramme est utilisé essentiellement pour indiquer la variation de diamètre le long du puits. Il est évident que l'élargissement ou la réduction du diamètre



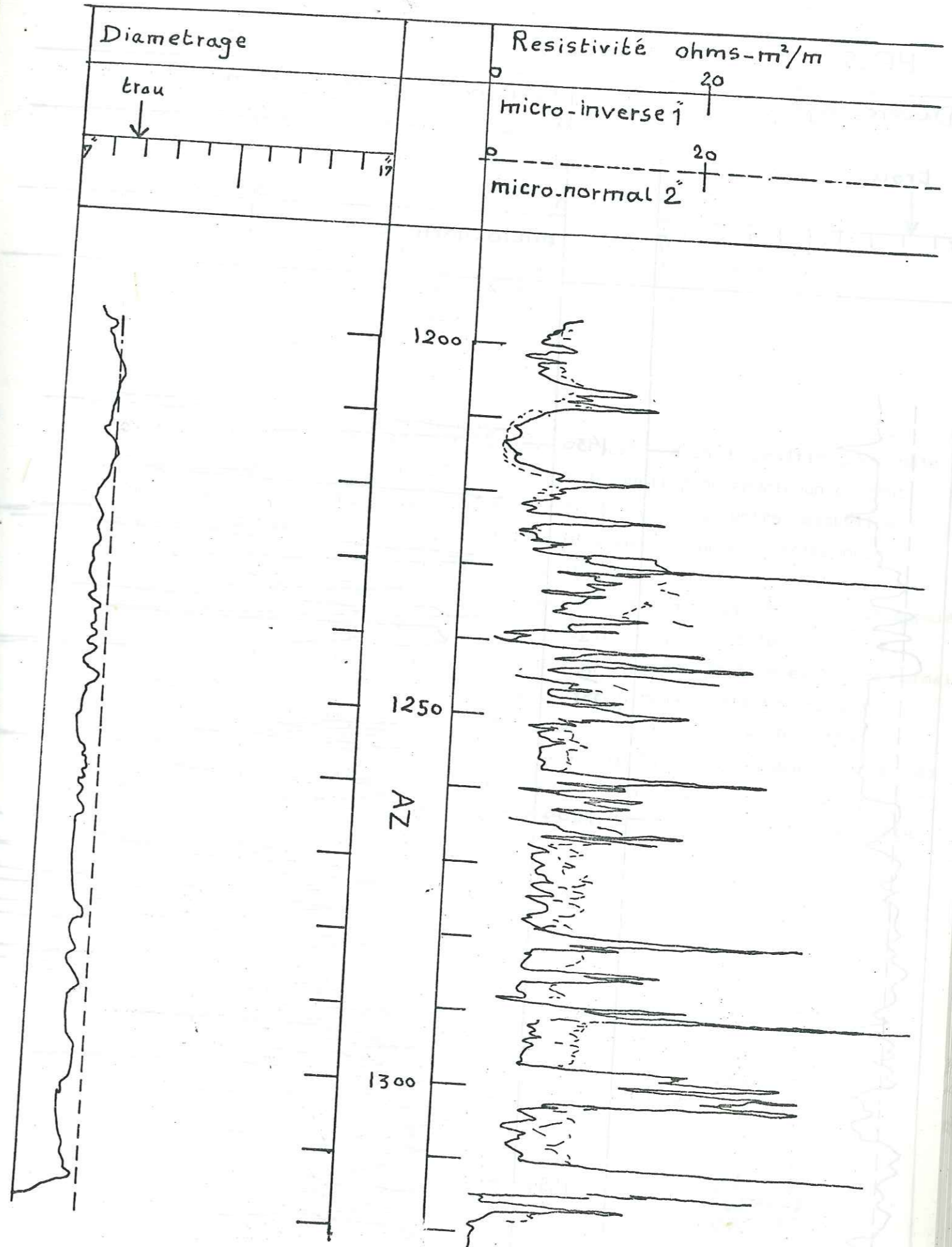
HG-2



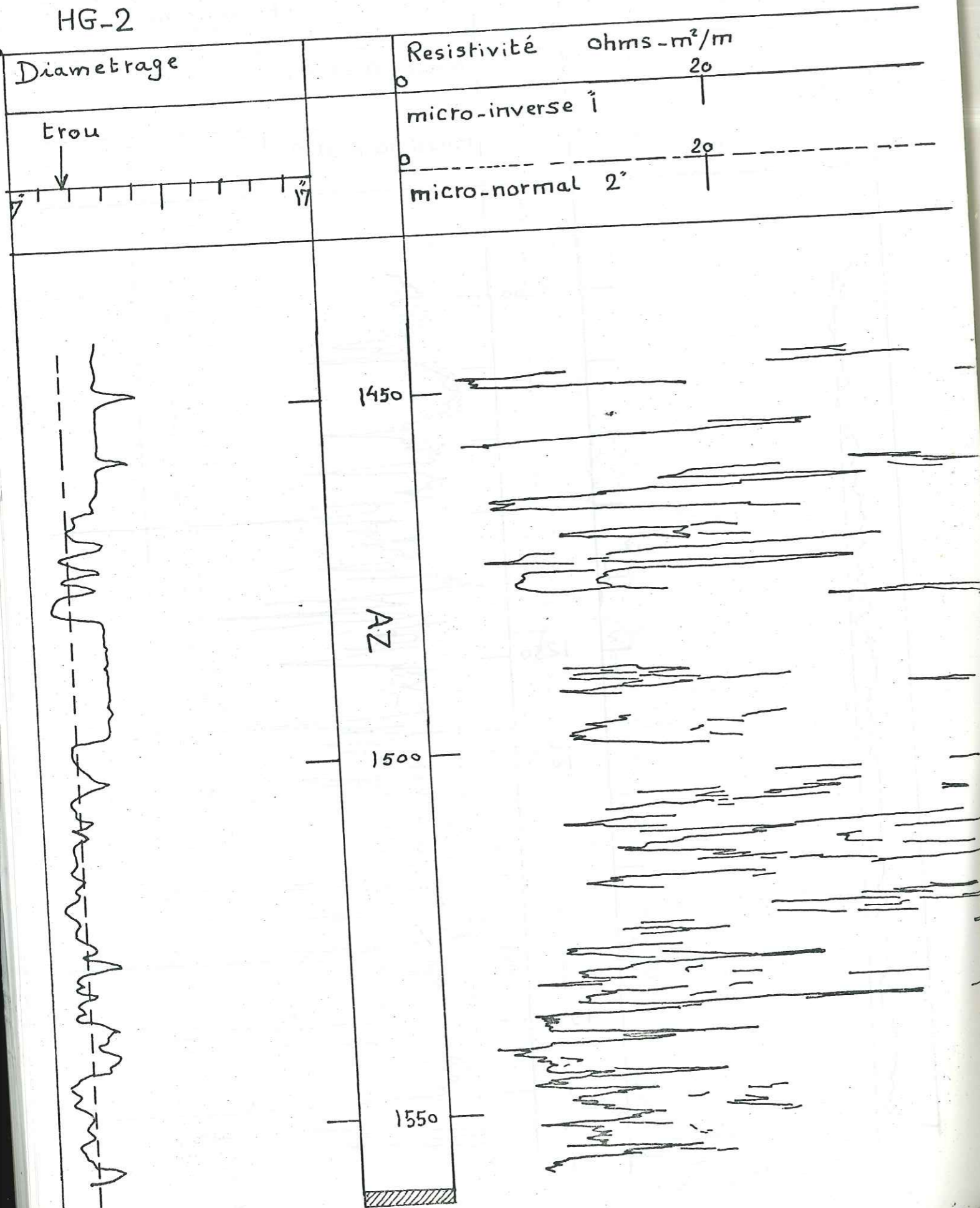
HG-2



HG-2



HG-2



par rapport à la dimension du trépan, avec lequel on a creusé le trou, ne peut être attribué qu'à la nature du terrain traversé. On observe par exemple qu'en cas de présence d'argile et de marnes, le diamètre est souvent élargi par le phénomène de gonflement puis d'éboulement liés à ce terrain lorsque il est mouillé par la boue.

Il est indispensable que cette dernière hypothèse soit confirmée par d'autres moyens. L'utilisation du diagramme de micro-diamétrage est donc limitée, mais il sert en général comme un élément complémentaire.

E : Les Diagraphies de Resistivité :

Les diagraphies de résistivité sont obtenues à partir d'un dispositif quadripôle qui consiste en deux électrodes (A et B), par lesquelles on envoie un courant d'une certaine intensité et deux autres électrodes (M et N) entre lesquelles on mesure la différence de potentiel Δ . Le plus souvent on enregistre deux diagraphies avec deux sondes de rayon d'investigation différentes. La diagraphie de la sonde qui a approximativement un rayon d'investigation 0,8 m est appelée la petite normale, et celle de rayon d'investigation 3,2 m est la grande normale. Il est intéressant de disposer des deux diagraphies (petite et grande normale) car leur comparaison permet de déceler les zones poreuses et perméables si la résistivité de la zone est différente de celle de l'eau de la formation. Les zones perméables peuvent être localisées par le fait que les deux diagraphies de résistivité montrent relativement une bonne séparation entre elles et que la résistivité de la grande sonde normale est plus forte que celle de la petite sonde normale.

HG-2

72

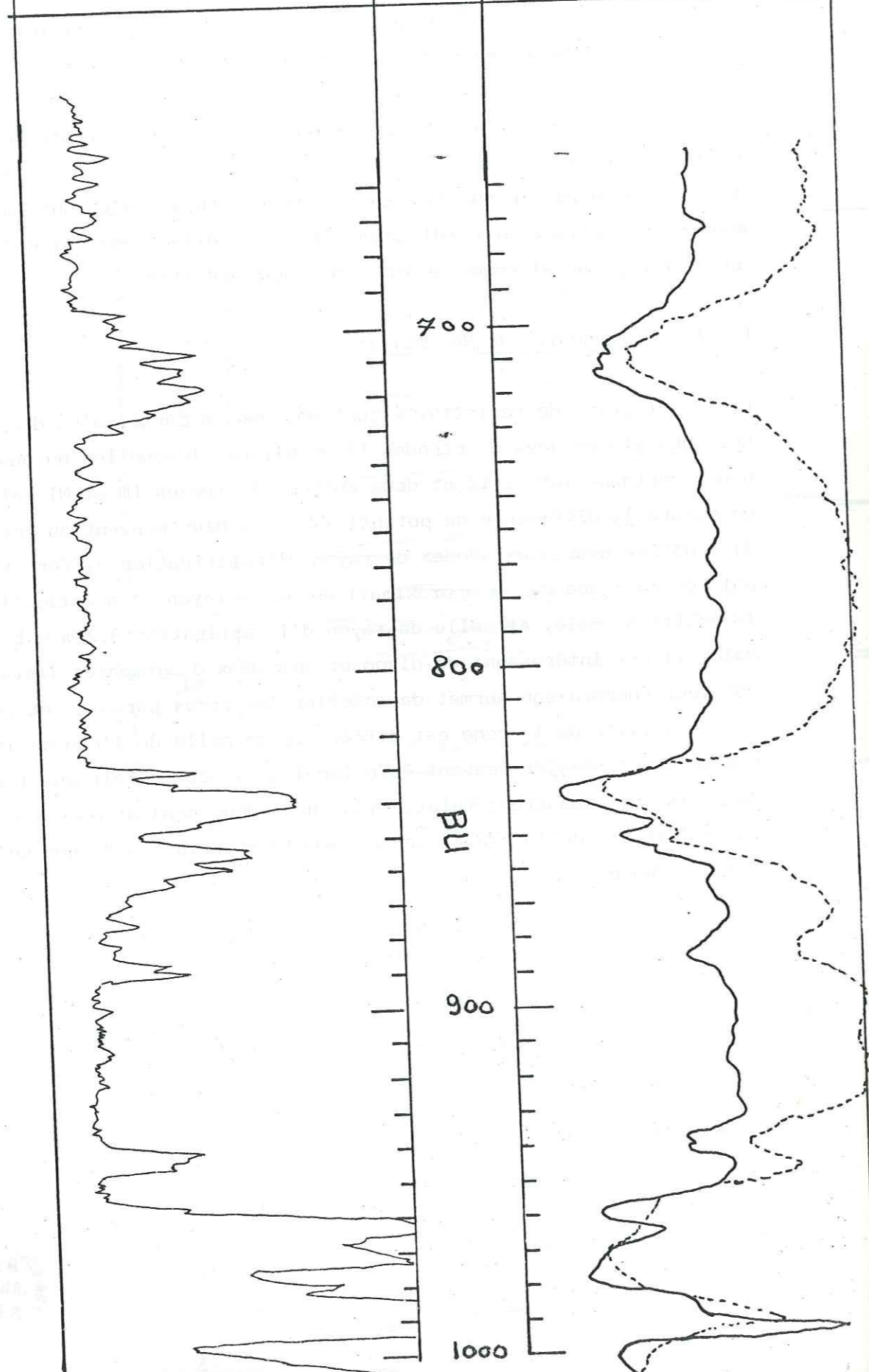
Gamma

Resistivité ohms-m²/m

0 API 150

0 AM₁ 50

0 AM₂ 50



HG-1

73

HG-2

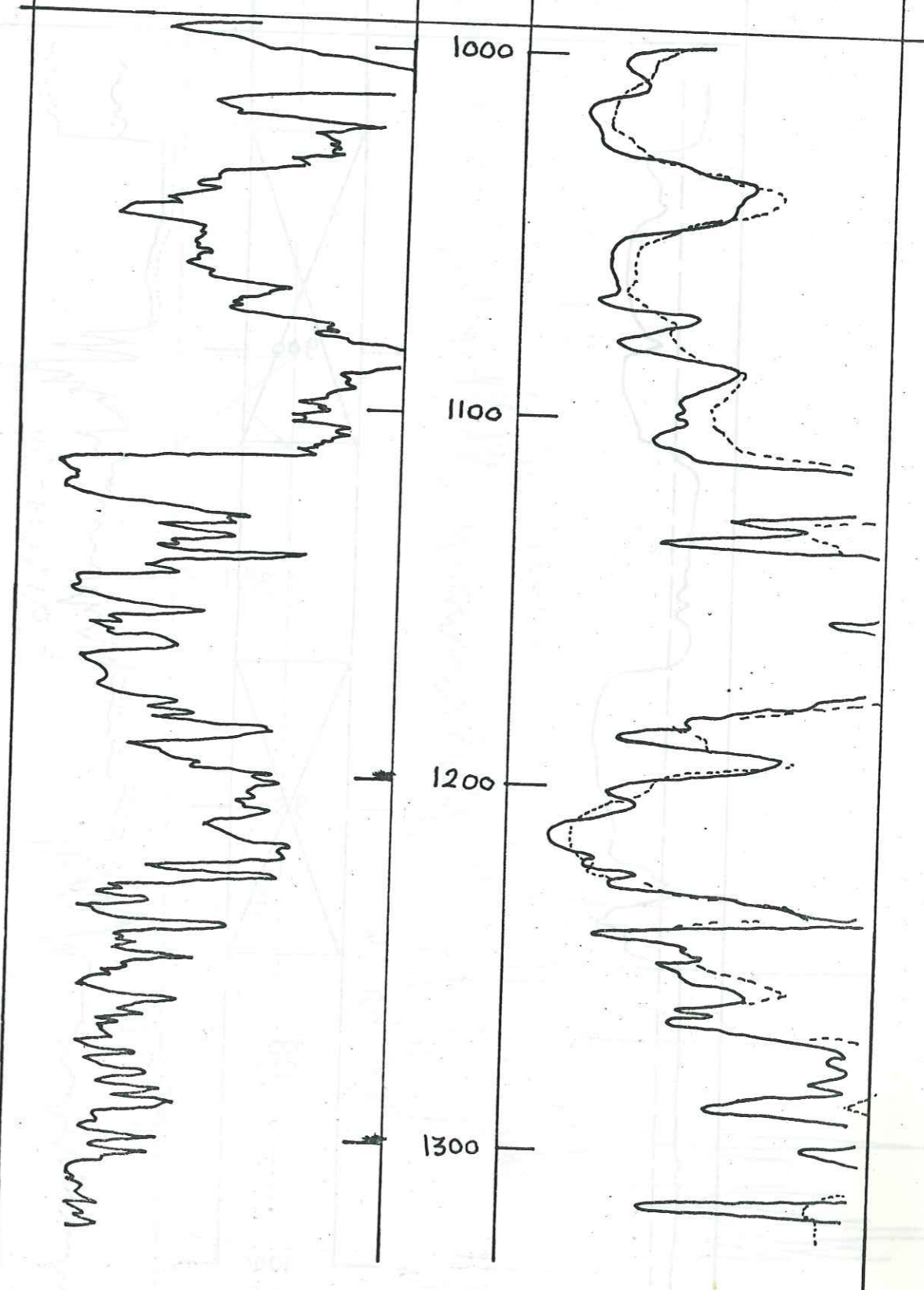
Gamma

Resistivité ohms-m²/m

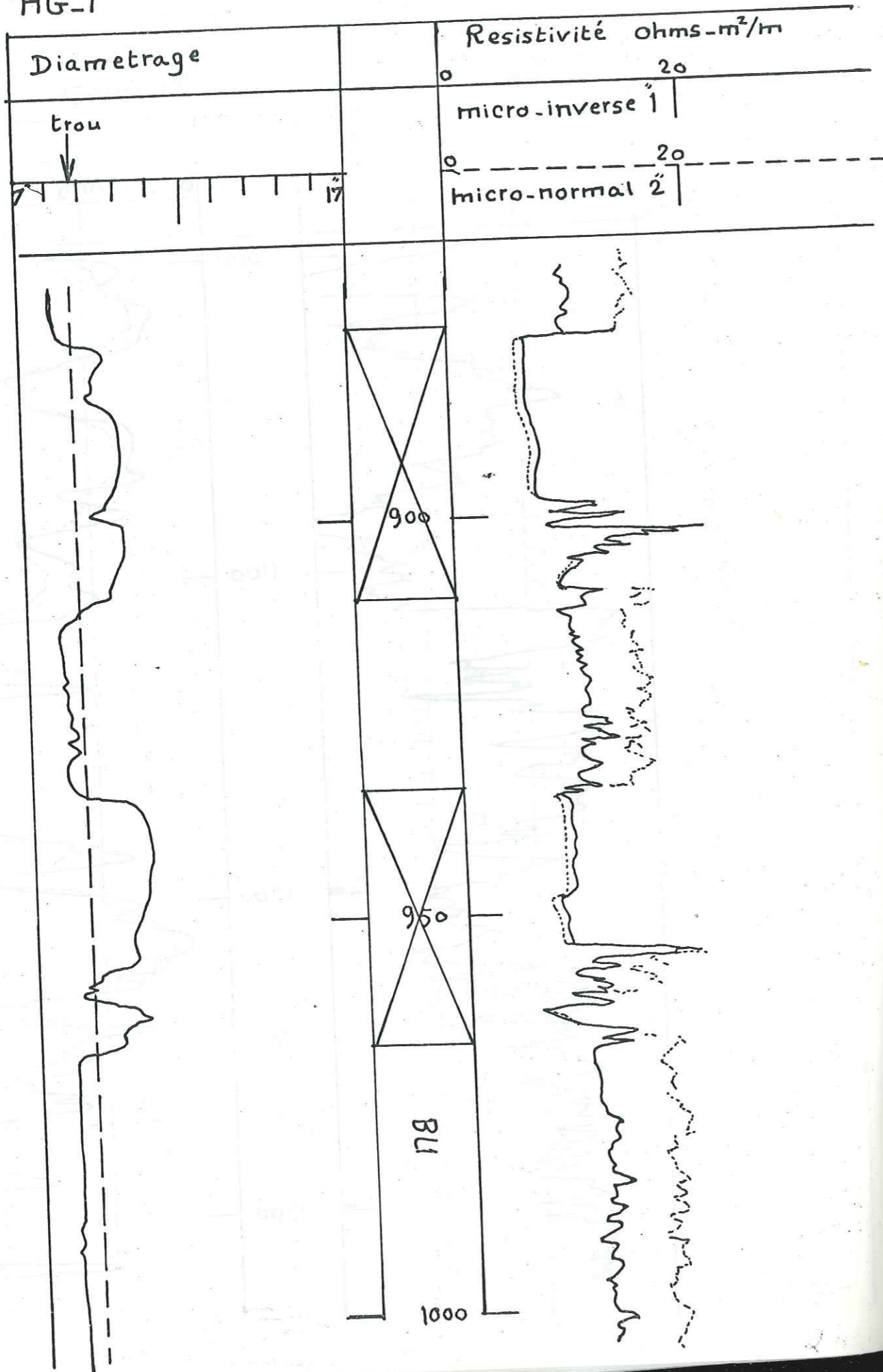
0 150

0 AM₁ 50

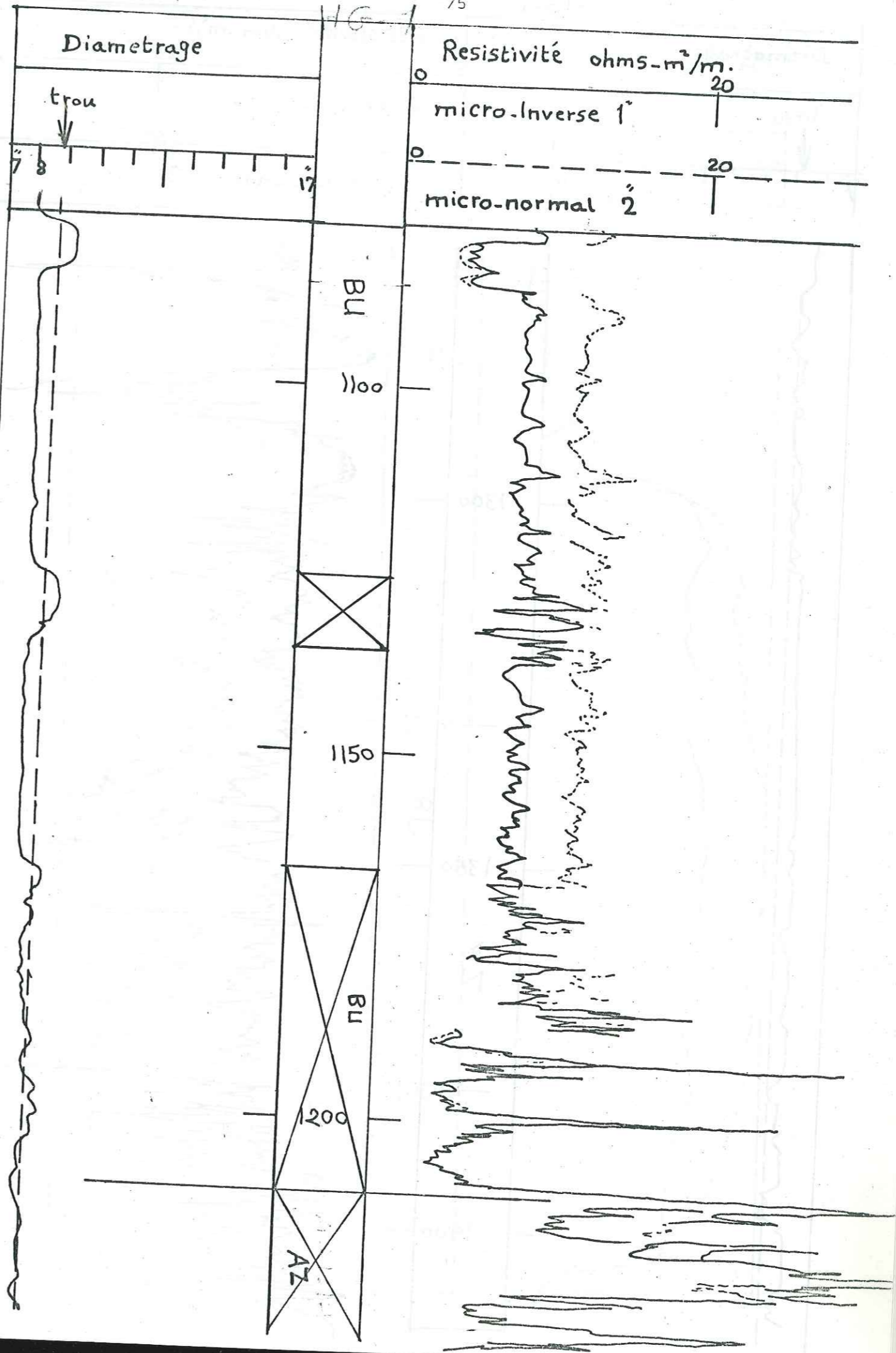
0 AM₂ 50

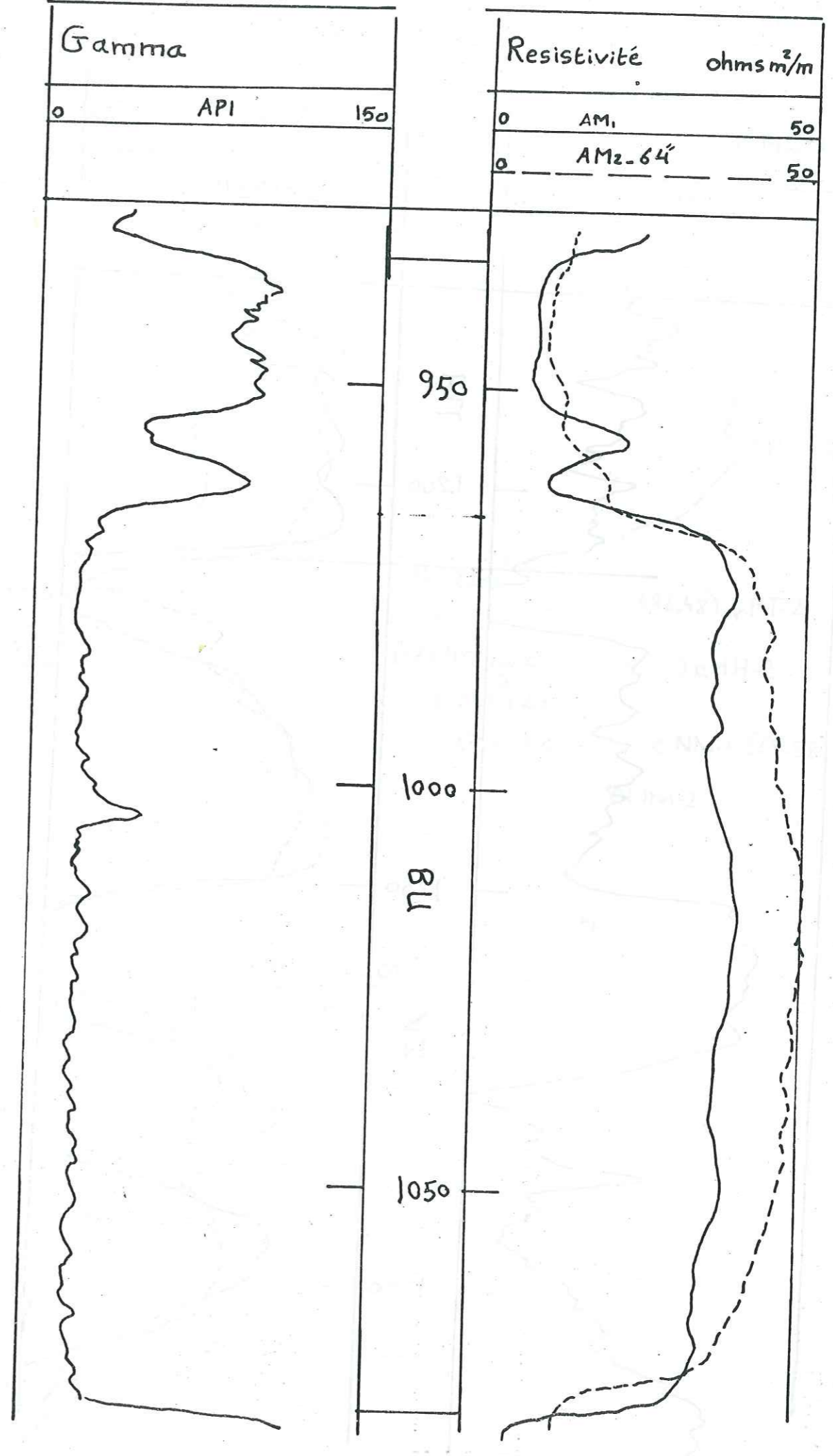
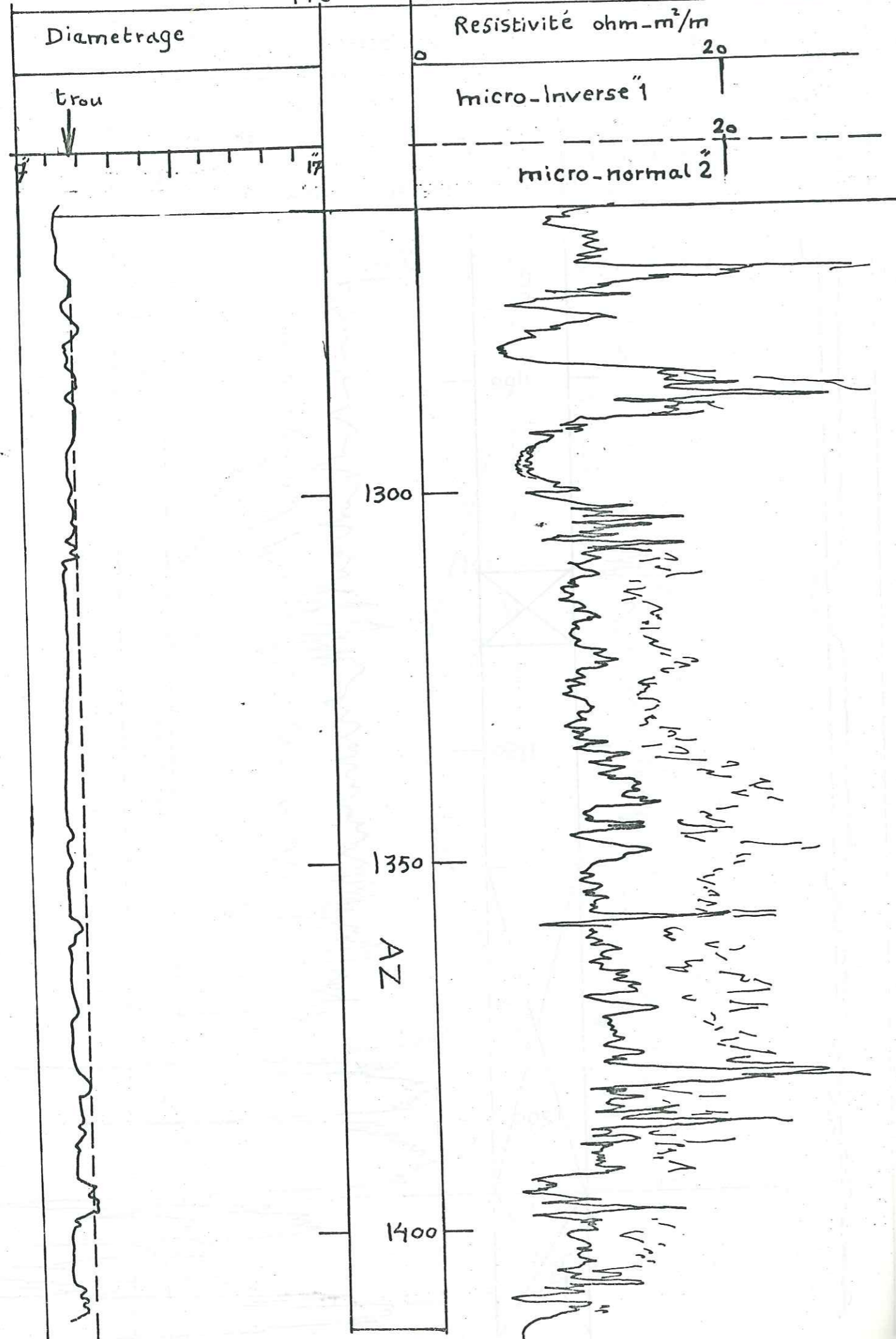


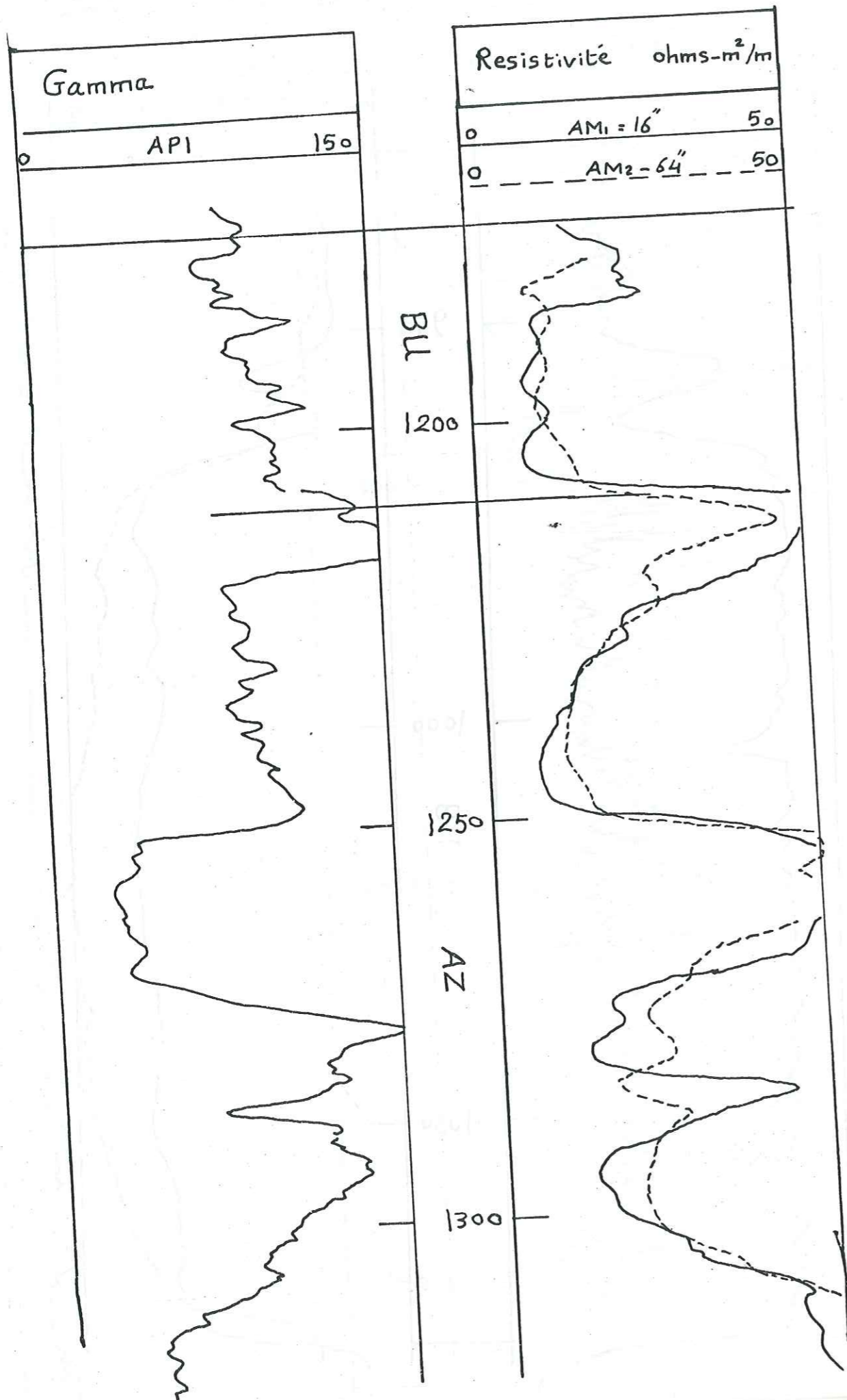
HG-1



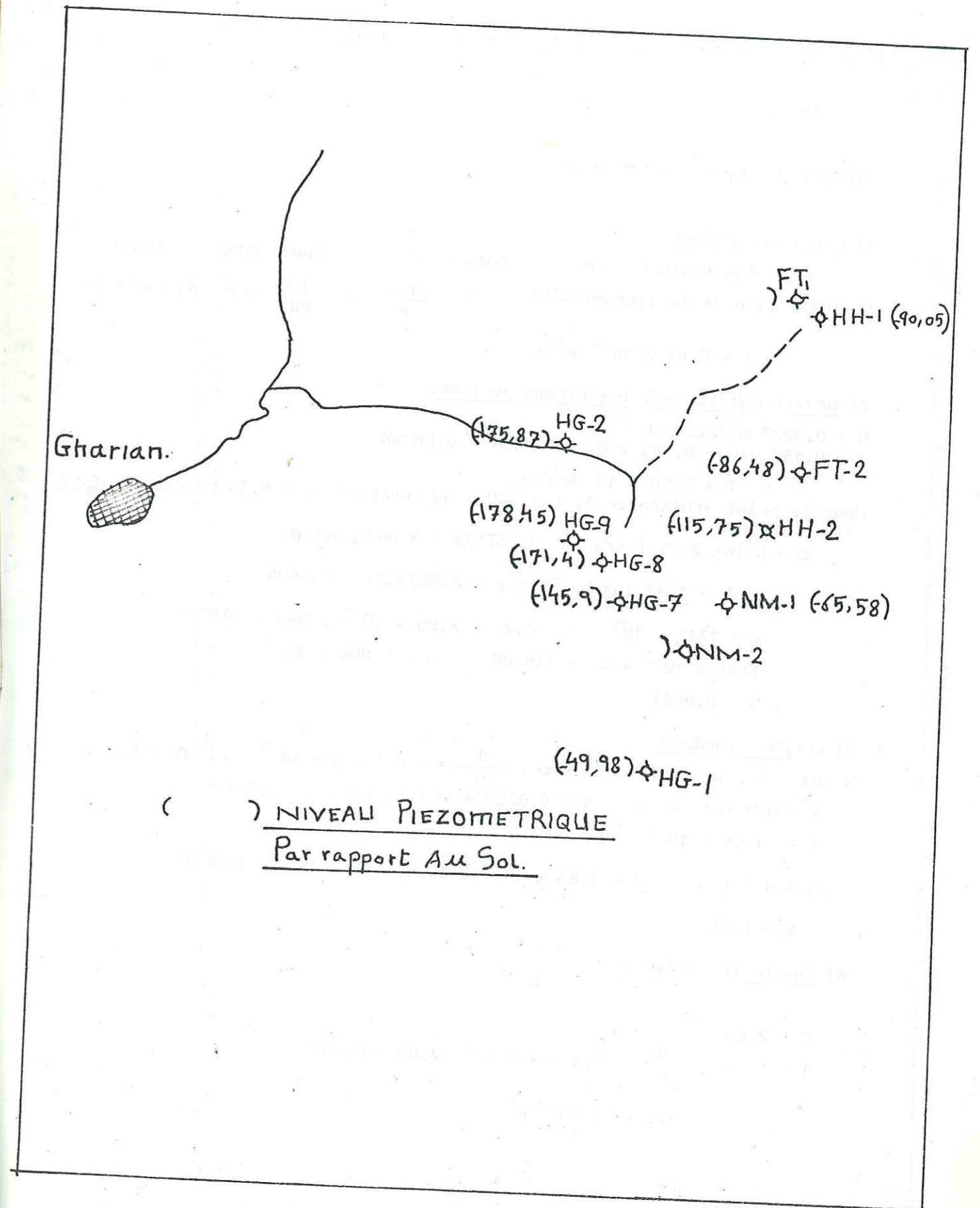
HG-1







LOCALISATION DES PRINCIPAUX FORAGES



Etude des principaux puits réalisés dans la formation BU SHYBA

Puits HG-9

Niveau statique = - 178,45 m

1) Essai par Paliers

Constante A = 282 - Constante B = 290-280/0,00925 = 864,86

Approximation de la Transmissivité $T \frac{1,6}{A} = \frac{1,6}{282} \approx 0,00567 \text{ m}^2/\text{sec}$

$$T = 5,67 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

2) Droite Rabattement-logarithme du Temps

$$Q = 0,0222 \text{ m}^3/\text{sec} \quad C = 1,37$$

$$T = 0,183 Q/C = 0,183 \times 0,0222/1,37 = 0,00296$$

$$T = 2,96 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

Pour le point arbitraire A, $t = 300 \times 60 \text{ secondes}$ $\Delta = 8,55 \text{ mètres}$

$$\Delta = C \log 2,25 T t/s \quad \text{si } 2,25 T t/s = X \text{ nous aurons}$$

$$8,55 = 1,37 \log X \quad \log X = 8,55/1,37 = 6,2408$$

$$X = 1741 \times 10^3 = 2,25 \times 2,96 \times 10^{-3} \times 300 \times 60/S$$

$$1741 \times 10^3 \times S = 119,88 \quad S = 0,006 \times 10^{-2}$$

$$S = 0,006\%$$

3) Courbe standard

$$W(u) = 5, \quad t = 10,5 \times 60 \text{ sec}, \quad \frac{1}{u} = 10^3, \quad u = 10^{-3}, \quad \text{et } \Delta = 4,8 \text{ m}$$

$$T = Q W(u)/4\pi \Delta = 5 \times 0,0222/4 \times 3,14 \times 4,8 = 0,00184$$

$$T = 1,84 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 4 T t u = 4 \times 1,84 \times 10^{-3} \times 10,5 \times 60 \times 10^{-3} = 0,0046$$

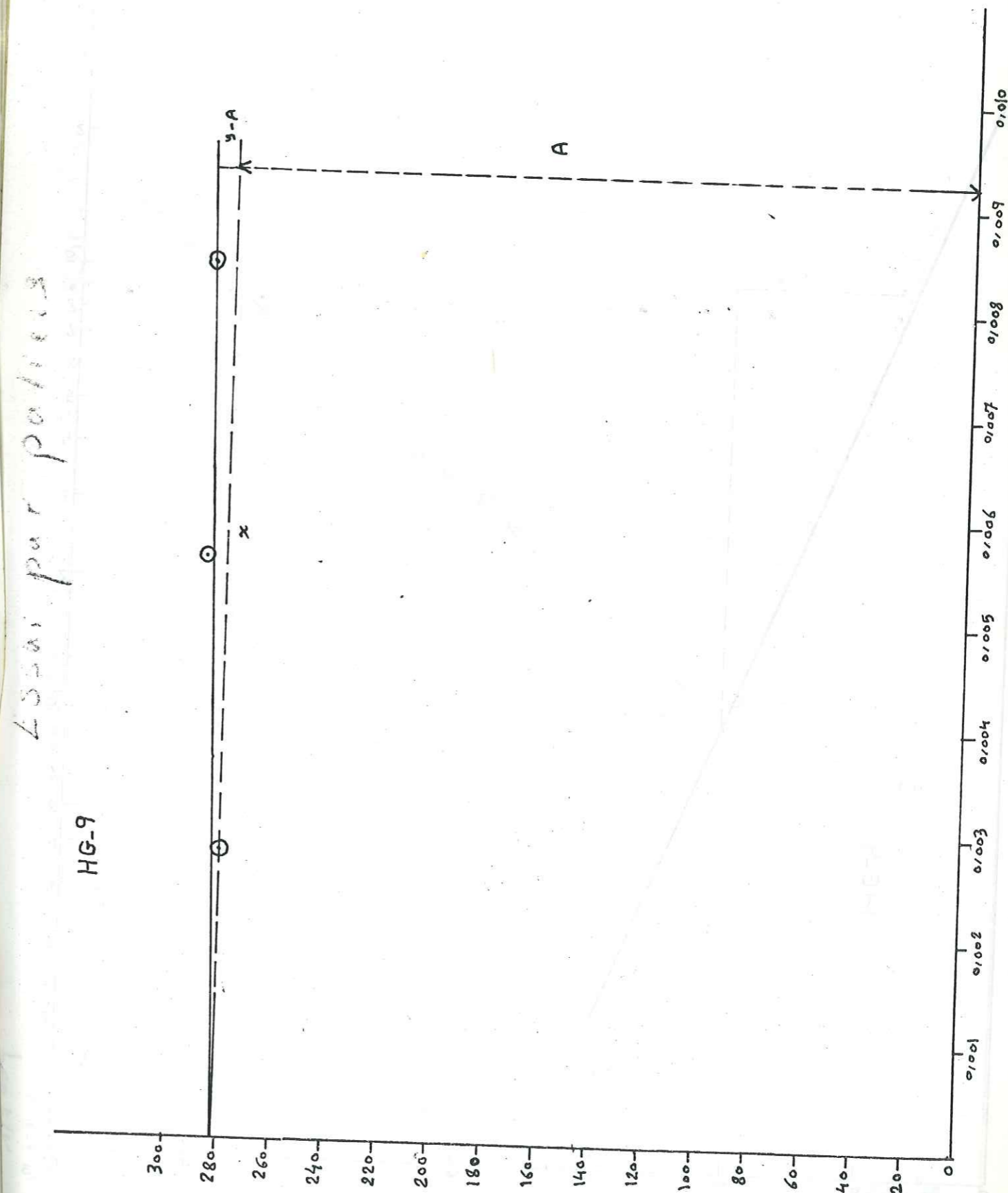
$$S = 0,46 \%$$

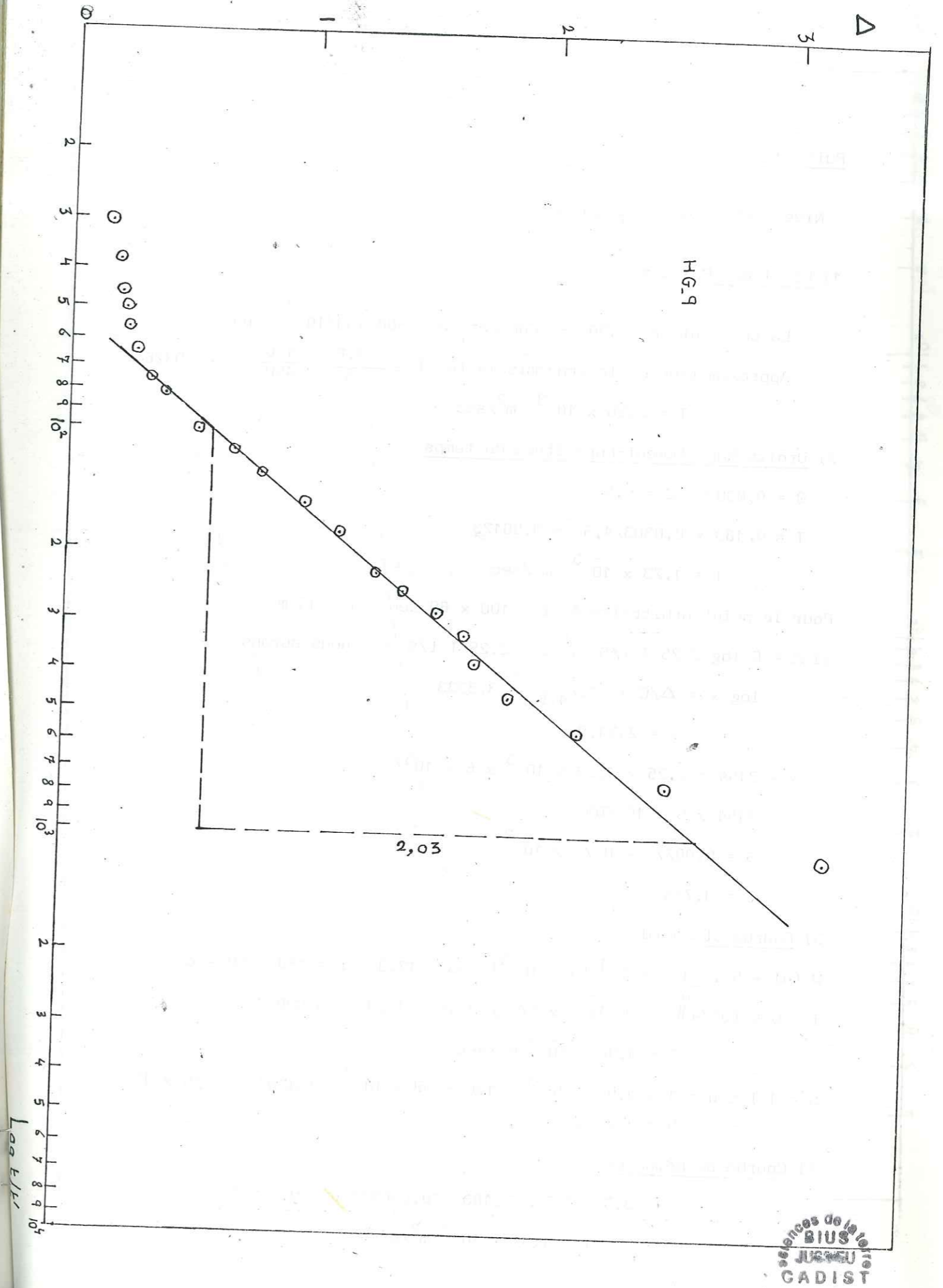
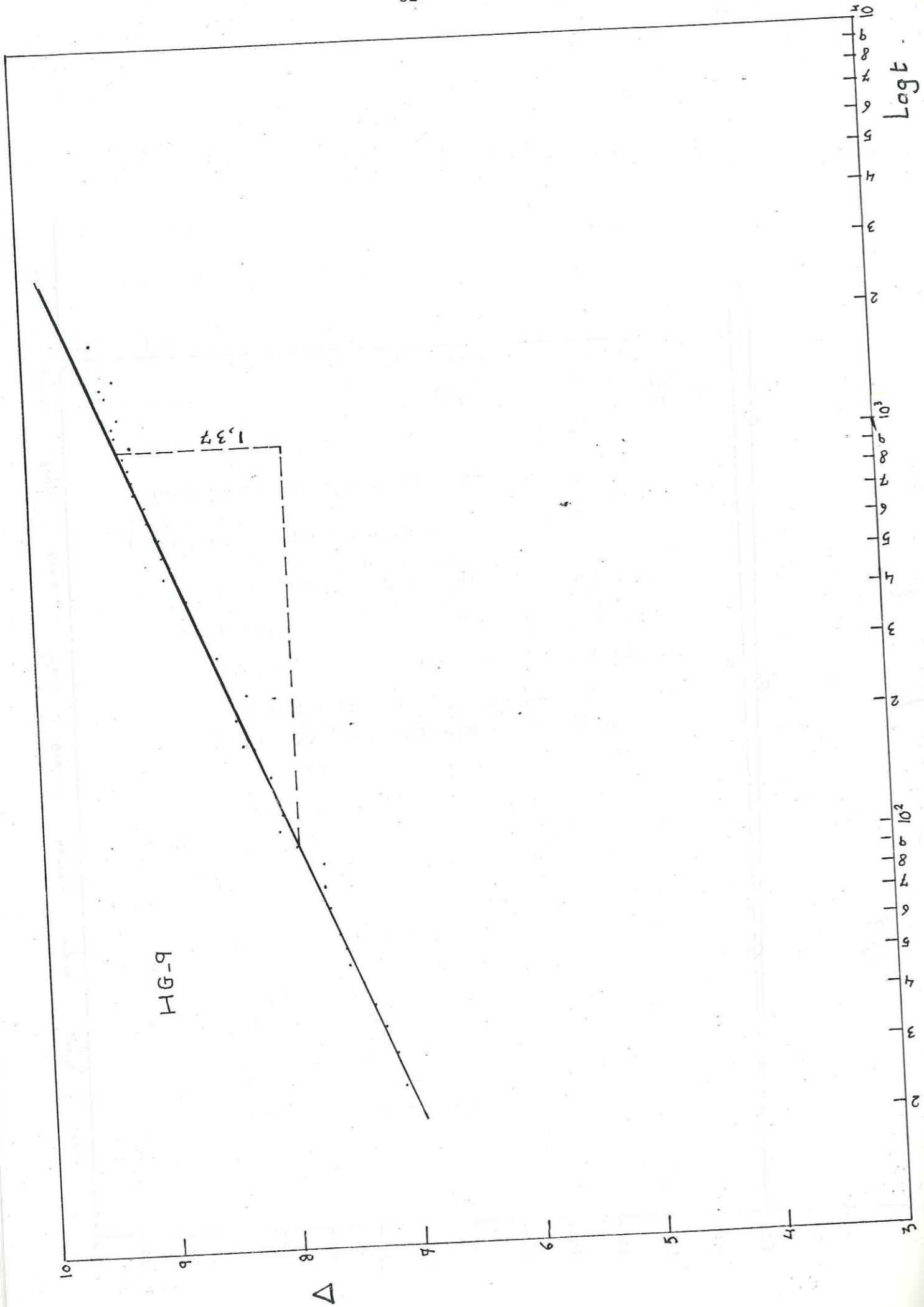
4) Courbe de remontée

$$C = 2,03$$

$$T = 0,183 \frac{Q}{C} = 0,183 \times 0,0222/2,03 = 0,002$$

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





Puits H H-1

Niveau statique = - 90,05 m

1) Essai par PaliersLa constante A = 490 - Contante B = $500 - 490/10^{-2} = 1000$ Approximation de la Transmissivité $T = \frac{1.6}{A} = \frac{1.6}{490} = 0,00326$

$$T = 3,26 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

2) Droite Rabattement-Logarithme du temps

$$Q = 0,0303 \quad C = 4,5$$

$$T = 0,183 \times 0,0303/4,5 = 0,00123$$

$$T = 1,23 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

Pour le point arbitraire A, $t = 100 \times 60 \text{ sec}$ $r = 15 \text{ m}$ si $\Delta = C \log 2,25 T t/S$; si $2,25 T t/S = x$ nous aurons

$$\log x = \Delta/C = 15/4,5 = 3,3333$$

$$x = 2154,0$$

$$x = 2154 = 2,25 \times 1,23 \times 10^{-3} \times 6 \times 10^3/S$$

$$2154 \times S = 16,605$$

$$S = 0,0077 = 0,77 \times 10^{-2}$$

$$S = 0,77\%$$

3) Courbe Standard $W(u) = 5$, $\frac{1}{u} = 10^3$ ($u = 10^{-3}$), $\Delta = 12,3$, $t = 160 \times 60 \text{ sec}$

$$T = Q W(u)/4 \pi r \Delta = 0,0303 \times 5/4 \times 3,14 \times 12,3 = 0,00098$$

$$T = 0,98 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

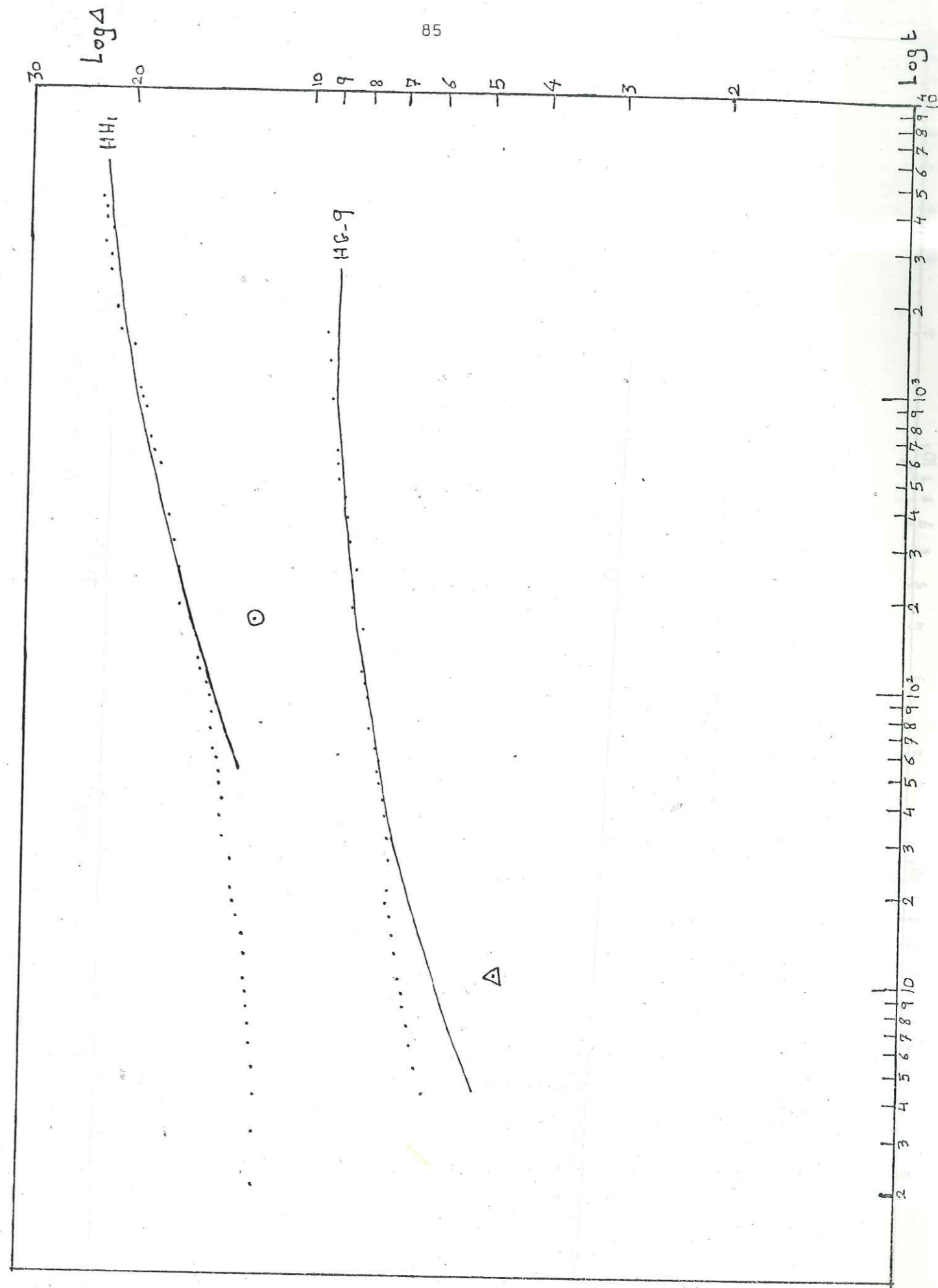
$$S = 4 T t u = 4 \times 0,98 \times 10^{-3} \times 160 \times 60 \times 10^{-3} = 0,0376 = 3,76 \times 10^{-2}$$

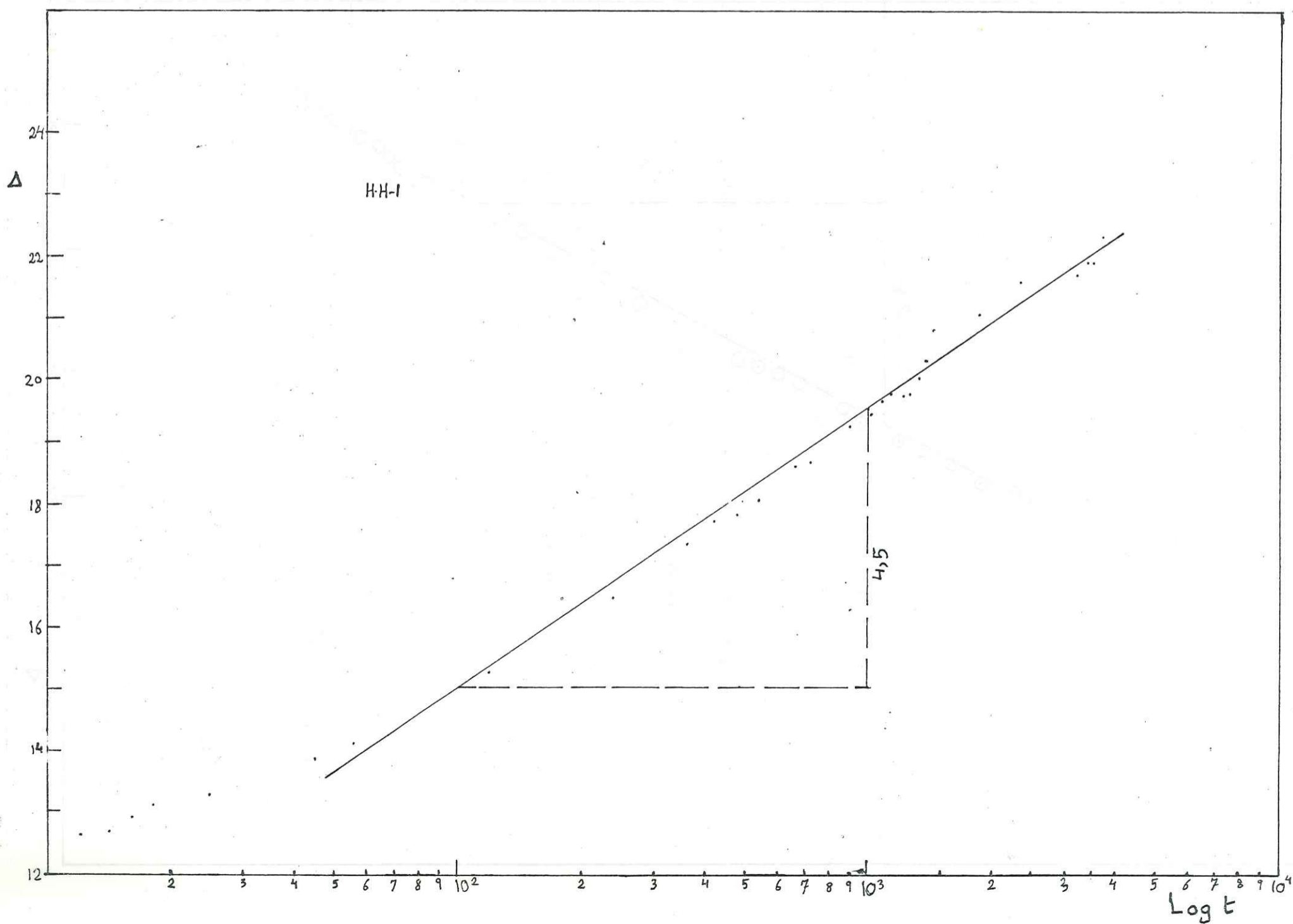
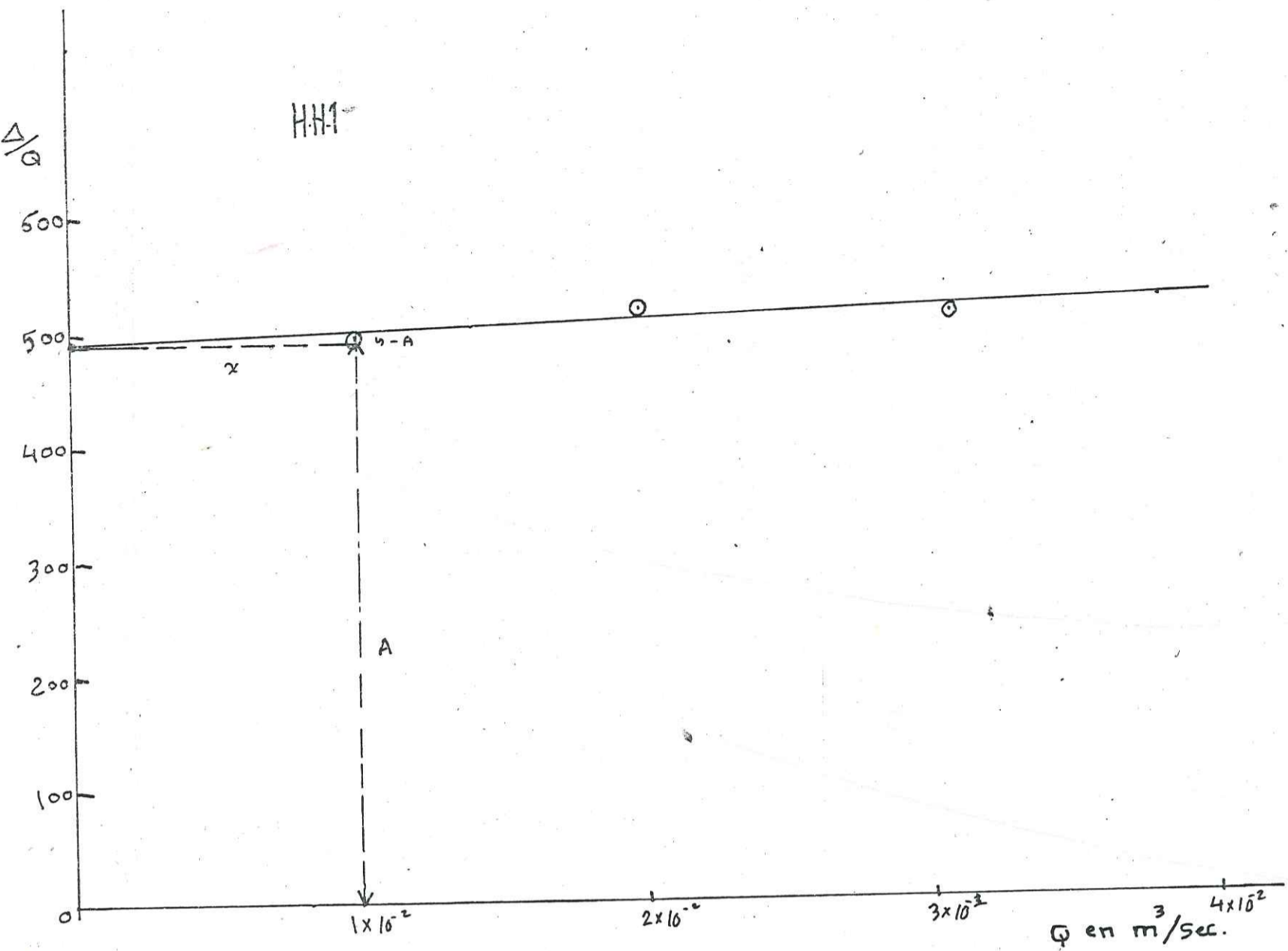
$$S = 3,76\%$$

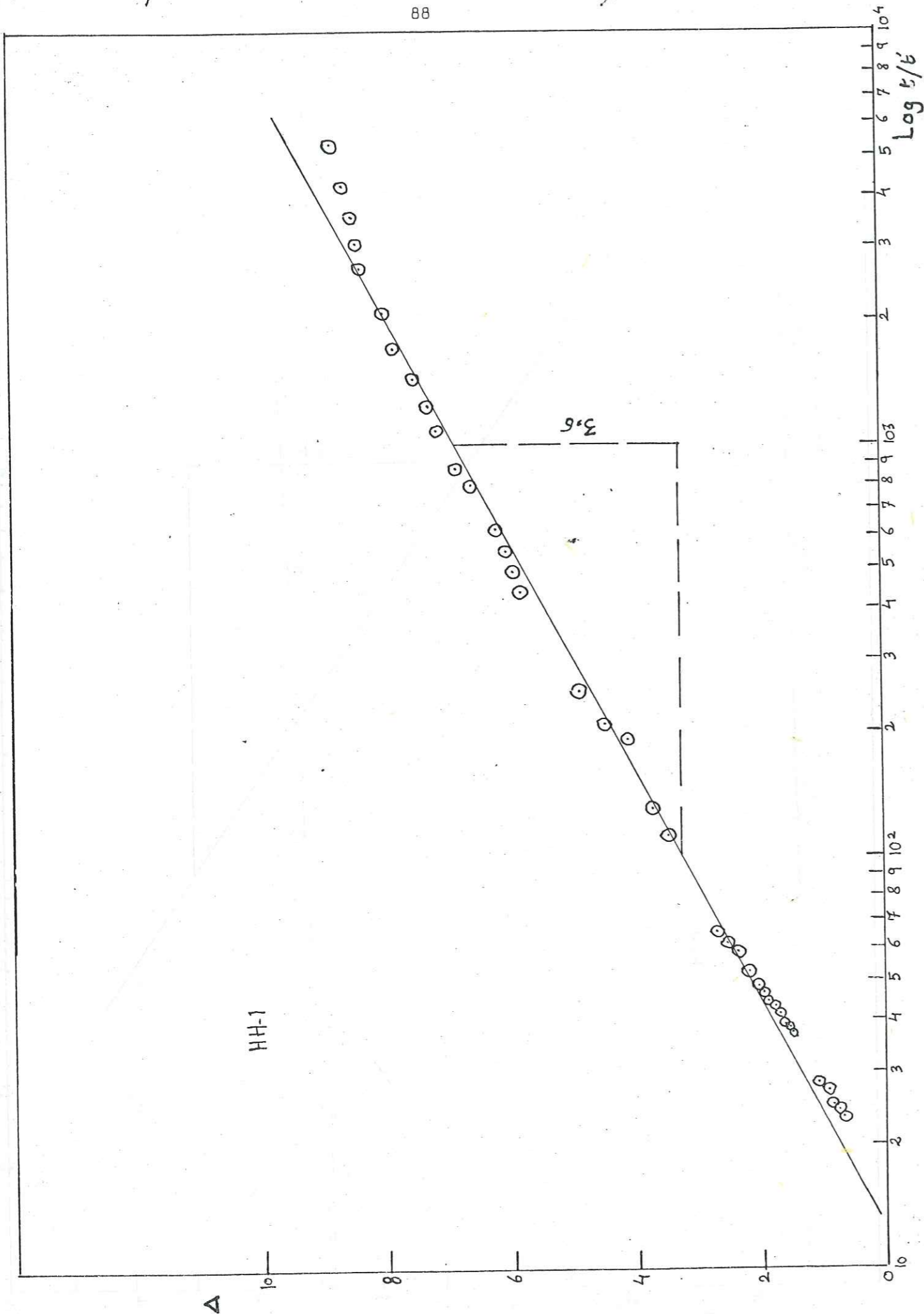
4) Courbe de Remontée

$$C = 3,6 \quad T = 0,183 \times 0,0303/3,6 = 0,00154$$

$$T = 1,54 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$







Puits HG-7

✱ Niveau statique = - 145,9

1) Essai par Paliers

Il est impossible d'interpréter les essais par Paliers sur ce puits car les résultats de l'essai n'étaient pas corrects.

2) Droite Rabattements-Logarithme du Temps

$$Q = 0,025 \text{ m}^3/\text{sec} \quad , \quad C = 2,07$$

$$\therefore T = 0,183 \times 0,025/2,07 = 0,0022$$

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

Pour le point arbitraire A, $t = 400 \times 60$ secondes $\Delta = 9,05$

$$\Delta = C \log 2,25 T t/S \quad , \quad \text{si } 2,25 T t/S = X, \text{ nous aurons}$$

$$\log x = \Delta/C = 9,05/2,07 = 4,3720$$

$$X = 23550$$

$$x = 23550 = 2,25 \times 2,2 \times 10^{-3} \times 24 \times 10^3 / S$$

$$23550 \times S = 118,8 \quad S = 0,005 = 0,5 \times 10^{-2}$$

$$\text{✱ } S = 0,5\%$$

3) Courbe Standard

$$W(u) = 5 \frac{1}{u} = 10^3 \quad (u = 10^{-3}) \quad , \quad \Delta = 5,25 \quad , \quad t = 31 \times 60 \text{ sec}$$

$$T = 0,025 \times 5/4 \times 3,14 \times 5,25 = 0,00189$$

$$\text{✱ } T = 1,89 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 4 T t u = 4 \times 1,89 \times 10^{-3} \times 31 \times 60 \times 10^{-3} = 0,0140616$$

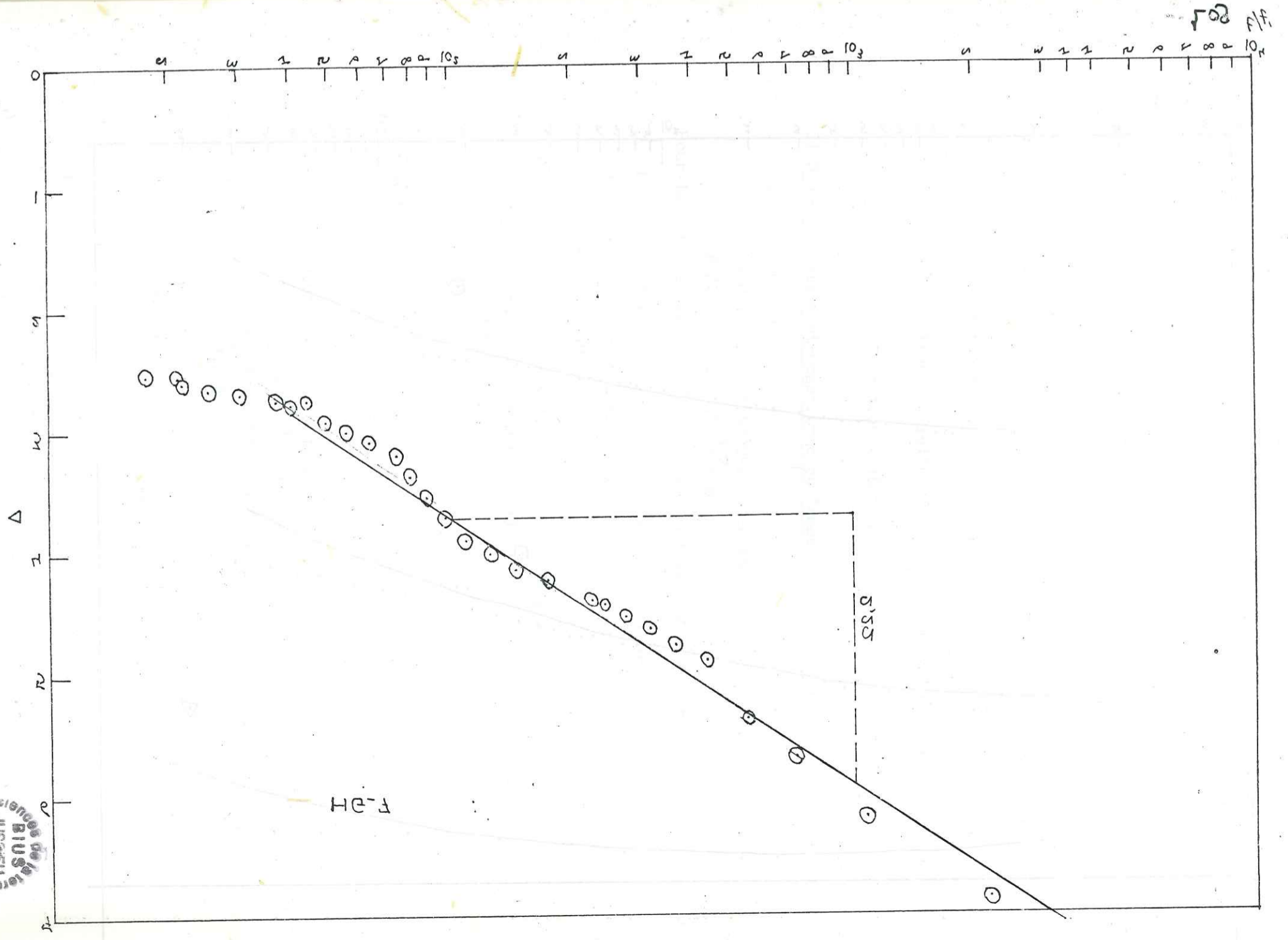
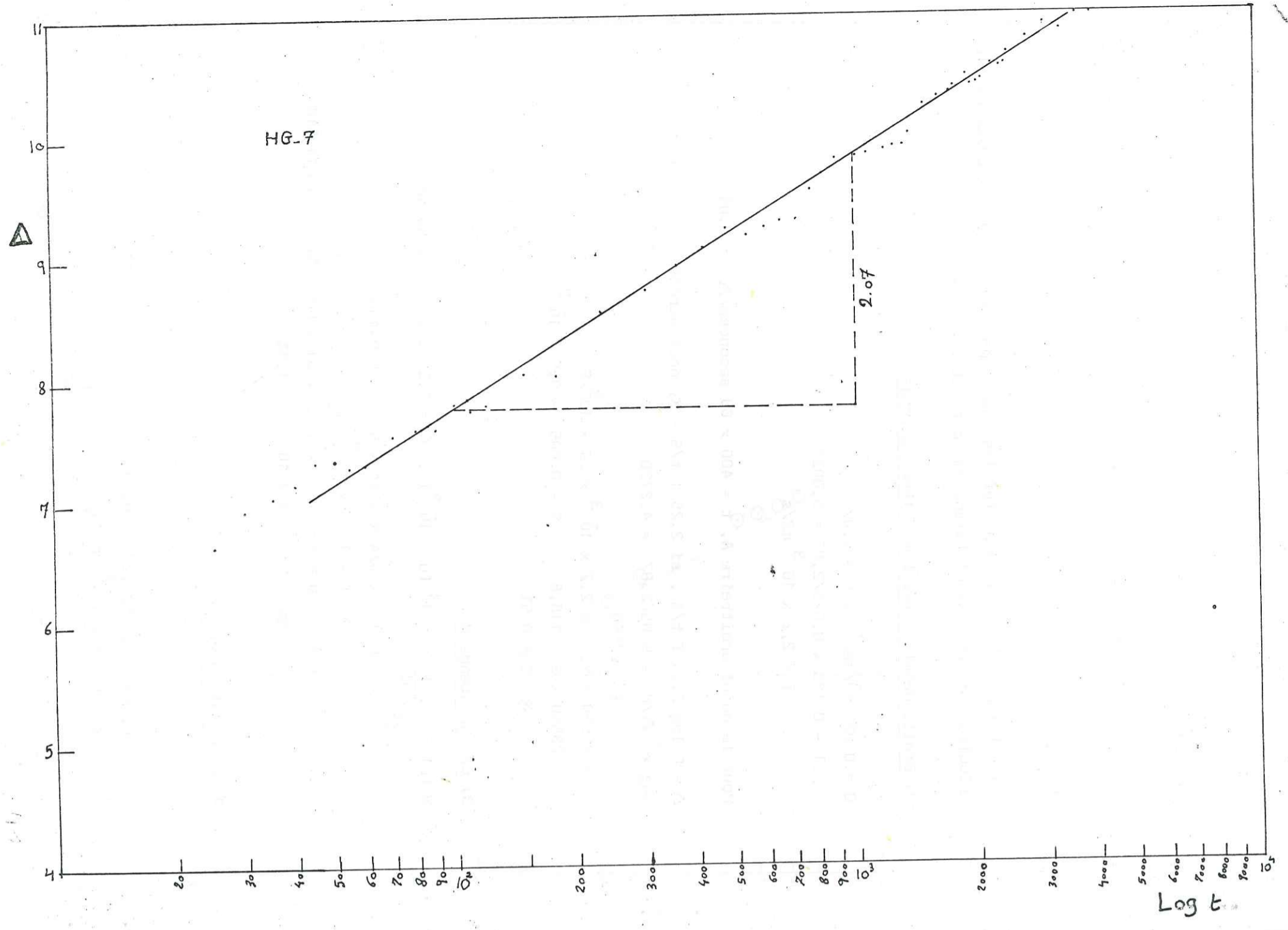
$$\text{✱ } S = 1,4 \times 10^{-2} = 1,4\%$$

4) Courbe de remontée

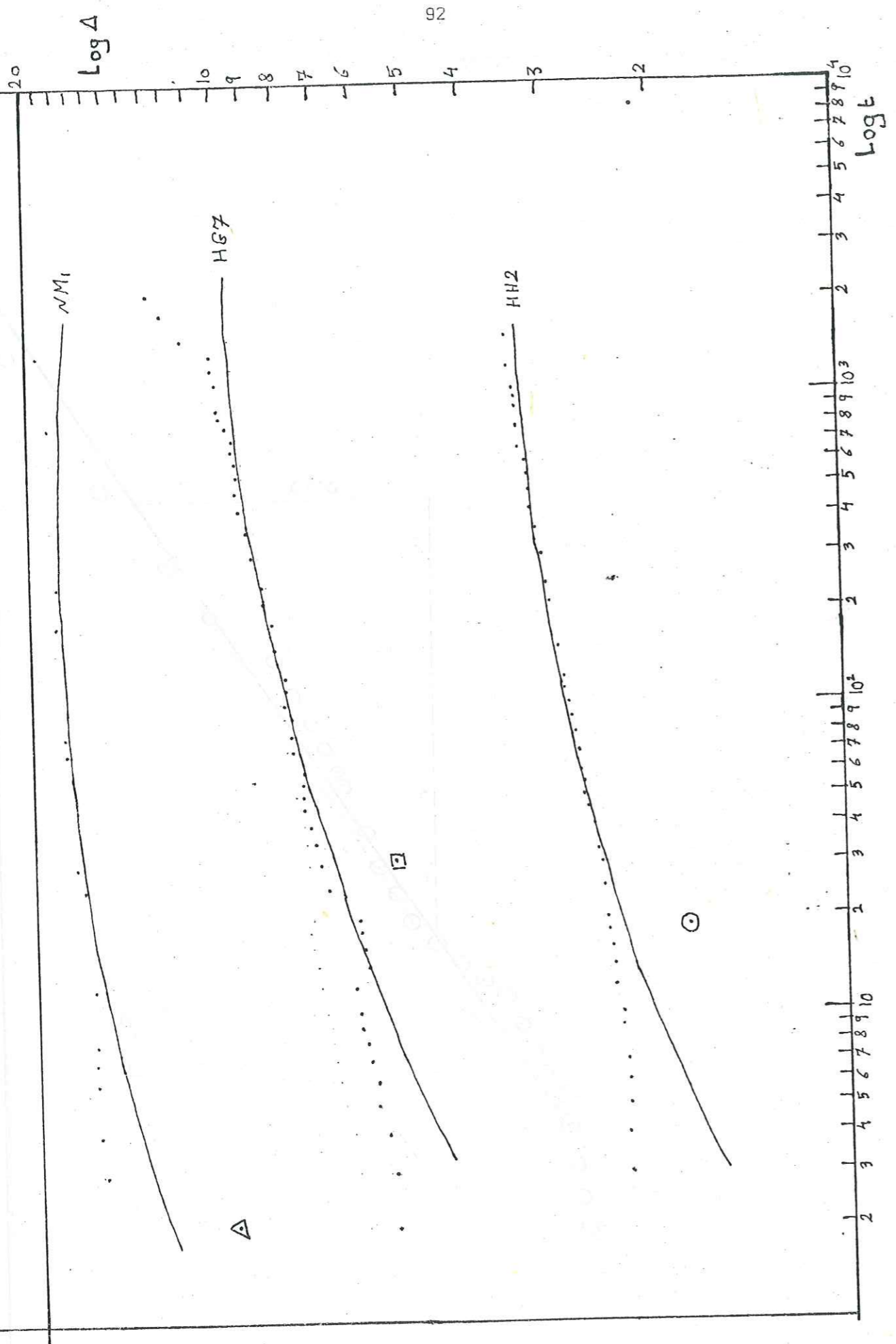
$$C = 2,2$$

$$T = 0,183 \times 0,025/2,22 = 0,002$$

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



BUREAU
 de la
 Justice
 CADIST



Puits HH-2

Niveau statique = - 115,25

1) Essai par Paliers

La constante A = 150 , Contante B = $\frac{220 - 150}{10^{-2}} = 7000$

Approximation de la transmissivité $T = \frac{1,6}{A} = 1,6/150 = 0,0106$

$$T = 1,06 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{S}$$

2) Droite Rabattement-Logarithme du Temps

Q = 0,0128 , C = 0,52

$$T = 0,183 \times 0,0128/0,52 = 0,0045$$

$$\therefore T = 4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

Pour le point arbitraire A , t = 800 x 60 sec , Δ = 3,25 m

Δ = C log 2,25 T t/S si 2,25 T t/S = x , nous aurons

$$\log x = \Delta/C = 3,25/0,52 = 6,25$$

$$x = 1778 \times 10^3$$

$$\therefore x = 1778 \times 10^3 = 2,25 \times 4,5 \times 48 \times S = 486 \times S$$

$$\therefore S = \frac{486 \times 10^2}{17780} = 0,027 \times 10^2$$

$$S = 0,027\%$$

3) Courbe Standard

W(u) = 5 $\frac{1}{u}$ = 10³ (u = 10³) , t = 19 x 60 sec , Δ = 1,8 m

$$T = 0,0128 \times 5/4 \times 3,14 \times 1,8 = 0,00283$$

$$T = 2,83 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{S}$$

$$S = 4 T t u = 4 \times 2,83 \times 10^{-3} \times 19 \times 60 \times 10^3 = 0,0129$$

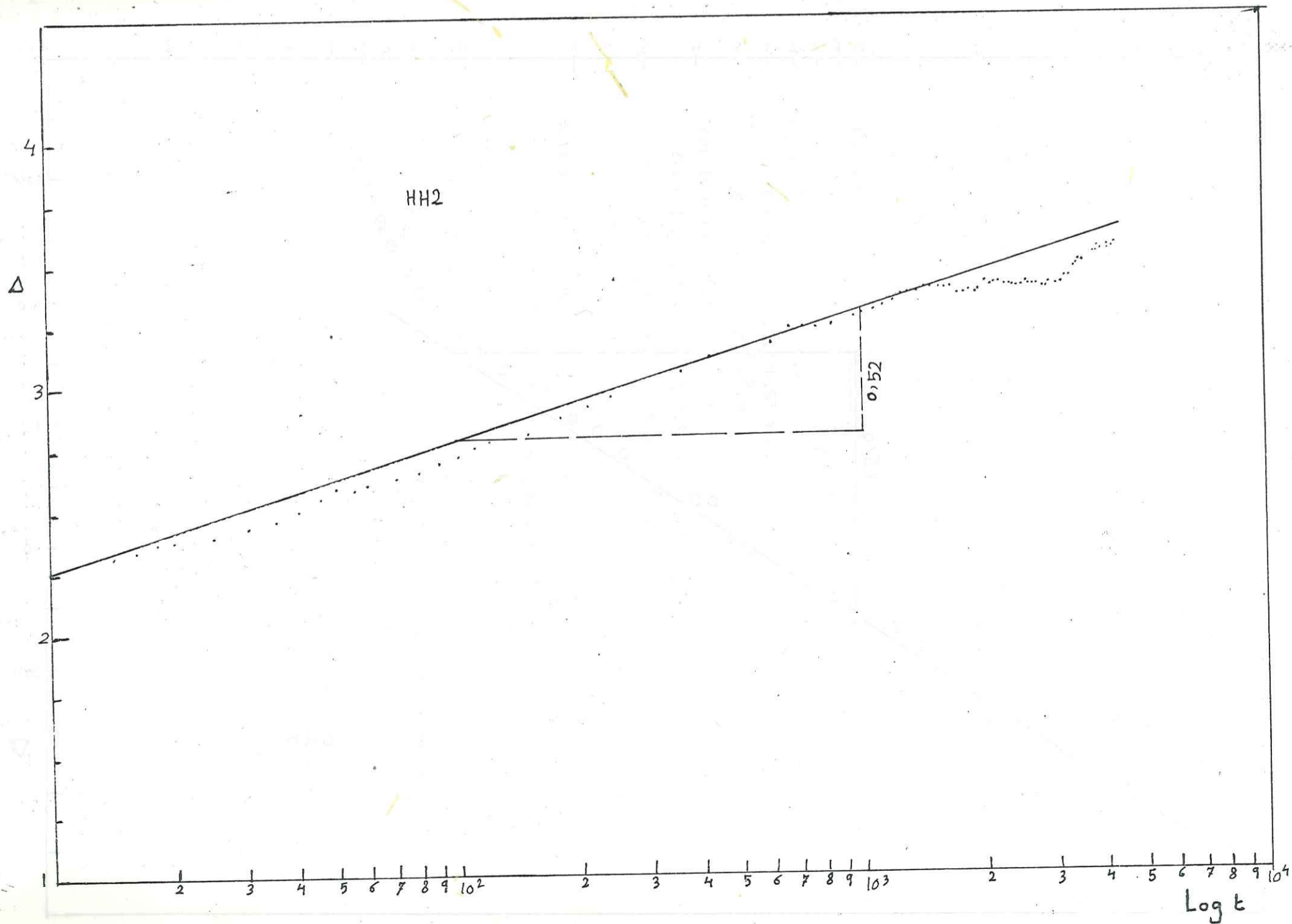
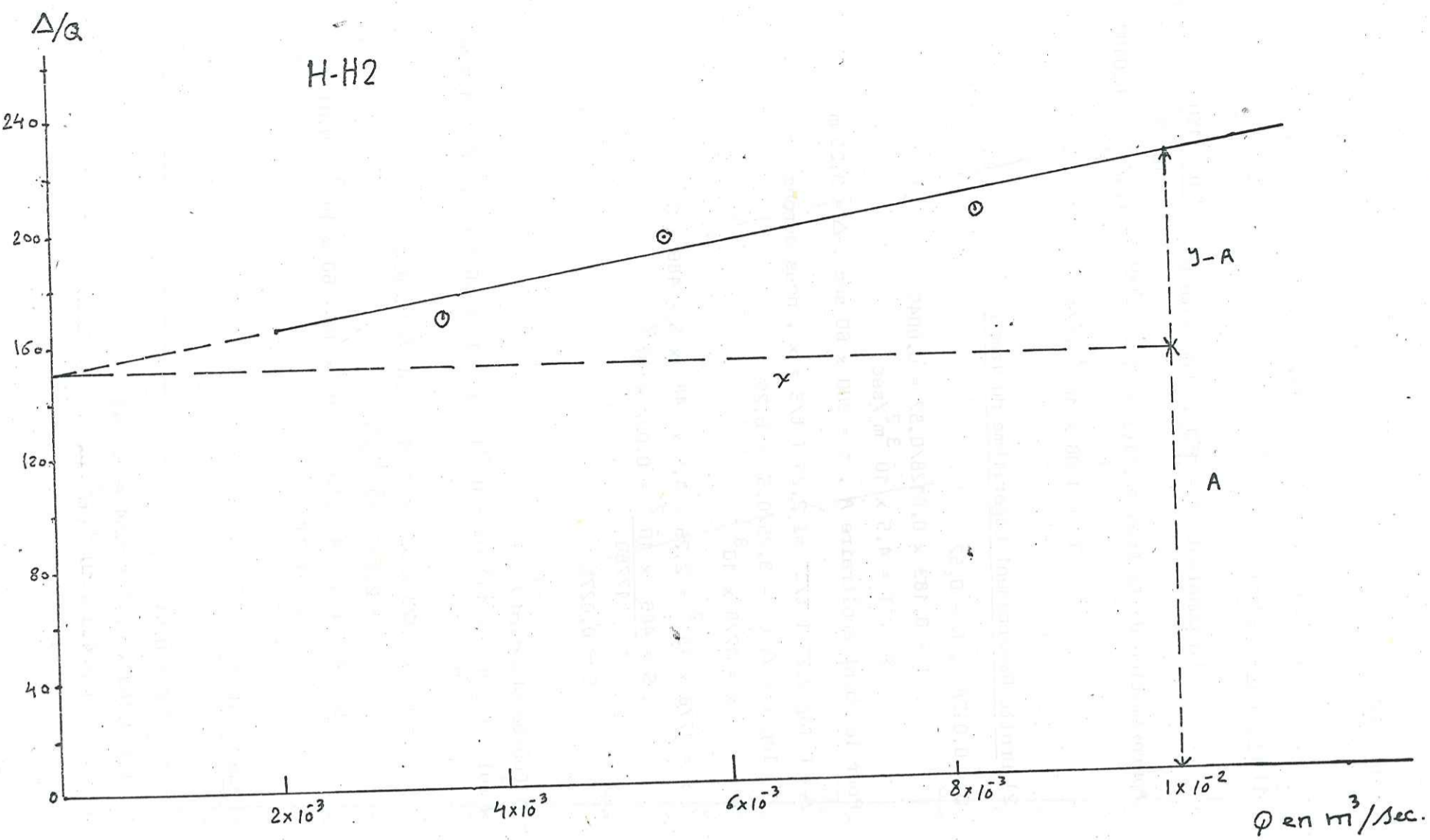
$$S = 1,29\%$$

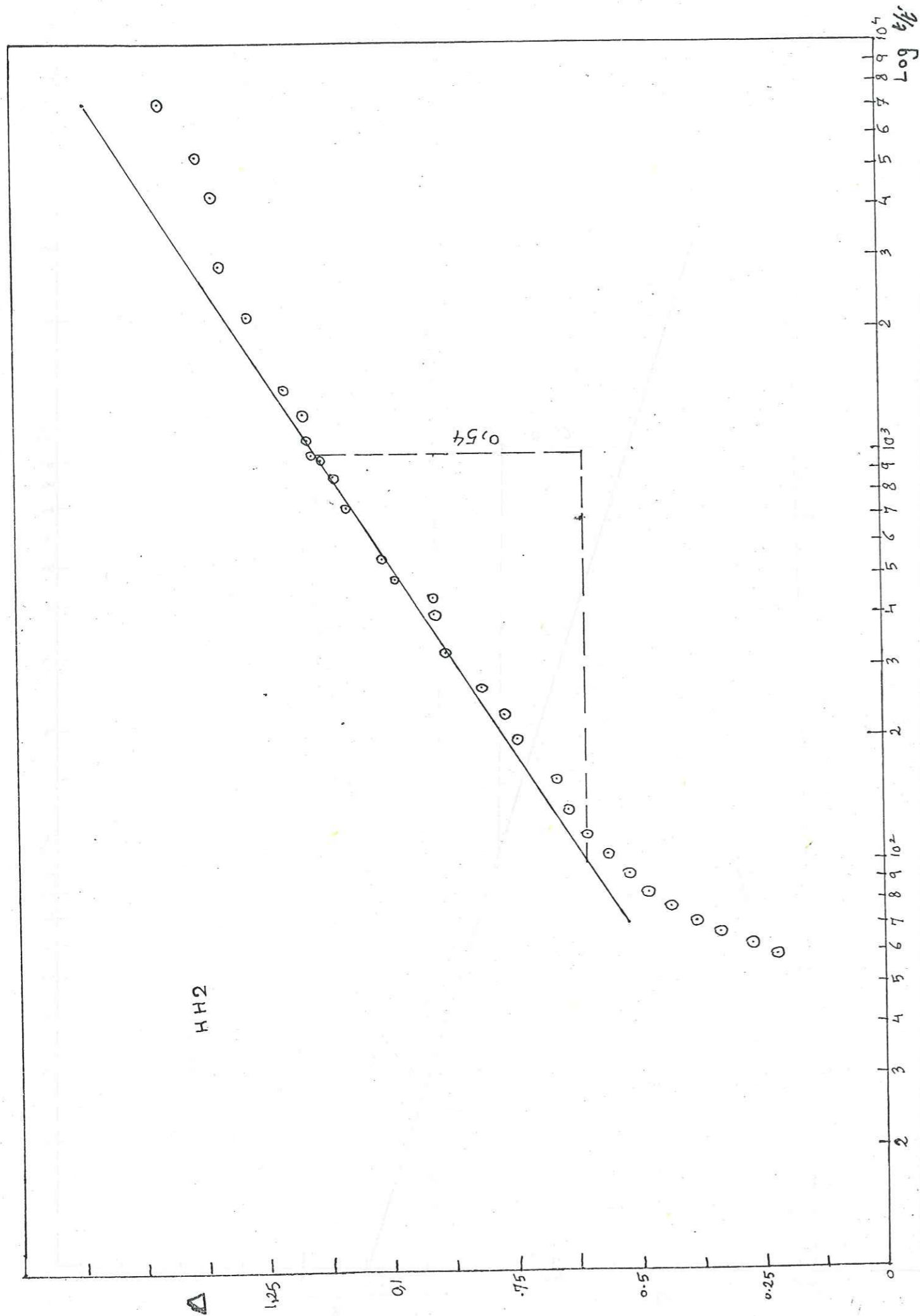
4) Courbe de Remontée

C = 0,54

$$T = 0,183 \times 0,0128/0,54 = 0,0043$$

$$T = 4,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ sec}$$





Puits FT-2

✱ Niveau statique = - 86,48 m

1) Essai par Paliers

✱ La constante $A = 670$, et Constante $B = 8500$
 Approximation de la transmissivité $T = \frac{1,6}{A} = \frac{1,6}{670} = 0,002388$

$$\text{✱ } T = 2,388 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{S}$$

2) Droite Rabattement-logarithme du Temps

$$Q = 0,011 \text{ m}^3/\text{sec}, C = 0,67$$

$$T = 0,183 \times 0,011/0,67 = 0,003$$

$$\text{✱ } T = 3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{S}$$

Pour le point arbitraire A, $t = 600 \times 60$ secondes $\Delta = 8$ mètres

$$\Delta = C \log 2,25 T t/S, \text{ si } 2,25 \times T t/S = x \text{ nous aurons}$$

$$8 = 0,67 \log x \quad \log x = 8/0,67 = 11,9403$$

$$x = 8716 \times 10^8$$

$$\text{mais } x = 8716 \times 10^8 = 2,25 \times 3 \times 36$$

$$S = \frac{243}{8716} \times 10^8 = 0,0278 \times 10^8$$

3) Courbe Standard

$W(u) = 5$, $1/u = 10^3$ ($u = 10^{-3}$), $\Delta = 4,1$ m, $t = 2,6 \times 60$ secondes

$$T = Q W(u)/4T\Delta = 5 \times 0,011/4 \times 3,14 \times 4,1 = 0,00107$$

$$\text{✱ } T = 1,07 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$S = 4 T t u = 4 \times 1,07 \times 10^{-3} \times 10^3 \times 2,6 \times 60 = 0,000667$$

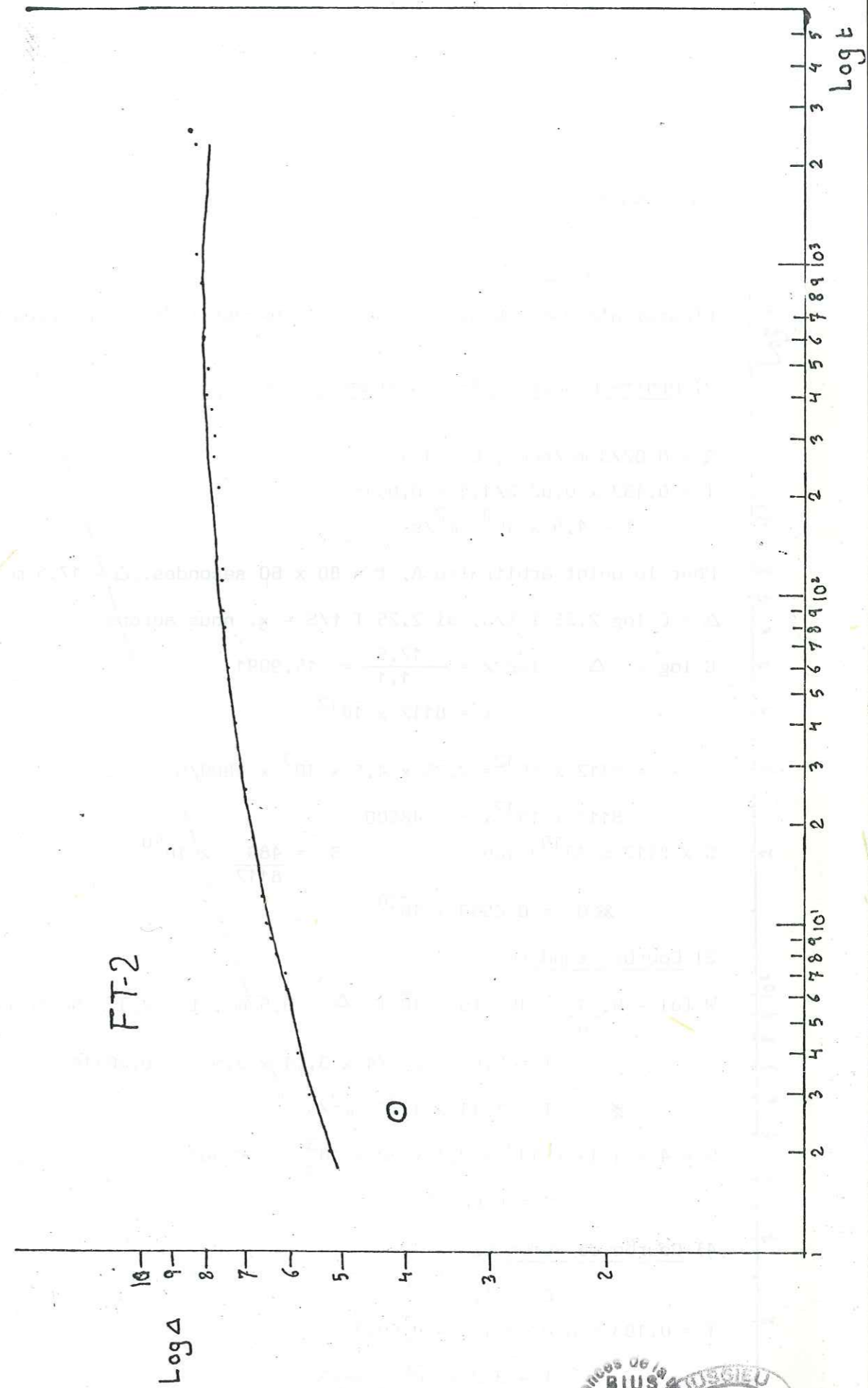
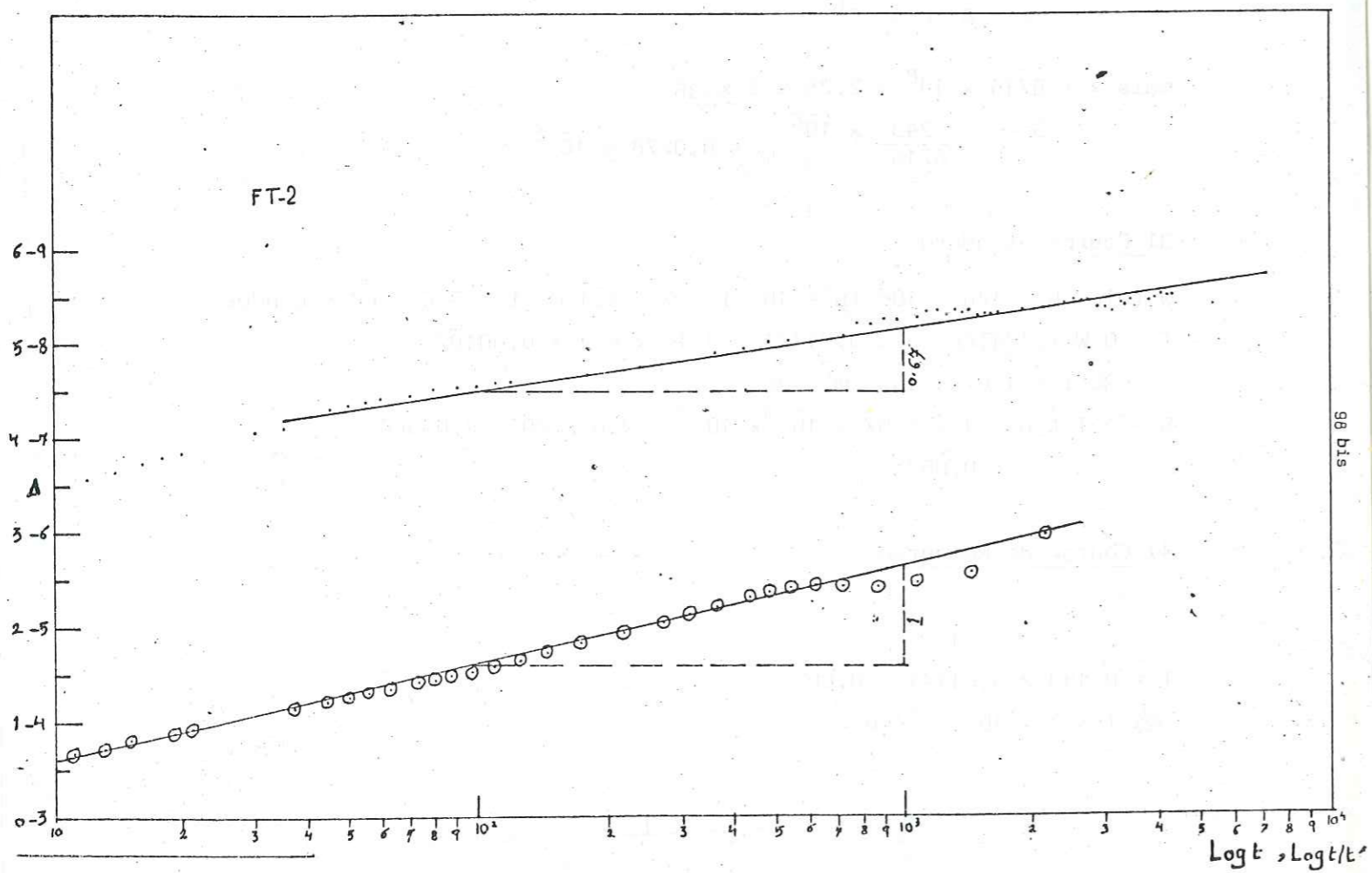
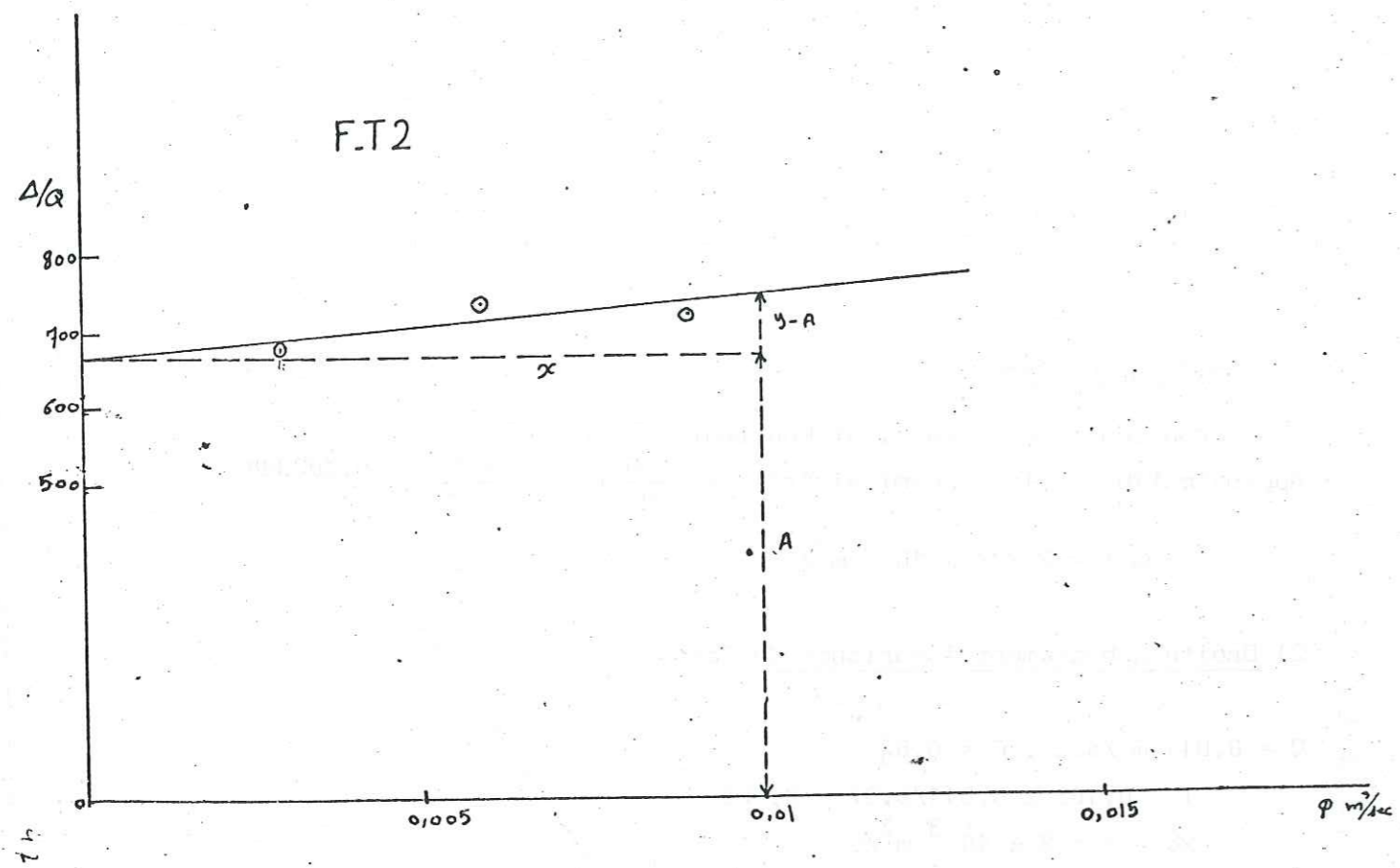
$$S = 0,067\%$$

4) Courbe de Remontée

$$C = 1$$

$$T = 0,183 \times 0,011/1 = 0,002$$

$$\text{✱ } T = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$



Puits NM-11) Essai par Paliers

L'essai n'a pas réussi à cause de l'inexactitude des mesures de débits

2) Droite Rabattement-Logarithme du Temps

$$Q = 0,0273 \text{ m}^3/\text{sec}, C = 1,1$$

$$T = 0,183 \times 0,0273/1,1 = 0,0045$$

$$T = 4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Pour le point arbitraire A, $t = 80 \times 60$ secondes, $\Delta = 17,5 \text{ m}$

$\Delta = C \log 2,25 T t/S$, si $2,25 T t/S = x$, nous aurons

$$C \log x = \Delta \quad \log x = \frac{17,5}{1,1} = 15,9091$$

$$x = 8112 \times 10^{12}$$

$$x = 8112 \times 10^{12} = 2,25 \times 4,5 \times 10^{-3} \times 4800/S$$

$$8112 \times 10^{12} \times S = 48600$$

$$S \times 8112 \times 10^{10} = 486$$

$$S = \frac{486}{8112} \times 10^{-10}$$

$$\ast Q = 0,0599 \times 10^{-10}$$

3) Courbe Standard

$$W(u) = 5, \frac{1}{u} = 10^3 \quad (u = 10^{-3}) \quad \Delta = 9,5 \text{ m}, t = 2,1 \times 60 \text{ secondes}$$

$$T = 0,0273 \times 5/4 \times 3,14 \times 9,5 = 0,00114$$

$$\ast T = 1,14 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 4 \times 1,14 \times 10^{-3} \times 2,1 \times 60 \times 10^{-3} = 0,00057$$

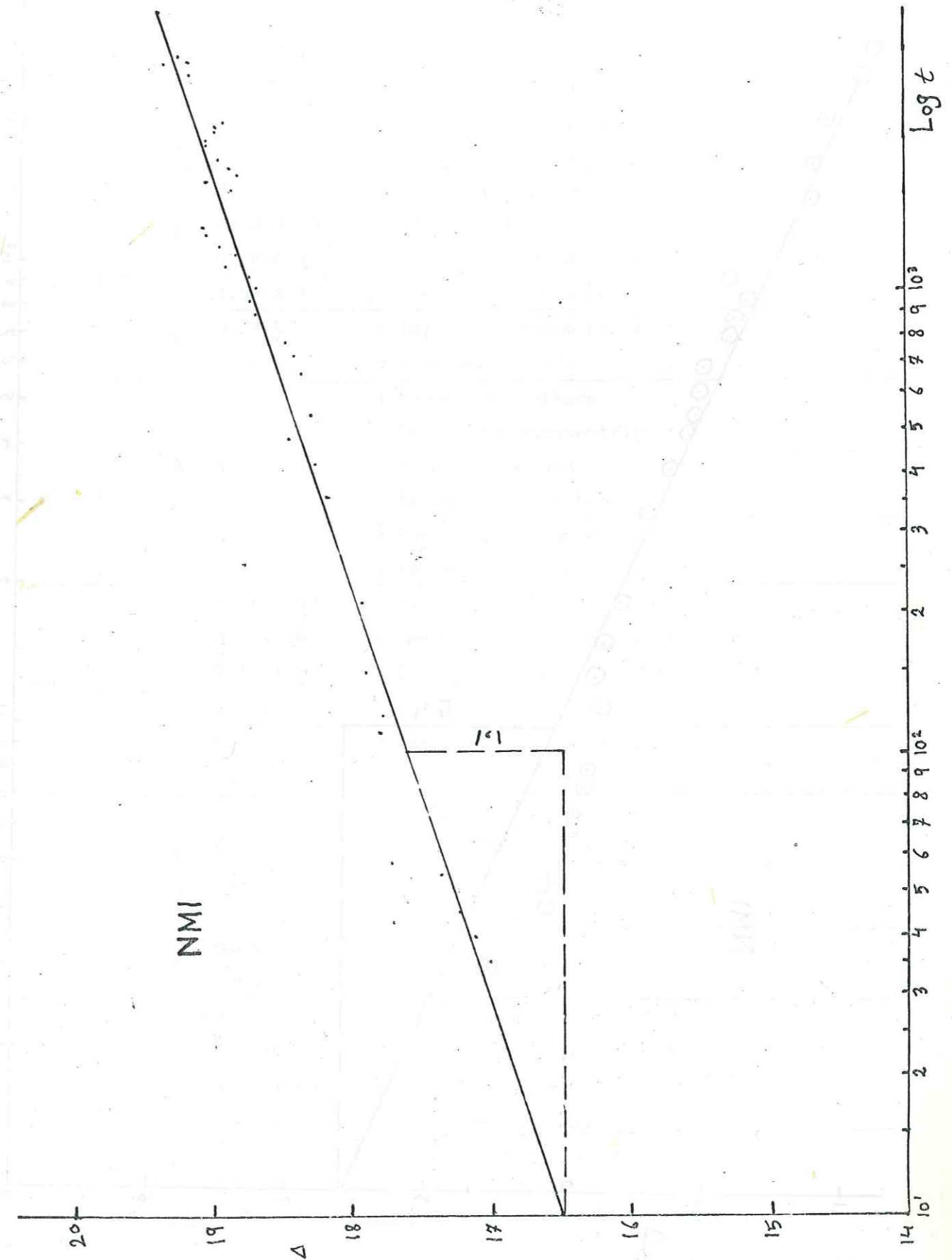
$$S = 0,0057\%$$

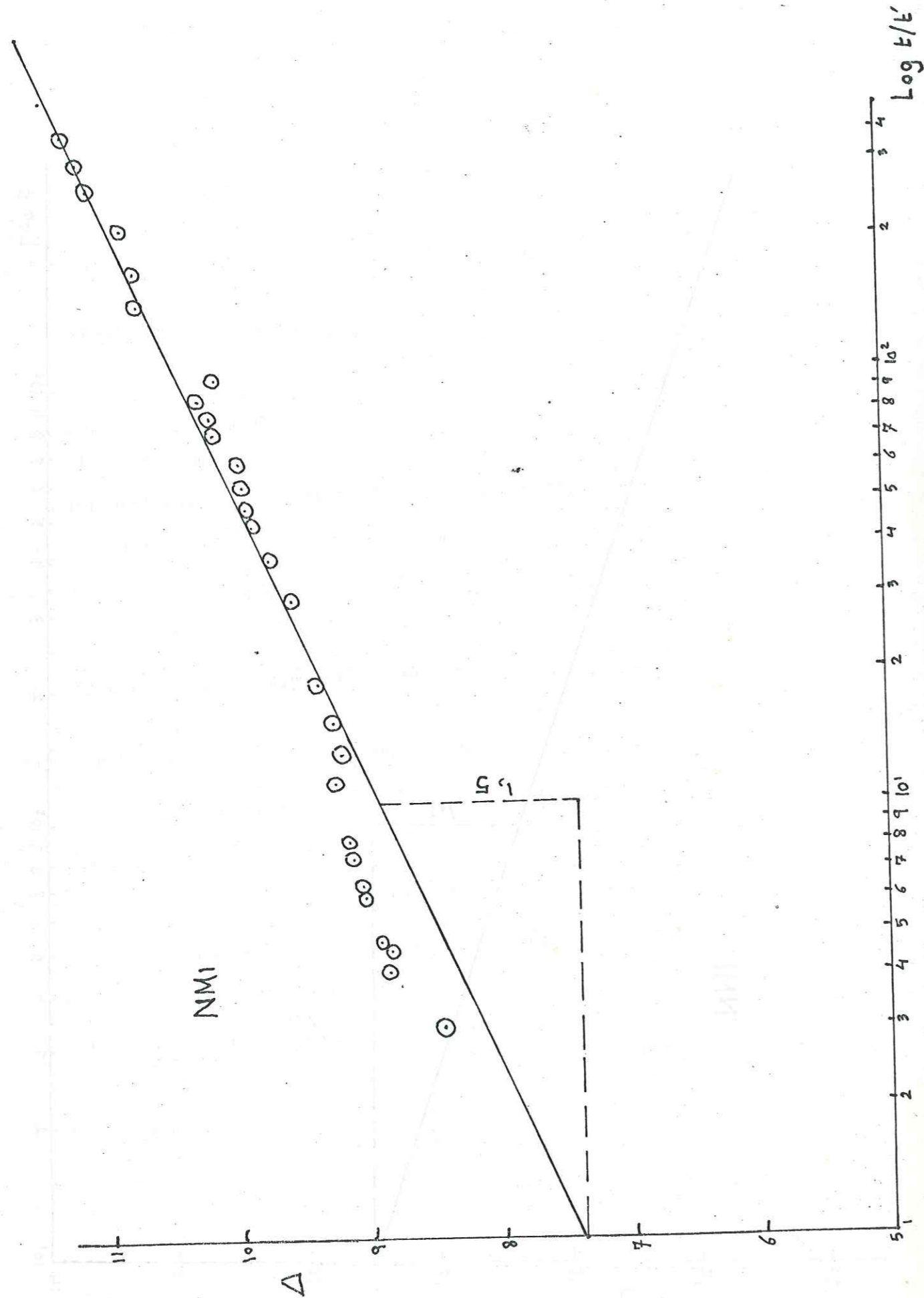
4) Courbe de Remontée

$$C = 1,5$$

$$T = 0,183 \times 0,0273/1,5 = 0,0033$$

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





RECAPITULATION DES ESSAIS DE POMPAGE

| | | | |
|--------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| HG - 9 | T | $5,67 \times 10^{-3}$ | : Essai par paliers |
| | | $2,96 \times 10^{-3}$ | : Droite Rabattement/ lg t |
| | | $1,84 \times 10^{-3}$ | : Courbe Standard |
| | | 2×10^{-3} | : Courbe de Remontée |
| S | 0,006 % | : Droite Rabattement/ lg t | |
| | 0,46 % | : Courbe Standard | |
| HH - 1 | T | $3,26 \times 10^{-3}$ | : Essai par paliers |
| | | $1,23 \times 10^{-3}$ | : Droite Rabattement /lg t |
| | | $0,98 \times 10^{-3}$ | : Courbe Standard |
| | | $1,54 \times 10^{-3}$ | : Courbe de Remontée |
| S | 0,77 % | : Droite Rabattement/ lg t | |
| | 3,76 % | : Courbe Standard | |
| HG - 7 | T | $2,2 \times 10^{-3}$ | : Essai par paliers |
| | | $1,89 \times 10^{-3}$ | : Droite Rabattement/ lg t |
| | | 2×10^{-3} | : Courbe Standard |
| | | 2×10^{-3} | : Courbe de Remontée |
| S | 0,5 % | : Droite Rabattement/ lg t | |
| | 1,4 % | : Courbe Standard | |
| HH - 2 | T | $1,06 \times 10^{-2}$ | : Essai par paliers |
| | | $4,5 \times 10^{-3}$ | : Droite Rabattement/ lg t |
| | | $2,83 \times 10^{-3}$ | : Courbe Standard |
| | | $4,3 \times 10^{-3}$ | : Courbe De Remontée |
| S | 0,027 % | : Droite Rabattement/ lg t | |
| | 1,29 % | : Courbe Standard | |
| NM - 1 | T | $4,5 \times 10^{-3}$ | : Essai par paliers |
| | | $1,14 \times 10^{-3}$ | : Droite Rabattement/ lg t |
| | | $3,3 \times 10^{-3}$ | : Courbe Standard |
| | | $3,3 \times 10^{-3}$ | : Courbe de remontée |
| S | $0,0599 \times 10^{-10}$ | : Droite Rabattement /lg t | |
| | 0,0057% | : Courbe Standard | |
| FT - 2 | T | $2,388 \times 10^{-3}$ | : Essai par paliers |
| | | 3×10^{-3} | : Droite Rabattement/ lg t |
| | | $1,07 \times 10^{-3}$ | : Courbe Standard |
| | | 2×10^{-3} | : Courbe de Remontée |
| S | $0,0278 \times 10^{-8}$ | : Droite Rabattement/ lg t | |
| | 0,067% | : Courbe Standard | |

INTERPRETATION DES MESURES GEOPHYSIQUES DANS LE SONDAGE HG 1

| Intervalle en pieds | épaisseur | | Diagramme Microlog | diagramme de rayon Gamma | microdiamétrage (diamètre de trou 8 3/4") | Situation des diagrammes de résistivité | qualification de la zone |
|---------------------|-----------|-----------|--|---------------------------------|---|---|------------------------------|
| | en pieds | en mètres | | | | | |
| 710-790 | 80 | 24.38 | tendance générale à forte déviation des 2 diagrammes | relativement forte déviation | 10 " | Non-favorable | impermeable ou peu perméable |
| 790-802 | 12 | 3.66 | m. normal à gauche du m. inverse | déviaton moyenne | 8 " 1/3 | non-favorable | perméable |
| 802-820 | 18 | 5.48 | les deux diagrammes en coïncidence | forte déviation | 10 " 1/3 | non-favorable | impermeable |
| 820-876 | 56 | 17.1 | m. normal à gauche de m. inverse | faible déflexion | 8 " | très favorable | perméable |
| 876-910 | 34 | 10.36 | les deux diagrammes en coïncidence | forte déviation | 10 " | non-favorable | impermeable |
| 910-934 | 24 | 7.3 | m. normal à gauche de m. inverse | faible déviation | 8 " | non-favorable | perméable |
| 934-966 | 32 | 9.75 | les deux diagrammes en coïncidence | forte déviation pour la plupart | 10 " 2/3 | non-favorable | impermeable |
| 966-1078 | 112 | 34.1 | m. normal à gauche de m. inverse | très faible déviation | " 8 | très favorable | perméable |
| 1078-1086 | 8 | 2.44 | m. normal à droite de m. inverse | forte déviation | 9 " 1/3 | non-favorable | impermeable |
| 1086-1126 | 40 | 12.2 | m. normal à gauche de m. inverse | faible déviation | 8 " 1/3 | très favorable | perméable |
| 1126-1136 | 10 | 3 | les deux diagrammes en coïncidence | forte déviation | 9 " 1/3 | non-favorable | impermeable |
| 1136-1166 | 30 | 9.1 | m. normal à gauche de m. inverse | faible déviation | 8 " 1/3 | favorable | perméable |
| 1166-1210 | 44 | 13.4 | forte déviation des deux diagrammes | forte déviation | 9 " | non-favorable | impermeable |

EPAISSEUR TOTALE = 152.4 mètres
 EPAISSEUR UTILE = 83,5 mètres
 (PERMEABLE)

INTERPRETATION DES MESURES GEOPHYSIQUES DANS LE SONDAGE HG 2

| Intervalle en pieds | épaisseur | | Diagramme Microlog | diagramme de rayon Gamma | microdiamétrage (diamètre de trou 8 3/4") | Situation des diagrammes de résistivité | qualification de la zone |
|---------------------|-----------|-------|---|-----------------------------|---|---|--------------------------|
| | EN PIEDS | EN M | | | | | |
| 410-492 | 82 | 25 | Coïncidence ou forte déviation des 2 diagrammes | tendance de forte déviation | 13 " 1/2 | non-favorable | impermeable |
| 492-518 | 26 | 8 | m. normal à gauche de m. inverse | tendance à faible déviation | " 8 1/4 | non-favorable | perméable |
| 518-540 | 22 | 6,7 | les deux diagrammes en coïncidence | forte déviation | 11 " 3/4 | non-favorable | impermeable |
| 540-704 | 164 | 50 | m. normal à gauche de m. inverse | faible déviation | 8 " | très favorable | perméable |
| 704-720 | 16 | 4,87 | les deux diagrammes en coïncidence | forte déviation | 10 " | non-favorable | impermeable |
| 720-830 | 110 | 33,5 | m. normal à gauche de m. inverse | faible déviation | 8 " | très favorable | perméable |
| 830-856 | 26 | 8 | les deux diagrammes en coïncidence | forte déviation | 11 " 1/4 | très favorable | perméable |
| 856-936 | 80 | 24,38 | m. normal à gauche de m. inverse | faible déviation | 8 " | très favorable | perméable |
| 936-941 | 5 | 1,5 | les deux diagrammes en coïncidence | tendance de forte déviation | 9 " | non-favorable | impermeable |
| 941-954 | 13 | 3,96 | m. normal à droite de m. inverse | faible déviation | 8 " 1/3 | favorable | perméable |
| 954-990 | 36 | 10,97 | forte ou coïncidence de deux diagrammes | très forte déviation | 10 " 1/3 | non-favorable | impermeable |

EPAISSEUR TOTALE = 176,78 m.
 EPAISSEUR UTILE (perméable) = 119,8 m.

CONCLUSION SUR LES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE LA
FORMATION BU SHYBA

On observe à partir de tous les résultats obtenus que les essais de pompage par Paliers ont toujours tendance à donner des valeurs de transmissivité plus grandes que celles des autres essais, pour la plupart des puits. Il sera probablement illusoire d'attendre des résultats plus précis car, cette méthode est essentiellement approximative.

Cependant, si nous prenons en considération la moyenne des résultats de toutes les méthodes de calcul de transmissivités, sauf celle d'essai de pompage par Paliers, nous obtiendrons une transmissivité moyenne de l'ordre de $2,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ représentative de l'ensemble de la formation aquifère de Bu Shyba dans notre région

$$\underline{T = 2,4 \times 10^{-3}}$$

D'autre part, les coefficients d'emmagasinement, calculés à partir des droites rabattement : logarithme du temps, montrent parfois des valeurs qui ne nous semblent pas correspondre à la réalité (surtout aux forages FT2 et NM1), alors que la méthode de la courbe standard donne des valeurs plus logiques pour un grès sableux d'une nappe semi-captive.

Le coefficient d'emmagasinement moyen de tous les chiffres obtenus par la méthode de la courbe standard est de l'ordre de 1,2%. Pour l'ensemble de la formation aquifère Bu Shyba dans le bassin de Wadi Ghan, nous acceptons donc, une valeur moyenne de

$$\underline{S = 1,2\%}$$

Perméabilité :

Nous avons pu par l'utilisation des carottages géophysiques, distinguer les zones perméables et les zones imperméables, dans les puits HG1 et HG2.

Cette distinction nous a permis de calculer l'épaisseur utile (perméable), par rapport à l'épaisseur totale. Les résultats ont été les suivants :

$$\text{HG-1 épaisseur utile} = 83,5 \text{ (épaisseur totale} = 152,4 \text{ m)}$$

$$\text{HG-2 épaisseur utile} = 119,8 \text{ m (épaisseur totale} 176,78 \text{ m)}$$

Si nous prenons la moyenne de l'épaisseur utile de ces deux puits et si nous la considérons comme représentative de l'ensemble des grès de Bu Shyba, nous allons pouvoir calculer la moyenne du coefficient de perméabilité de cet aquifère dans le bassin de Wadi Ghan.

$$\text{La moyenne de l'épaisseur utile est donc } (e) = \frac{119,8 + 83,5}{2} = 101,65 \text{ m}$$

et si nous admettons une moyenne de transmissivité T de l'ordre de $2,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ qui est aussi égale à l'épaisseur utile e x coefficient de perméabilité K

$$T = k \times e$$

$$2,4 \times 10^{-3} = k \times 101,65$$

$$k = 2,4 \times 10^{-3} / 101,65 = 0,0000236 \text{ m/sec}$$

$$\underline{\text{Coefficient de perméabilité } k = 2,36 \times 10^{-5} \text{ m/sec}}$$

LA FORMATION AZIZIA

La formation AZIZIA a été pour la première fois reconnue comme un aquifère potentiel dans la plaine de la Jefara, après l'étude de reconnaissance entreprise par le groupement d'étude français en Libye en faveur de G.W.A. (1973). Cependant les caractéristiques hydrogéologiques de cette formation ne sont pas encore bien établies dans la région de Gharian en raison du fait que :

- le niveau de l'AZIZIA est relativement profond
- et que les grès de Bu Shyba qui sont moins profonds représentent un bon aquifère suffisant pour l'exploitation actuelle.

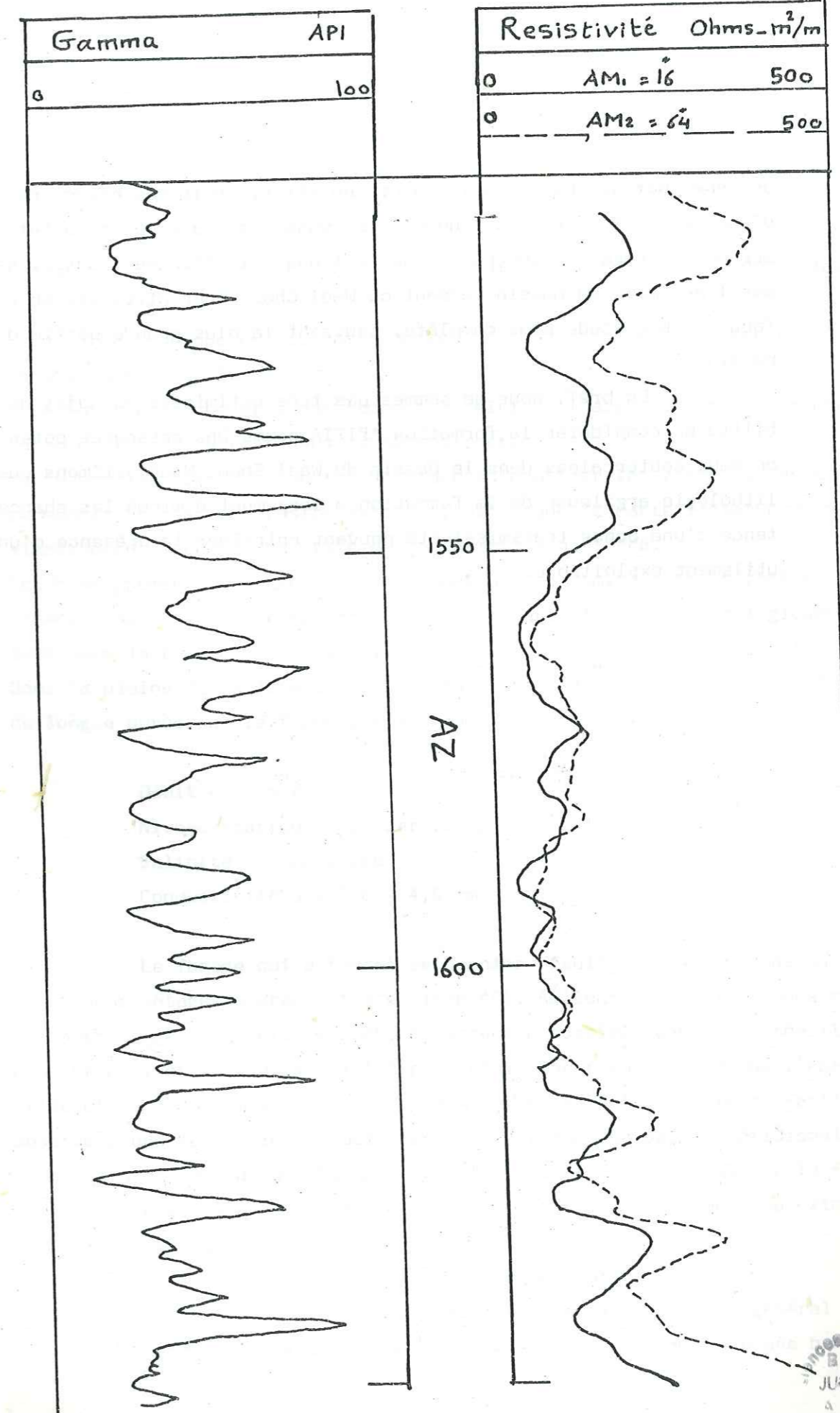
La lithologie des calcaires en général doit être favorable à l'existence d'une bonne porosité et d'une perméabilité satisfaisante du fait de la dolomitisation et de l'activité tectonique qui ont entraîné le développement de fractures élargies par dissolution.

En conséquence une bonne productivité de cette formation a été constatée particulièrement autour de l'AZIZIA dans la plaine de la Jefara (40 km Nord de Gharian). Au Sud de la Jefara, nous ferons les remarques suivantes concernant quelques forages et leurs productivités.

- A 1 km au Sud d'AZIZIA, le puits O.P.D.L. 22, a donné le débit de $360 \text{ m}^3/\text{hr}$ en 1938. Le débit actuel est inférieur à $100 \text{ m}^3/\text{hr}$
- A 8 kms au Sud d'AZIZIA, le puits de Hira 1 donne le débit de $72 \text{ m}^3/\text{hr}$, avec un rabattement d'un mètre.
- A 18 kms au Sud d'AZIZIA, un puits donne le débit de $+ 40 \text{ m}^3/\text{hr}$

Ces observations montrent que le débit de la formation AZIZIA décroît vers le Sud. Cette décroissance signifie que plus on se rapproche de Jebel, moins sera bonne la productivité. Ceci peut évidemment être attribué au passage des faciès calcaires de la formation aux faciès argileux, et par conséquent la transmissivité décroît dans la même direction. La continuation de cette variation de faciès est souvent très nette dans les affleurements de la formation autour de Gharian. En ce qui concerne le bassin du Wadi Ghan, à cet égard, nous allons qualitativement montrer par l'utilisation de diagrammes électriques que le caractère argileux semble influencer aussi ce bassin, mais il faut pré-

HG-3



ciser que cette influence ne correspond pas nécessairement à toute la région du Jebel Nefusa. La formation peut, en effet, avoir des caractéristiques d'une zone à l'autre. Nous nous apercevons aussi que les résultats obtenus sur deux forages seulement qui ne sont pas loin l'un de l'autre, ne représentent pas l'ensemble du Bassin versant du Wadi Ghan. Pour atteindre ce but, il faudrait une étude plus complète, couvrant la plus grande partie de ce Bassin.

En bref, nous ne sommes pas très optimistes au sujet de la possibilité de considérer la formation AZIZIA comme une ressource potentielle en eaux souterraines dans le Bassin du Wadi Ghan. Nous estimons que la lithologie argileuse de la formation a largement diminué les chances d'existence d'une bonne transmissivité pouvant entraîner la présence d'un quifère utilement exploitable.

LA FORMATION RAS HAMIA

Nous avons déjà décrit d'une façon générale la lithologie de cette formation dans le chapitre de géologie, mais du point de vue hydrogéologique, nous attirons

- la carte isopaque de Ras Hamia montre que l'épaisseur croît progressivement dans la direction SW-NE.
- Le pourcentage de grès par rapport à celui de l'argile, comme le montre la carte de faciès décroît dans la même direction.

Cette dernière remarque peut nous aider à localiser les zones où les meilleures perméabilités et/ou porosité existent, alors que la carte isopaque donne approximativement l'épaisseur utile de la formation aquifère.

Les renseignements valables sur la formation Ras Hamira sont en général insuffisants pour établir précisément les caractéristiques hydrogéologiques, surtout dans la région montagneuse.

Dans la plaine de la Jefara, près de la ville d'AZIZIA, un essai (1) de pompage de longue durée sur la formation a donné le résultat suivant :

Débit = 54 m³/hr

Niveau statique - 60 par rapport au sol

Salinité = 3 gm/litre

Conductivité à 25° C = 4,6 mmhos

Le forage qui a fourni ce dernier résultat se situe dans une zone où le pourcentage de grès est d'environ 40%. Ailleurs, dans les zones montrant un pourcentage plus fort de grès, il est bien possible que la perméabilité soit plus grande, et la transmissivité peut s'améliorer en fonction de l'épaisseur utile et la granulométrie des sédiments. En regardant la carte de faciès, nous observons que le Bassin du Wadi Ghan, surtout dans sa partie méridionale, se situe dans la zone de 40% de grès, et que l'épaisseur totale de la formation est comprise entre 365 m et 380 m. L'épaisseur utile peut donc approximativement être de 150 mètres.

Nous pouvons finalement tirer la conclusion suivante :

La formation Ras Hamia, grâce à sa lithologie correspondant en général à des grès ou des grès silteux peu consolidés, favorise l'existence d'une bonne poro-

sité et d'une bonne perméabilité. Le niveau statique est soit proche du sol soit artésien.

La grande profondeur relative, surtout dans le Jebel, a découragé en quelque sorte l'exploitation et la détermination précise de ses caractéristiques. L'exploitation de la formation Bu Shyba, qui semble être suffisante pour les besoins actuels, a été plus favorable du point de vue quantitatif, et qualitatif, mais dans l'avenir, il sera probablement indispensable de chercher autres ressources que les grès de Bu Shyba, et nous estimons que la formation Ras Hamia a une bonne chance d'être le réservoir d'eau espéré.

Les points non-avantageux, à cet égard sont liés à :

- la grande profondeur qui peut entraîner des difficultés mécaniques et économiques
- et à la qualité de l'eau qui est variable d'une zone à l'autre et ne doit pas être acceptée à l'exploitation, surtout pour les besoins domestiques, sans contrôle.

AUTRES RESSOURCES POSSIBLES

A - La formation Ouled Chebbi :

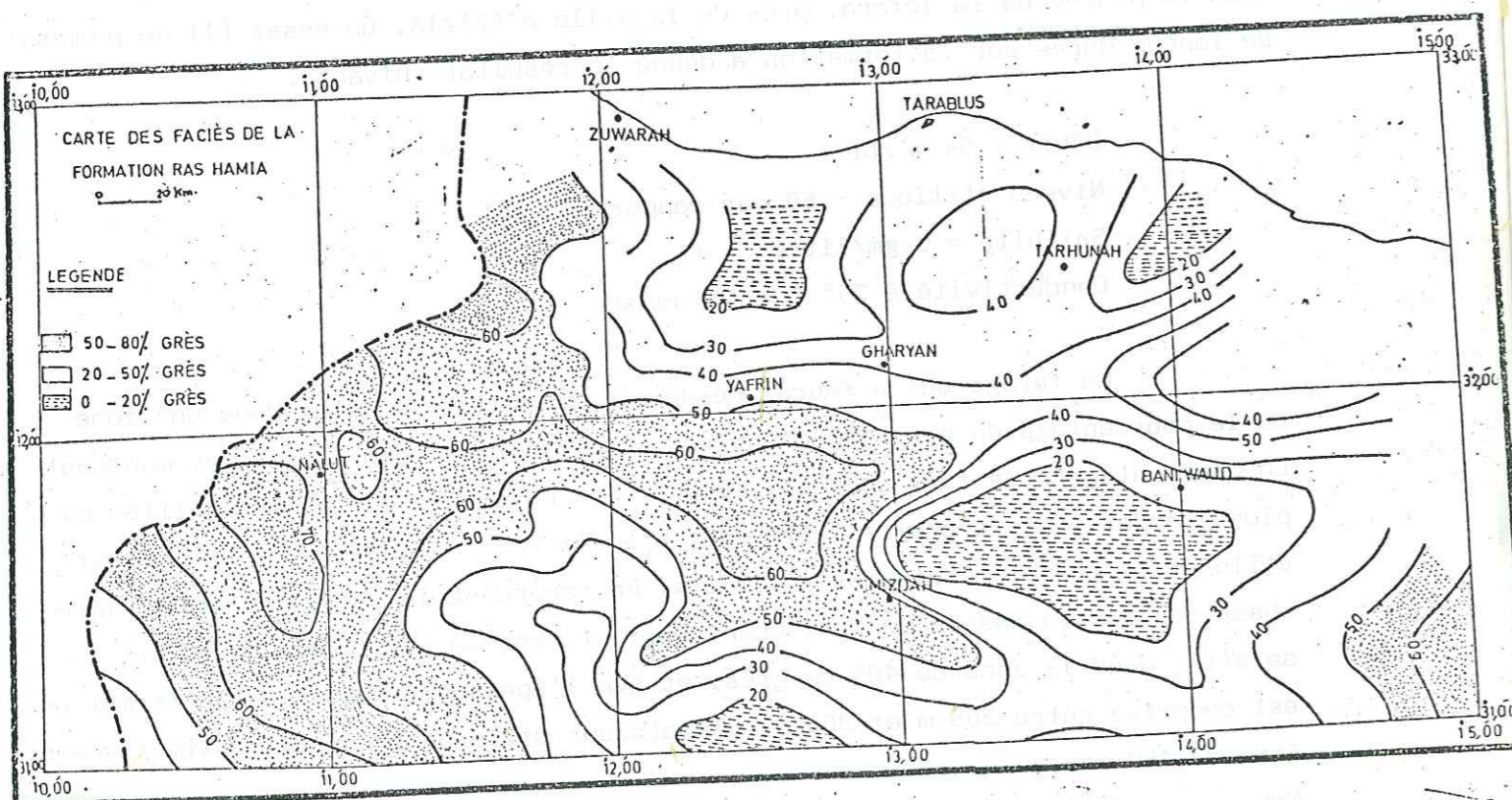
Cette formation ne donne aucun affleurement ni dans la zone de Gharian, ni ailleurs. Le nom Ouled Chebbi est dérivé de l'appellation donnée dans les forages pétroliers exécutés au voisinage de la partie occidentale du Jebel Nefusa, pour décrire une séquence gréseuse au-dessous de la partie inférieure de la formation Ras Hamia (zone à Myophories).

Ce grès est en général dolomitique avec des grains feldspathiques et quartziteux moyens à grossiers. La formation est souvent entrecoupée par des bandes minces d'argile.

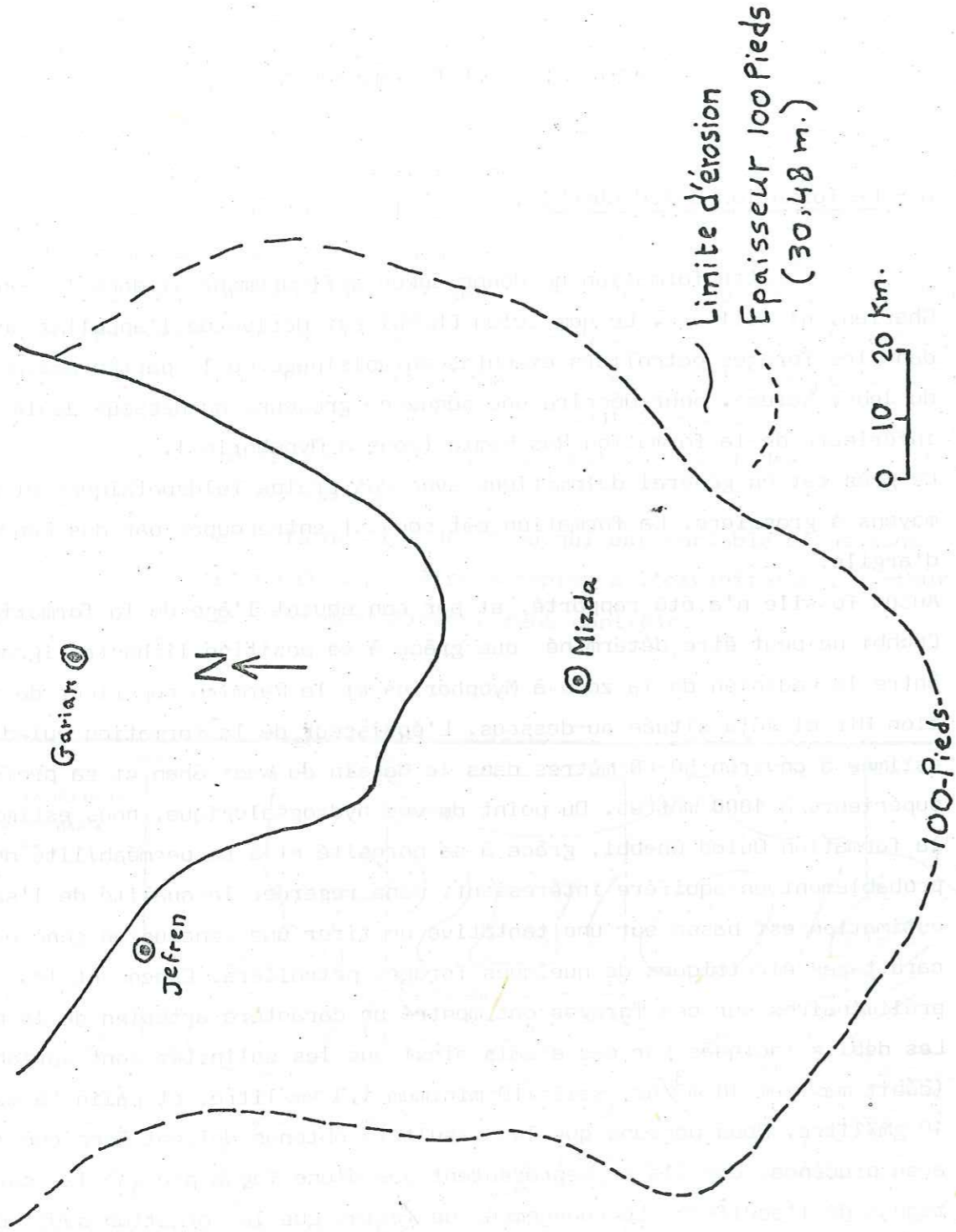
Aucun fossile n'a été rapporté, et par conséquent l'âge de la formation Ouled Chebbi ne peut être déterminé que grâce à sa position lithostratigraphique entre le Ladinien de la zone à Myophories et le Permien supérieur de la formation Bir el Jaja située au-dessous. L'épaisseur de la formation Ouled Chebbi est estimée à environ 50-60 mètres dans le Bassin du Wadi Ghan et sa profondeur supérieure à 1000 mètres. Du point de vue hydrogéologique, nous estimons que la formation Ouled Chebbi, grâce à sa porosité et à sa perméabilité doit être probablement un aquifère intéressant, sans regarder la qualité de l'eau. Cette estimation est basée sur une tentative de tirer une conclusion générale des carottages électriques de quelques forages pétroliers. Cependant les essais préliminaires sur ces forages ont montré un caractère artésien de la nappe. Les débits indiqués par ces essais ainsi que les salinités sont variables. (débit maximum $18 \text{ m}^3/\text{hr}$, salinité minimum $1,3 \text{ gm/litre}$, et salinité maximum 10 gm/litre). Nous pensons que les résultats obtenus doivent être considéré avec prudence, car ils ne représentent pas d'une façon précise les caractéristiques de l'aquifère. Le changement de faciès que la formation subit d'une zone à une autre ainsi que le changement d'épaisseur semblent contrôler sa productivité, mais nous notons que les faciès de grès les plus grossiers ont été rencontrés dans notre région.

B - La Formation Bir el Jaja :

Faisant suite à la formation Ouled Chebbi, nous rencontrons la formation Bir el Jaja du Permien supérieur qui se compose en général de faciès



Carte de la Formation Houaz (Membre Supérieur)



gréseux considérablement variables. Le rôle de cette formation du point de vue hydrogéologique pourrait provenir de ce qu'elle est en continuité hydraulique avec la formation Ouled Chebbi. Cette possibilité est mise en évidence par la tendance de quelques chercheurs à considérer Ouled Chebbi - Bir el Jaja comme une seule unité hydrodynamique ce qui est logique à notre avis.

C - La Formation de HOUAZ :

En étudiant le dossier des forages pétroliers E1-124, les plus proches de notre région (au Sud-Ouest) nous avons remarqué la présence de la série gréseuse de la formation Ordovicienne de HOUAZ. On a là des grès sur une épaisseur d'environ 700 m entre la profondeur de 1474 m et le soubassement. La position de cette formation aquifère directement au-dessous de la formation Ouled Chebbi - Bir el Jaja ne coïncide pas avec ce que l'on connaît la stratigraphie générale de la région du Jebel Nefusa et ne peut être attribuée qu'à la présence d'un accident structural. Sur la figure suivante la limite d'érosion de la formation HOUAZ ainsi que les courbes d'égale épaisseur (tous les 100 pieds : 30,48 m) de sa partie supérieure sont tracées. Nous pensons qu'il sera probablement intéressant de forer le niveau de HOUAZ dans le forage E1-124 pour avoir une idée sur cet aquifère.

Aperçu sur l'hydrodynamique générale

L'hydrodynamique générale dans le Bassin versant du Wadi Ghan, doit être évidemment influencée par celle de l'ensemble du Jebel Nefusa.

En effet la séquence rocheuse comprise entre la formation Gharian et la formation Bu Shyba, semble être en continuité hydraulique dans le sens vertical. Cette continuité est très probablement arrêtée par les bandes et les lentilles d'argiles qui entrecoupent les grès de Bu Shyba.

La formation Gharian joue un rôle comme milieu de transfert pendant les saisons pluvieuses, de l'eau de surface qui circule dans cette dernière séquence rocheuse, et qui fournit une certaine alimentation aux formations aquifères, bien qu'elle ne soit pas très importante.

La continuité hydraulique dans le sens horizontal, ne semble pas régulière. Cette situation est mise en évidence par la présence de quelques puits improductifs dont les profondeurs dépassent le premier niveau d'eau rencontré très souvent dans la région entre les formations Gharian et Ain Tobi.

Dans la formation aquifère Bu Shyba, qui est actuellement la plus importante, l'écoulement de l'eau comme le montre le report sur carte, des chiffres des niveaux piézométriques de quelques puits, se fait en général vers le Nord - Nord-Ouest, mais nous rappelons que cette partie ne représente pas l'ensemble du Bassin du Wadi Ghan. En effet, ce dernier doit être influencé par la structure anticlinale du Jebel Nefusa dans laquelle l'écoulement à deux sens.

Un sens vers le Nord - Nord-Ouest dans la partie septentrionale de l'anticlinal (où se situent les puits que nous avons étudié) qui entraîne parfois l'existence de quelques sources intermittentes le long de la falaise, et, un sens vers le Sud dans la partie méridionale de cet anticlinal qui est en contact avec le Bassin géologique de Ghadamés au Sud. Les chiffres des niveaux piézométriques montrent que ces niveaux deviennent plus profonds en allant généralement vers le Nord. Cependant quelques anomalies (puits HH2 et HG9) affectent le sens général de l'écoulement en raison de changements locaux liés aux épaisseurs des bandes et des lentilles d'argiles imperméables entrecoupant la formation gréseuse. Les valeurs de transmissivité, d'autre part, montrent un faible écart entre elles, ce qui signifie que le terrain est relativement homogène. Cependant, nous estimons qu'en allant plus loin que la zone où se situent les puits étudiés, vers le Nord et le Sud, la transmissivité doit être plus faible. La formation Bu Shyba dans la plaine de la Jefara, est considérée comme très argileuse et n'a pas les mêmes caractéristiques hydrogéologiques importantes que dans notre région. A l'extrémité méridionale du Bassin versant, l'examen du forage pétrolier E1-124 a indiqué que la formation Bu Shyba est aussi argileuse et difficile à distinguer, et par conséquent ne favorise pas l'existence d'une bonne transmissivité et/ou porosité.

Les qualités et l'origine des Eaux :

Les analyses valables de la composition chimique de quelques échantillons d'eaux ne sont pas suffisantes pour nous permettre de faire une conclusion concrète, mais d'une façon générale, nous pouvons en tous cas, constater qu'il est possible de distinguer tout d'abord les eaux rencontrées dans l'ensemble Gharian - Ain Tobi qui représente le premier niveau dans la région.

La composition chimique de ces eaux doit être, en effet, affectée d'une part par la nature du terrain dans lequel l'eau circule, et par la structure anticlinale du Jebel Nefusa d'autre part.

Il est évident que les marnes argiles de la formation Ain Tobi (souvent entrecoupée par des bandes de gypse de quelques mètres d'épaisseur) ont une très grande porosité, les pores étant très petits mais très abondants. La surface de contact eau-roche est donc grande. La vitesse de circulation est excessivement faible à l'intérieur de ces roches considérées comme imperméables. De plus, les marnes et les argiles gypseuses peuvent retenir comme en témoignent leurs chimies, une quantité de sels, chlorures, sulfates, grâce à la nature colloïdale d'une partie de leurs constituants et grâce à la finesse du grain de la roche. Les eaux en contact avec ces roches gypseuses sont chargées en sel comme il est indiqué dans le tableau et les diagrammes logarithmiques. Les teneurs en SO₄ et Cl sont nettement élevées. Parfois SO₄ l'emporte sur Cl, parfois c'est l'inverse. Naturellement, les hautes valeurs de SO₄ correspondent à des hautes valeurs de Ca et Mg, et les hautes valeurs de Cl à de hautes valeurs en Na.

Nous remarquons que le rôle joué par les bandes de gypses entrecoupant le membre de Marnes de Jefren, est aussi très important. Ici les eaux se chargent rapidement en sels, du fait non seulement de l'existence de grandes surfaces de contact ou de longues durées de contact, mais essentiellement en raison de la grande teneur en sels solubles des marnes gypseuses de Jefren. Par conséquent les eaux traversant le gypse arrivent très rapidement à avoir des hautes teneurs, surtout, en Ca SO₄, et il est remarquable que l'augmentation de SO₄ entraîne l'augmentation du Ca et du Mg.

Ainsi les eaux arrivent-elles à avoir des teneurs élevées en SO₄, en Cl, en Ca en Mg et en Na. Nous avons déjà indiqué que la structure de l'ensemble du Jebel influence aussi les teneurs en sels dissous des eaux. Cette influence

résulte naturellement de la durée de contact eaux-roche. Nous estimons donc qu'à l'axe de l'anticlinal cette durée est minimum entraînant aussi le minimum de teneur en sels qui doit progressivement augmenter au Nord et au Sud le sens de l'écoulement général. Nous pouvons ainsi dire que les teneurs en sels reflètent d'une manière générale l'allure de la structure du Jebel. Mais, le Jebel Nefusa ne représente pas une structure anticlinale simple et régulière. En effet, cette dernière est fréquemment affectée par d'autres accidents mineurs et différents dans la forme et dans la localisation. Cette situation entraîne des anomalies de teneurs en sels qui perturbent le sens général de la détérioration progressive de la qualité de l'eau vers le Nord et vers le Sud de l'axe de l'anticlinal. Nous rappelons enfin le rôle du pouvoir évaporant de l'atmosphère qui participe efficacement à augmenter la teneur en sels dissous des eaux. Ce fait est démontré par l'existence des salinités considérables des eaux (parfois des résidus secs) accumulées dans les fossés imperméables dans le cadre de la formation Quasr Tigrinnah.

En bref, nous remarquons à partir des compositions chimiques des eaux de ce niveau aquifère.

- 1 - une teneur en Ca^{++} , Na^+ et Mg^{++} très élevée
- 2 - une teneur en SO_4 et Cl très élevée

Les eaux de la formation Bu Shyba montrent généralement des qualités variables dans l'ensemble du Jebel. Les analyses chimiques indiquées dans le tableau précédant et dans les diagrammes logarithmiques ne reflètent pas d'une façon générale ce qu'on pense des teneurs en sels correspondants à des grès siliceux.

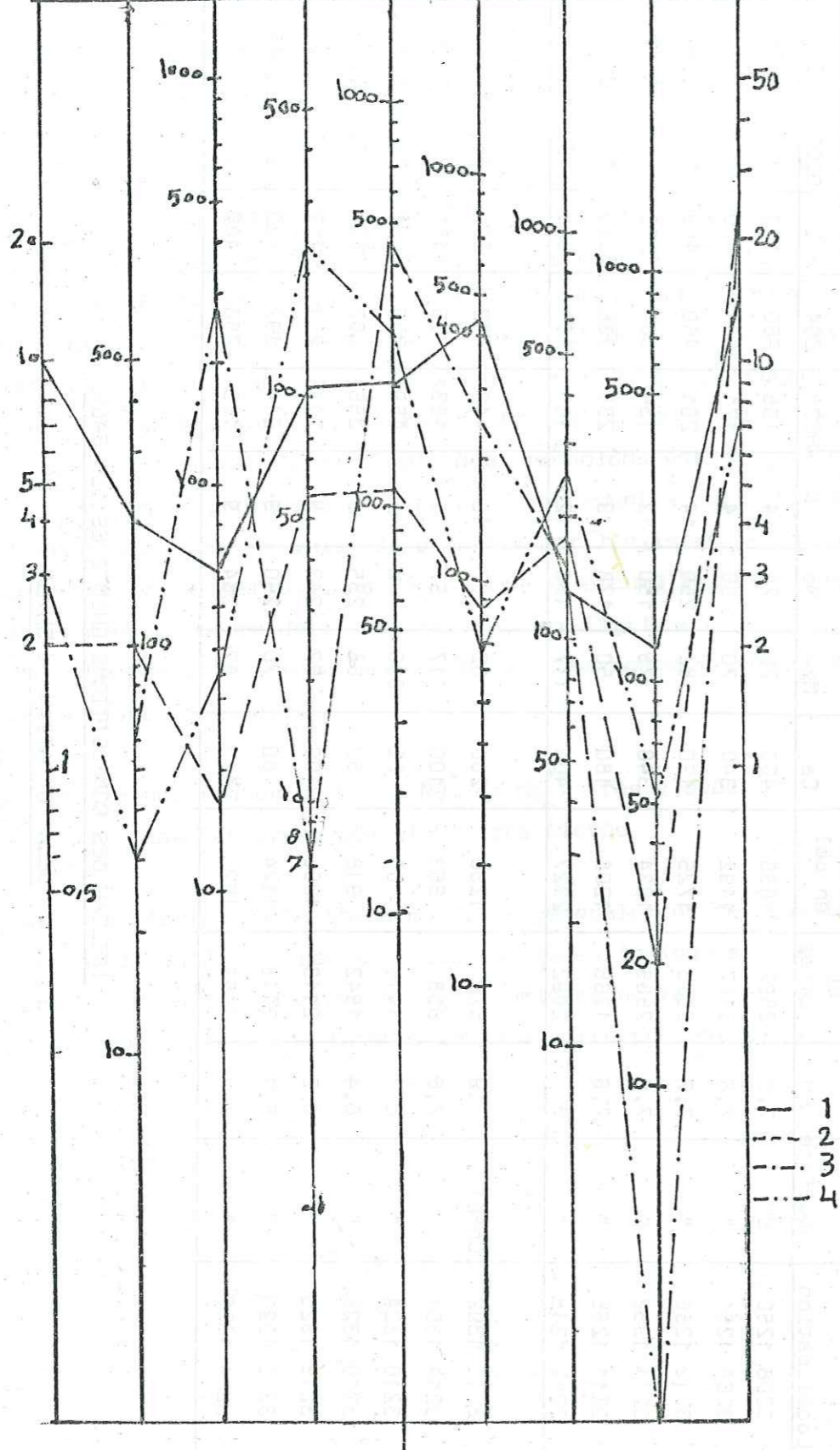
| | Localisation | Aquifère | PH | EC umhos | Teneur totale en sel | Ca | Mg | Teneur en milligrammes | | | par litre | | B | REGIONS | |
|---|--------------|----------|-----|----------|----------------------|-----|-----|------------------------|----|------|-----------|-----|-----|---------|-------------------------------|
| | | | | | | | | Na | K | HCO3 | SO4 | Cl | | | SiO2 |
| 1 | 3208 1250 | BU | 7,8 | 2692 | 1836 | 400 | 70 | 79 | 4 | 165 | 960 | 170 | 38 | 0,71 | Bu Zayan |
| 2 | 3209 1251 | " | 7,6 | 2187 | 1492 | 340 | 70 | 86 | 4 | 171 | 821 | 170 | 41 | 0,68 | |
| 3 | 3212 1256 | " | 7,7 | 2523 | 1725 | 190 | 82 | 250 | 14 | 201 | 480 | 449 | 36 | 0,64 | |
| 4 | 3211 1252 | " | 7,9 | 2685 | 1934 | 340 | 75 | 150 | 12 | 134 | 864 | 305 | 8,9 | 0,57 | |
| 5 | 3211 1255 | " | 7,6 | 1766 | 1208 | 180 | 50 | 128 | 9 | 238 | 336 | 284 | 45 | 0,54 | |
| 6 | 3212 1248 | " | 8 | 2992 | 2327 | 400 | 117 | 186 | 12 | 165 | 989 | 308 | 15 | 1 | |
| 1 | 3210 1302 | Gh-AT | 7,9 | 570 | 1230 | 200 | 62 | 107 | 10 | 140 | 442 | 209 | 16 | 0,32 | Région du Bassin du Wadi Ghan |
| 2 | 3214 1301 | " | 7,6 | 858 | 553 | 100 | 17 | 57 | 2 | 183 | 86 | 114 | 27 | 0,36 | |
| 3 | 3210 1324 | " | 8 | 1416 | 60 | 62 | 286 | 7 | - | 159 | 250 | 441 | 21 | 0,84 | |
| 4 | 3210 1326 | " | 8,4 | 1542 | 918 | 30 | 35 | 235 | 3 | 256 | 67 | 227 | 7,1 | 0,61 | |
| 5 | 3213 1323 | " | 8,2 | 2148 | 1306 | 90 | 67 | 242 | 9 | 214 | 264 | 407 | 20 | 0,55 | |
| 6 | 3213 1323 | " | 8,1 | 2148 | 1174 | 80 | 70 | 250 | 9 | 214 | 197 | 433 | 22 | 0,46 | |
| 7 | 3214 1322 | " | 8,1 | 2455 | 1520 | 110 | 82 | 264 | 9 | 183 | 288 | 482 | 21 | 0,77 | |

TABLEAU DES COMPOSITIONS CHIMIQUES DES EAUX

DE LA FORMATION BU SHYBA

Diagramme Logarithmique Aquifère 'AT'

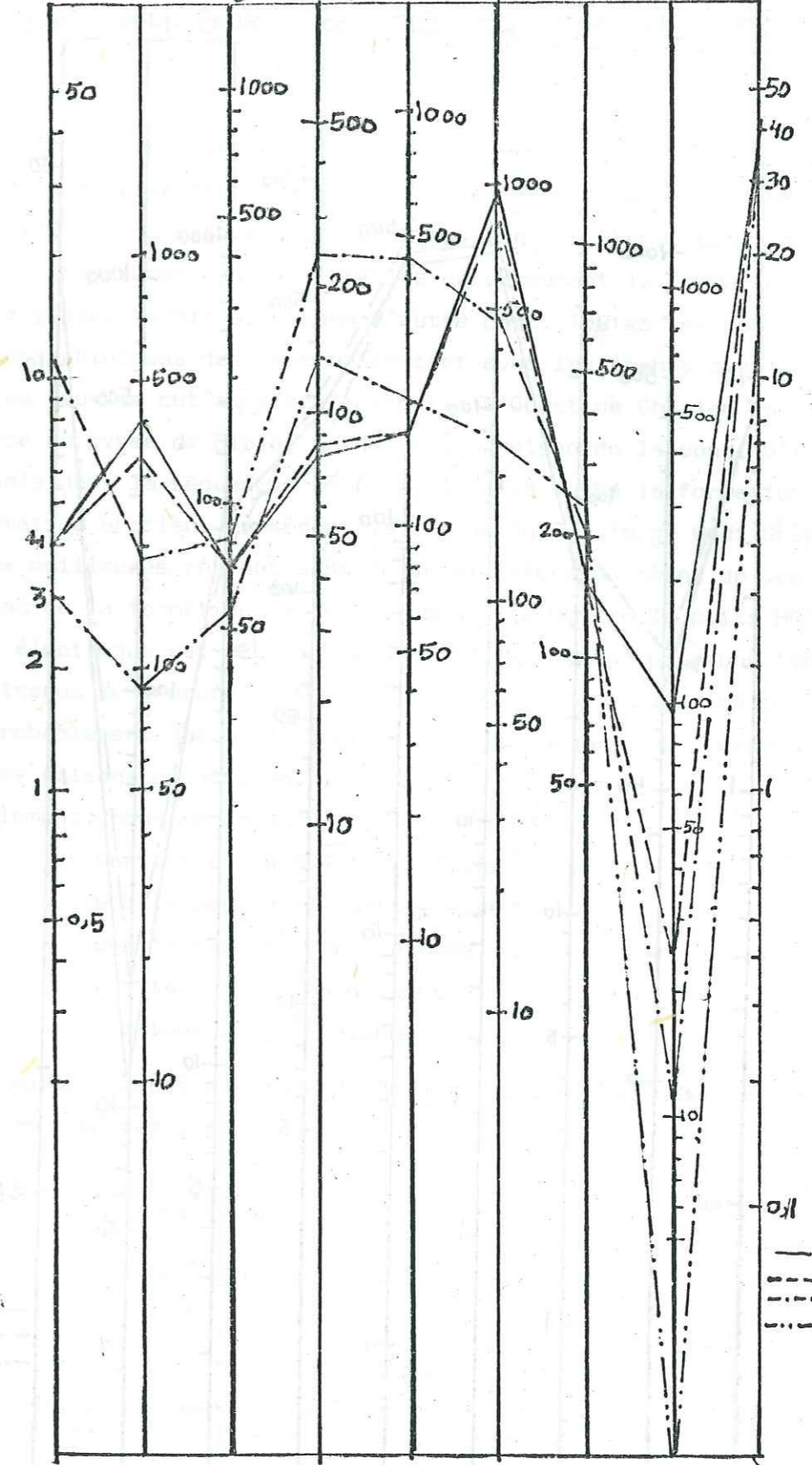
K^+ Ca^{++} Mg^{++} Na^+ Cl^- SO_4 HCO_3 NO_3 SiO_2



— 1
- - - 2
- · - · 3
- · - · 4

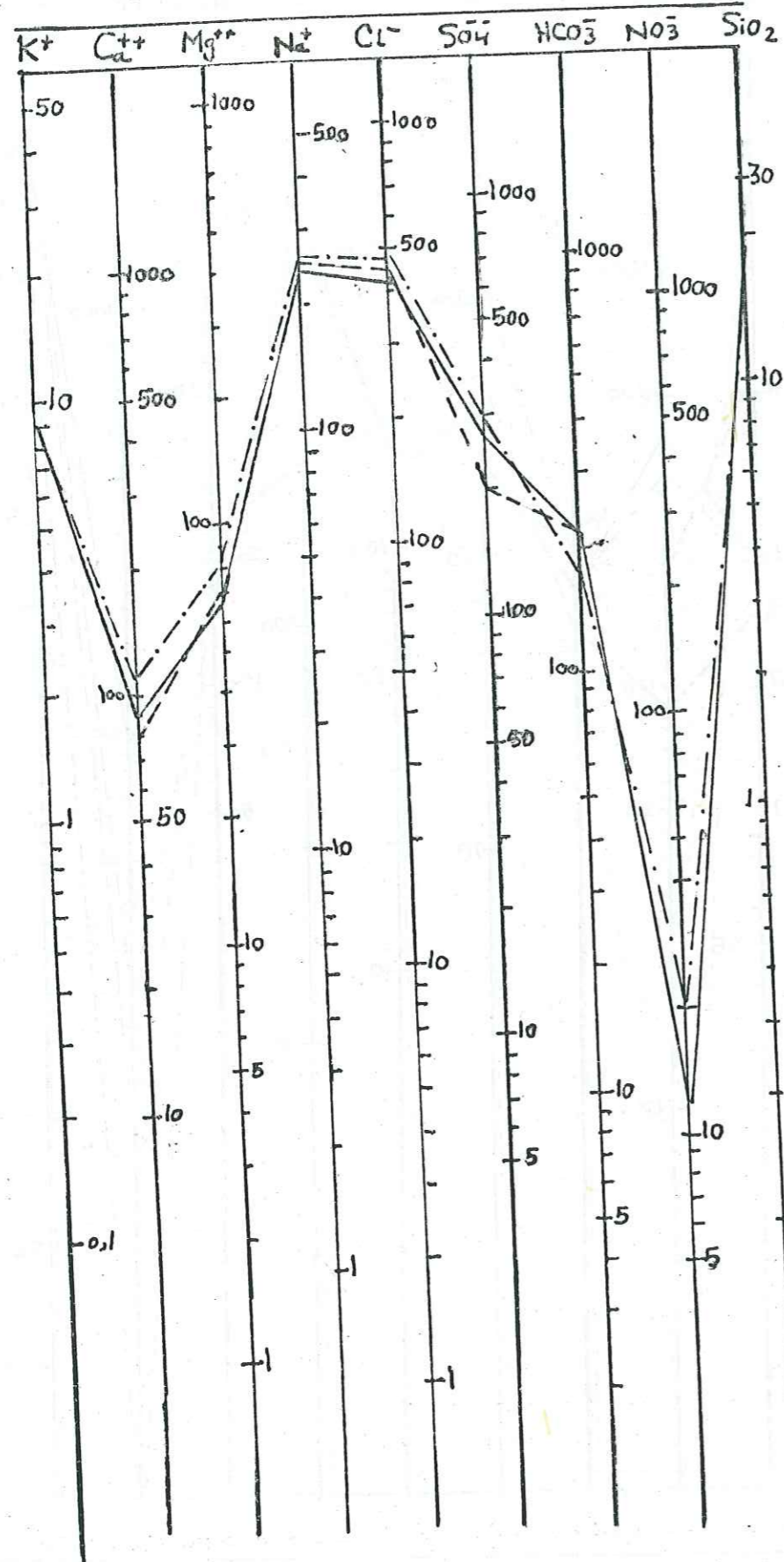
Diagramme Logarithmique , Aquifère 'BU'

K^+ Ca^{++} Mg^{++} Na^+ Cl^- SO_4 HCO_3 NO_3 SiO_2



— 1
- - - 2
- · - · 3
- · - · H69

Diagramme Logarithmique Aquifere AT

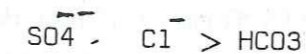
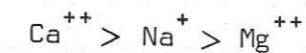


En effet, un des puits dans notre région dont nous avons l'analyse chimique de l'eau montre relativement une bonne qualité. Les autres analyses, effectuées pour la région de Bu Zayan (ou voisinage du Bassin du Wadi Ghan) pour le même aquifère indiquent des teneurs en sels dissous qui nous semblent influencées par l'intervention des eaux circulant dans les roches sus-jacentes. La détérioration de la qualité de l'aquifère Bu Shyba, doit être entraînée par la présence des bandes d'argiles entrecoupant la formation, d'une part, et par les gypses de Bir el Ghenem d'autre part. Toutes les conséquences des réactions chimiques des eaux en contact avec les roches sus-jacentes, affectent donc les eaux de cet aquifère surtout à l'Ouest de Gharian en raison de la présence du gypse de Bir el Ghenem et en raison de la continuité hydraulique verticale dans la séquence rocheuse comprise entre la formation Bu Shyba et la formation Gharian. Cependant la région du Bassin du Wadi Ghan, représente une des meilleures régions dans le Jebel Nefusa du point de vue de la qualité de l'eau de la formation Bu Shyba, comme l'a montré le puits HG9, où la conductivité électrique est de l'ordre de 1.500 micromhos pour une teneur totale en sels dissous de l'ordre de 850 mg/litre. Cette amélioration de la qualité est très probablement due à l'alimentation fournie par les crues du Wadi Ghan, pendant les saisons pluvieuses.

Généralement, nous remarquons

- une teneur en SO_4 très élevée
- une teneur en Cl^- moins élevée
- une teneur Ca^{++} très élevée
- une teneur Na^+ moins élevée
- une teneur Mg^{++} moyenne

Les formules caractéristiques de la composition chimiques de ces eaux s'écrivent de la façon suivante :



Age des Eaux :

Selon les analyses isotopiques du Carbone contenu dans les eaux on peut établir la chronologie des eaux ou la façon suivante :

- un âge compris entre 3000 - 7500 ans pour le niveau Ghanian Ain Tobi
- Un âge compris entre 15000 - 24000 ans pour l'aquifère Bu Shyba
- Un âge compris entre 28000 - 30000 ans pour les nappes très profondes, telle que celle de la formation Ras Hamia

L'ALIMENTATION DES NAPPES AQUIFERES

L'alimentation des formations aquifères dans le Bassin du Wadi Ghan, ainsi que dans l'ensemble du Jebel Nefusa, représente la question la plus délicate, surtout pour la formation Ras Hamia, sur laquelle les enseignements valables sont insuffisants.

Dans l'aquifère superficiel Gharian-Ain Tobi, la partie la plus grande de l'alimentation est fournie par l'eau de surface s'écoulant pendant les périodes pluvieuses comprises entre les mois de Septembre et le mois de Mai. Le rôle primordial joué par les calcaires de la formation Gharian, comme milieu de transfert de cette eau a été déjà mis en évidence à l'occasion de notre étude des caractéristiques hydrogéologiques de cette formation.

L'alimentation de la formation Bu Shyba, nous semble être fournie de la façon suivante :

- Une partie fournie par l'infiltration directe de l'eau de surface à partir de l'affleurement de la formation, comme par exemple, autour de la ville de Gharian et à Wadi Bu Shyba (Ouest de Gharian). En effet on observe cet affleurement immédiatement en montant la falaise de Bu Gheilan surplombant la plaine de la Jefara.

- L'autre partie de l'alimentation est fournie par soutirage d'eau en raison de la continuité hydraulique verticale dans la séquence rocheuse comprise entre la formation Bu Shyba et la formation Gharian. Nous rappelons que cette situation semble entraîner la détérioration de l'eau de la formation Bu Shyba

Pour la formation Ras Hamia il est évident que ses affleurements partiels autour de la ville de Gharian, et tout à fait à l'Ouest en Tunisie ne peuvent fournir qu'une petite partie de l'alimentation de cet aquifère. En effet, l'origine de la plupart des eaux de la formation Ras Hamia est actuellement obscure, et nous ne pouvons que proposer une hypothèse qui reste à confirmer. Cette proposition est basée sur la possibilité de la présence de zones faillées et/ou fracturées sous le Jebel Nefusa. En prenant en considération le fait que la formation Ras Hamia s'amincit et disparaît progressivement en allant vers le Sud, il ne serait pas très raisonnable de prolonger les directions de l'écoulement vers une zone d'alimentation située aussi vers le Sud, et notre

proposition semble plus logique et plus proche de la caractéristique structurale de la région du Jebel, bien que les zones faillées et/ou fracturées ne soient pas faciles à localiser actuellement. La présence de ces zones est très probable surtout si nous tenons compte de la position de la série gréseuse de la formation aquifère de HOUAZ d'âge Ordovicien que nous avons rencontrée dans le forage pétrolier E1-124 à proximité de la limite méridionale du Bassin versant de Wadi Ghan. Nous avons mentionné que la position de cette formation Ordovicienne, directement au dessous de la formation du Permieu supérieur ; Ouled Chebbi - Bir el Jaja ne correspond pas à la stratigraphie générale et que ceci ne peut être attribué qu'à la présence d'un accident structural qui à son tour confirme la présence de la zone faillée dont nous avons parlé. En effet il est possible que les eaux (comme celles de la formation aquifère de HOUAZ passent à travers cette zone pour participer à l'alimentation de la formation Ras Hamia et probablement à celle des autres formations aquifères, après avoir circulé dans la séquence rocheuse de la région. Cette circulation doit entraîner l'augmentation de la teneur totale en sels dissous par le lessivage des terrains traversés, et par conséquent la qualité des eaux est moins bonne que la qualité originelle. En plus nous estimons que l'origine des eaux alimentant la formation Ras Hamia (et les autres aquifères importants), à travers des formations comme celle de HOUAZ doit être recherchée encore plus au Sud. Nous attirons l'attention, par exemple, sur la zone de Jouffra où se situe une structure importante dans la géologie Libyenne, appelée HON GRABEN. Cette zone de HON GRABEN est caractérisée par sa grande richesse en eaux souterraines dans laquelle deux puits ont fourni récemment, pendant la réalisation de ce travail un débit de plus de $1200 \text{ m}^3/\text{hr}$. Cette zone à son tour semble être en continuité hydraulique avec une autre zone importante appelée WA'I SHATI se situant directement au Sud de l'Arc de Gargaf au Fezzan qui montre aussi de bonnes ressources en eaux souterraines.

Nous supposons donc qu'au moins une de ces deux zones de HON GRABEN et du WADI SHATI est en quelque sorte en continuité hydraulique probablement indirecte avec les formations comme celle de HOUAZ qui alimente à son tour les nappes profondes du Jebel Nefusa et aussi la plaine de la Jefara à travers une zone faillée après une circulation dans la séquence rocheuse de la région.

Sciences de la Terre
BIUS
JUSSIEU
CADIST

CONCLUSION GENERALE

Le Bassin du Wadi Ghan, se situant à la moitié orientale du Jebel Nefusa avec sa superficie d'environ 600 km², est un des plus grands Bassins versant au Nord-Ouest de la Libye. Il constitue, en effet, la plus grande partie d'un autre Bassin, celui du Wadi el Hira, ayant une superficie d'environ 700 km². Le Wadi Ghan d'où provient le nom du bassin représente le cours d'eau principal et coupe la région en deux parties presque égales. Ce cours d'eau ainsi que l'ensemble du bassin sont orientés généralement vers le Nord.

La géologie du Bassin versant du Wadi Ghan doit toujours être prise en considération avec l'ensemble de celle du Jebel Nefusa. Les roches sédimentaires couvrant la région se sont déposées entre le Mésozoïque et le Quaternaire, alors que les roches volcaniques, probablement liées aux activités tectoniques du Jebel pendant la période post-Crétacé, couvrent le coin Sud-Est du Bassin. Tous les dépôts des roches mésozoïques se sont faits en général pendant que le Bouclier Africain s'individualise et se soulève. Ces dépôts semblent généralement représenter une série de transgressions et de régressions de la mer pendant une période comprise entre le Permo-Trias et le Crétacé supérieur. Pendant cette même période, notamment avant le Jurassique, des mouvements épirogéniques ont entraîné le basculement de la région qui a créé une pente orientée vers l'Ouest (sur laquelle des conditions lagunaires se sont établies permettant le dépôt du Gypse de Bir el Ghenem) suivi par un soulèvement lié au même mouvement (entraînant l'apparition de conditions continentales représentées par la formation gréseuse de Kikla). A la fin du Crétacé, la déformation des roches entraîne l'apparition d'un vaste anticlinal poursuivi par la création de failles et de dômes associés aux activités magmatiques syntectoniques (les roches volcaniques). Le Bassin versant du Wadi Ghan étant une sorte de synclinal est le produit de l'histoire structurale complexe du Jebel Nefusa.

L'hydrologie du Bassin est conforme à celle d'un climat de type semi-aride ou semi-désertique.

L'année hydrologique peut être divisée en deux périodes distinctes ; une période pluvieuse (Septembre - Mai) ; pendant laquelle plus de 95% des précipitations annuelles s'effectuent, et une période sèche (Juin - Août) caractérisée par des températures très élevées et par l'absence de précipitation pour la plupart des années. La moyenne de la lame d'eau tombée est de l'ordre de 280 mm dont 90% est évaporée, et plus de 3,5% s'infiltré dans le sous-sol. Une partie

du ruissellement représentant approximativement 6,5% de la lame d'eau tombée alimente les nappes superficielles pendant les crues du Wadi Ghan qui n'existent qu'en réponse directe à des précipitations suffisantes.

Les humidités et les températures reflètent aussi les conditions climatiques. Les humidités sont relativement élevées pendant la période pluvieuse et basses pendant la période sèche alors que les températures réagissent dans le sens inverse. De la même façon, nous pouvons classer les vents habituels dont les plus humides soufflent vers le Sud et les plus secs soufflent vers le Nord. Les ressources en eaux souterraines importantes dans le bassin semblent être limitées aux couches gréseuses qui montrent des conditions hydrogéologiques plus favorables que celle des roches calcaires. Nous avons mis en évidence le rôle primordial joué par les calcaires de la formation Gharian comme un milieu de transfert des eaux de surface vers le sous-sol et par conséquent un niveau d'eau est généralement rencontré entre cette formation et les marnes de Jefren, mais il n'est pas important qualitativement ou quantitativement. Les qualités des eaux de ce niveau et les teneurs totales en sels dissous ont tendance à traduire l'allure de la structure de Jebel Nefusa selon les durées de contact eaux-roche. Cette situation est souvent perturbée par des anomalies liées aux structures mineures et au pouvoir évaporant de l'atmosphère.

Nous avons essayé de mettre en évidence les caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère de Bu Shyba qui est actuellement exploité essentiellement pour l'alimentation de l'agglomération de Gharian. Les essais de pompages sur quelques puits sans piézomètres ont indiqué une moyenne de transmissivité de l'ordre de $2,4 \times 10^{-3}$ m²/sec, et donc une moyenne de perméabilité de l'ordre de $2,3 \times 10^{-5}$ m/sec. Bien que les données de ces essais ne soient pas favorables pour calculer une valeur exacte du coefficient d'emmagasinement en raison de l'absence de piézomètres, nous avons utilisé tous les moyens possible pour évaluer la valeur du coefficient S qui est de l'ordre de 1,2%, mais nous attirons l'attention sur le fait que le chiffre doit être pris en considération avec prudence.

L'hydrodynamique générale est évidemment influencée par celle de l'ensemble du Jebel Nefusa et sa structure anticlinale dans laquelle l'écoulement présente deux sens ; un sens vers le Nord - Nord-Ouest dans la partie septentrionale de cet anticlinal (où se situent les puits que nous avons étudié) et un sens vers le Sud dans la partie méridionale qui est en contact avec le Bassin géologique de Ghadamés.

La formation Ras Hamia sur laquelle les enseignements sont moins valables du

point de vue hydrogéologique surtout dans le Jebel semble probablement être la deuxième ressource en eaux souterraines intéressante. Les points non avantageux de cet aquifère sont liés à sa grande profondeur qui peut entraîner des difficultés mécaniques et aussi à la qualité de l'eau qui n'est pas nécessairement favorable à la consommation domestique et/ou agricole. Nous avons mentionné que les caractéristiques hydrogéologiques de la Formation Ras Hamia varient probablement en fonction de l'épaisseur qui décroît progressivement vers le Sud et des changements de faciès démontrés par une carte indiquant le pourcentage des grès par rapport aux argiles.

Finalement nous avons essayé de faire un commentaire sur l'origine et les qualités des eaux qui sont influencées par la structure du Jebel d'une part et les compositions chimiques des roches d'autre part.

Dans l'aquifère superficiel de Gharian - Ain Tobi, il semble que la partie la plus importante de l'alimentation est fournie par l'eau de surface s'écoulant pendant la période pluvieuse qui circule dans la séquence rocheuse comprise entre la formation Gharian et la formation Bu Shyba, la qualité de cette eau est par conséquent déterminée en raison de cette circulation et en raison du pouvoir évaporant de l'atmosphère.

L'alimentation des aquifères profonds, surtout, celle de la formation Ras Hamia est un sujet délicat. Nous avons proposé l'existence d'une zone faillée et/ou fracturée sous le Jebel entraînant une continuité hydraulique avec au moins une des deux zones de HON GRABEN et du WADI SHATI et c'est à travers cette zone faillée que s'effectuerait la part la plus importante de l'alimentation des formations Ras Hamia et Bu Shyba.

Pour terminer, il nous faut insister sur le caractère provisoire de nos connaissances sur la région du Wadi-Ghan, et il nous apparait, compte tenu du fait que les ressources actuellement exploitées ne se renouvellent qu'en très faible partie, qu'il est absolument nécessaire de poursuivre des recherches sur un plan très général dans le Sud de la Tripolitaine pour mieux connaître le régime d'ensemble des eaux souterraines, le mode d'alimentation des nappes, et déterminer les grandes zones d'infiltration actuelles ou anciennes; où se situe l'origine des nappes observées. Ce programme est celui de la connaissance d'ensemble du cadre géologique et hydrogéologique de très vastes régions sans laquelle on ne peut espérer résoudre les problèmes qui se posent dans tous les pays arides et en particulier dans le Nord-Est de l'Afrique.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSERTO R. & BENELLI F. (1971) Sedimentology of the Pre-Cenomanian Formations of the Jabal Gharyan Lybia Symp. on the Geol. of Libya, Univer of Libya, Tripoli
- ASTIER J.L. (1971) Géophysique Appliquée à l'Hydrogéologie Masson & C, Paris
- AYLER M.F. (1965) Jefren and Abu Ghaylan Silica Sands Tripolitania, Min of Industry, Géo. Sec, Bul n° 1 Tripoli
- BRICHANT A.L. (1952) Sur la découverte du Trias au pied du Djebel Gharian (Tripolitaine, Libye) C.R. AC-Sc, Paris, t 234 n° 14 p 1456-1458
- BUROLLET P.F. (1963) Field Trip Guide Book of the Excursion to Jebel Nefusa. Saharan Symp, Tripoli, Petrol. expl. Soc. of Libya.
- BUROLLET P.F. (1963) Le Trias en Tunisie et Libye. Relation avec le Trias Européen et Saharien 86ème Congr. Soc. Sav. Colloque Trias, Montpellier (1961) Prétirage.
- CASTANY G. (1963) Traité pratique des Eaux Souterraines Dunod PARIS
- CASTANY G. (1968) Prospection et Exploration des eaux souterraines Dunod PARIS
- CHOW V.T. (1964) Handbook of Applied Hydrology Mc Graw Hill book Company, London & New York
- CHRISTIE A.M. (1966) Geology of the Gharyan Area, Tripolitania, Libya, Minis.of industry, Geol. Sec. Bul n° 5 Tripoli (Reprint of United Nations Report 1955)
- DAVIS N.S. & DE WIEST J.M. (1966) Hydrogeology-John Wiley and sons, Inc New York London
- DESIGN A, ROSSI RONCHETTI POZZI R. CLERICI F. INVENIZZI G. PISONI & VIGNO (1963) Stratigraphic Studies in the Tripolitanian Jebel (Libya) Riv. Ital. Paleont. Strat. Mem IX MILANO
- DESIO A. ROSSI RONCHETTI C. VIGANO P. (1960) Sulla Stratigraphie del Trias in Tripolitania Nel Sud. Tunisi. Riv. Ital. Paleont. Strat Vol. 66, n° 3 MILANO
- FOURMARTIER (1939) Hydrogéologie Masson PARIS

- FURON (1968) Géologie de l'Afrique PAYOT PARIS
- GENERAL WATER AUTHORITY (1973) Gharyan Water Supply Project G.W.A. Tripoli
- GOUDARZI G.H. (1970) Geology and Mineral Ressources of Libya A reconnaissance Geol. Survey, Professional paper n° 660.
- GREY C. (1971) Structure and Origin of the Gharyan Domes. Symp on the Geol. of Libya, Univers of Libya, Tripoli
- GRISOLET-GUILLEMET ARLERY (1962) Climatologie - Méthodes et Pratique
- GROUPEMENT D'ETUDE FRANCAIS EN LIBYE (GEFLI) (1972) Soil and Water Resources Survey for Hydro-Agricultural Development, Westers, Zone, G.W.A., Tripoli
- HUMMUDA O.S. (1969) Jurassic and Jower Cretaceous Geology of Central Jabal Nefusa NW Libya. Petr. Exp. Soc. of Libya, Tripoli
- HUMMUDA O.S. (1971) Nature and Significance of the lower Cretaceous Unconformity in Jabal Nafusa. NW Libya. Symp. on Geol. of Libya. Univer. of Libya
- INDUSTRIAL RESEARCH CENTRE (1975) Geological Map of Libya, 1 : 250,000, Sheet Tarablus, Ni 33-13, Indist. Reser. Cent. Tripoli
- JONES J.R. (1971) Ground water Provinces in Libya. Symp on Geol of Libya Univerof Libya, Tripoli
- KRUSEMAN G.P. & DE RIDDER N A 1970 Analysis and Evoluion of pumping test Data, Bul II, International Institut for Land. Reclamation and Improvement, Wageningen, Netherlands
- LEXIQUE STRATIGRAPHIQUE INTERNATIONAL (1960) Vol. IV Afrique Fasc. IVa - Libya
- LIPPARINI T. (1940) Tettonica e Geomorfologia della Tripolitania. Boll. Soc. Geol. Ital., t 59 ROMA
- MAGNIER Pn. (1963) Etude Stratigraphique dans le Gebel Nefusa et le Gebel Gharian (Tripolitanie, Libye). Bul. Soc. Géol. Fr, Ser 7 vol 5 N° 1

- MENNING J.J. VITTIMBERGA P. et LEHMANN P. (1963) Etude Sédimentologique et Petrographique de la formation Ras Hamia, (Trias Moyen) du Nord-Ouest de la Libye, Revue de l'Institut français du Petrol, Vol XVIII, n° 10 et 11
- MILLER V.C. (1971) A Preliminary Investigation of the Geomorphology of the Nefusa. Symp on the Geol of Libya. Univer of Libya, Tripoli
- MORET L. (1967) Precis de Géologie Masson et C. PARIS
- PARONA C.F. (1914) Per la Geologia della Tripolitania att. R. Accad. Sc. di Torino Vol. 50
- PEGUY (1951) Précis de Climatologie, Masson, PARIS
- PICCOLI G. (1960) Osservazioni Geologiche sui Fenomem Eruttivi della Tripolitania Settentrionale Boll Geol. Ital. ROMA.
- PLOTNIKOV (1962) Ressources en Eaux Souterraines Gauthiers - Villars, PARIS
- ROCHE (1963) Hydrologie de Surface - Gauthiers Villars PARIS
- SCHÖELLER H. (1962) Les Eaux Souterraines MASSON - PARIS
- WALTON W.C. (1970) Ground-Water Resource Evaluation Mc Graw-Hill Book Company New York, London.

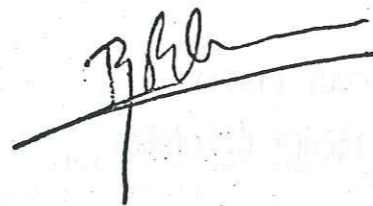


Dernière page d'une thèse

VU le 15 juin 1976

Grenoble, le

Le Président de la thèse



VU, et permis d'imprimer,

Grenoble, le
















Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale

CARTE GÉOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE WADI GHAN



Sciences de la Terre
BUENC
CADISE

LÉGENDE

-  Dépôts Alluvio-éoliens
-  Formation Quasr el Haj
-  Coulées Basaltiques
-  Phonolites Intrusives
-  Dykes et Sills
-  Formation Quasr Tigrinnah
-  " " " Gharian
-  " " " Ain Tobi
-  " " " Kikla
-  " " " Bu Gheilan
-  " " " Bu Shyba
-  " " " Azizia
-  " " " Ras Hamia
-  Faille
-  Fractures

