

AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT  
WASHINGTON, D. C. 20523  
**BIBLIOGRAPHIC INPUT SHEET**

FOR AID USE ONLY

*Batch 72*

1. SUBJECT CLASSIFICATION	A. PRIMARY Food production and nutrition	AP10-0000-G218
	B. SECONDARY Water resources and management--Senegal	

2. TITLE AND SUBTITLE  
Water resources survey and development project, central Senegal

3. AUTHOR(S)  
(101) Parsons (R.M.) Co., Los Angeles

4. DOCUMENT DATE 1969	5. NUMBER OF PAGES 170p.	6. ARC NUMBER ARC
--------------------------	-----------------------------	----------------------

7. REFERENCE ORGANIZATION NAME AND ADDRESS  
Parsons

8. SUPPLEMENTARY NOTES (*Sponsoring Organization, Publishers, Availability*)  
(In English and French)

9. ABSTRACT

10. CONTROL NUMBER PN-RAB-610	11. PRICE OF DOCUMENT
12. DESCRIPTORS Project evaluation Senegal Surveys Water wells	13. PROJECT NUMBER
	14. CONTRACT NUMBER AID/afr-468 GTS
	15. TYPE OF DOCUMENT

# WATER RESOURCES SURVEY AND DEVELOPMENT PROJECT

## CENTRAL SENEGAL



*UN RAPPORT FINAL POUR  
PROJET D'ETUDES POUR LE  
DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES EN EAU*

*The United States Agency for  
International Development, Washington, D. C.  
Contract No. AID/afr-468 – May, 1969*

A. I. D. HISTORICAL AND  
TECHNICAL REFERENCE  
ROOM 1C56 NS

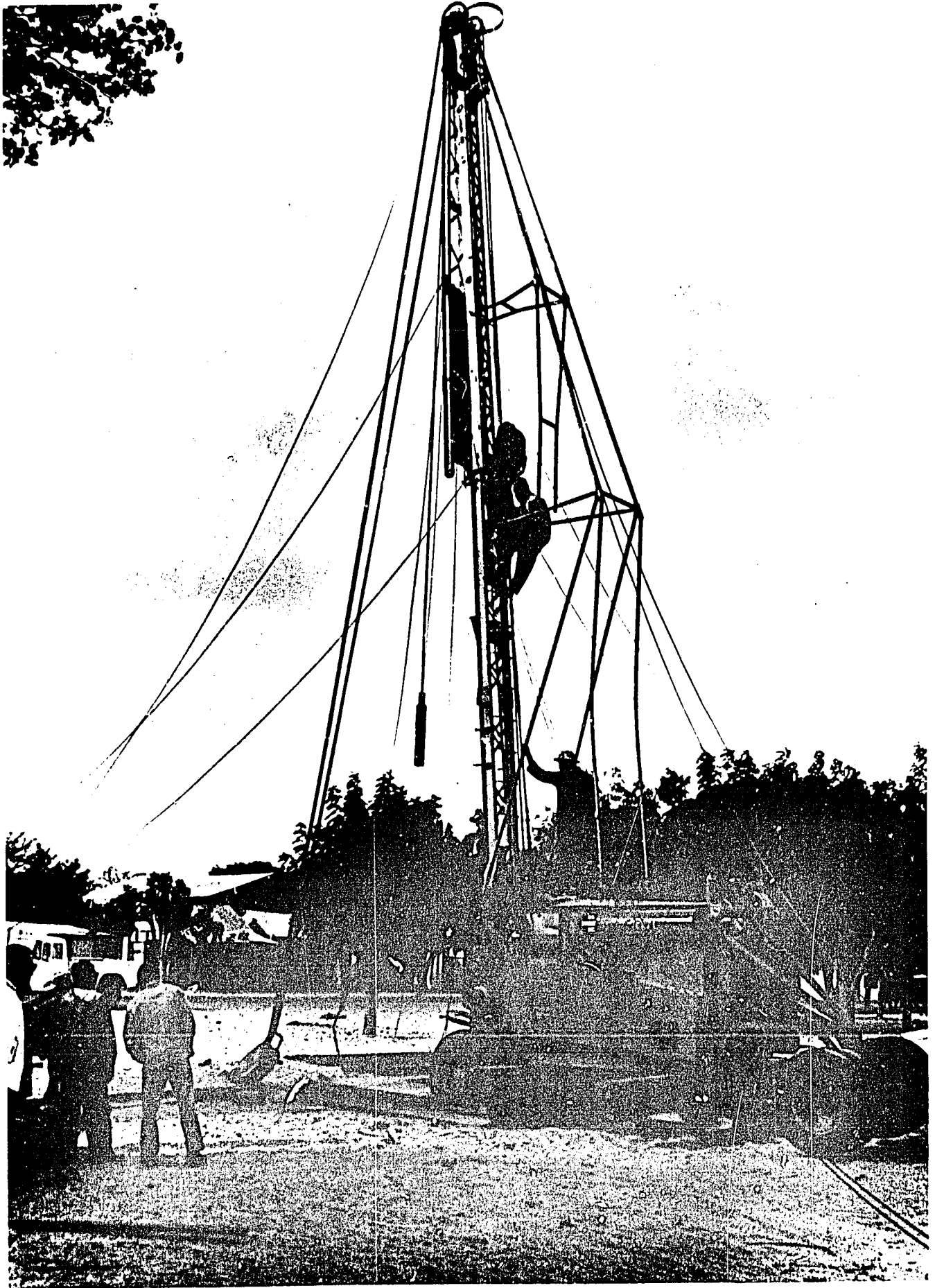
**THE RALPH M. PARSONS COMPANY**  

---

**ENGINEERS-CONSTRUCTORS**



**LOS ANGELES  
NEW YORK**



Project: Water Resources Survey and Development/2

- Parsons (Ralph M.) Co., Los Angeles.  
- Water resources survey and development project, Republic of Senegal; technical proposal, and cost and fee information. Sep. 1966.  
2v.  
Contract No. AID/afr-468.  
Proposal No. 606-3498-1.
- Parsons (Ralph M.) Co., Los Angeles.  
- Water well completion reports.  
Wells nos. 1-50.  
1 v. Central Senegal water resources Survey and development project. 1968-1969.  
English and French.  
Contract No. AID/afr-468.
- Parsons (Ralph M.) Co., Los Angeles.  
Program for Ground-Water Development, Republic of Senegal. Nov. 1963.  
22 p.  
Supplement to Hydrogeologic Reconnaissance, Republic of Senegal.  
Contract AID/afr-116.
- Parsons (Ralph M.) Co., Los Angeles.  
Reconnaissance hydrogeologique, Republique du Senegal. No. 1963.  
1 v. illus., maps.  
Contract No. AID/afr-116.  
PIO/T 685-Y-52-AC-3-20003-1.  
In French.



TABLE OF CONTENTS/TABLE DES MATIERES

Chapter	Page	Chapter	Page
I – INTRODUCTION . . . . .	2	I INTRODUCTION . . . . .	2
Background . . . . .	2	Arrière-Plan . . . . .	2
Objectives of Contract . . . . .	4	Objectifs du Contrat . . . . .	4
II – SUMMARY . . . . .	6	II SOMMAIRE . . . . .	6
III – THE PROJECT . . . . .	8	III LE PROJET . . . . .	8
Mobilization . . . . .	8	Mobilisation . . . . .	8
Drilling Program . . . . .	10	Programme de Forage . . . . .	10
Exploration Wells . . . . .	12	Forages d'Exploration . . . . .	12
Development Wells . . . . .	14	Forages de Production . . . . .	14
Dug Well Survey . . . . .	16	Etude des Puits Foncés . . . . .	16
Training Program . . . . .	18	Programme de Formation . . . . .	18
IV – GEOGRAPHY . . . . .	20	IV GEOGRAPHIE . . . . .	20
Physical Features . . . . .	20	Traits Physiques . . . . .	20
Culture and Land Use . . . . .	22	Culture et Utilisation du Sol . . . . .	22
V – GEOLOGY . . . . .	24	V -- GEOLOGIE . . . . .	24
General . . . . .	24	Généralités . . . . .	24
Details of Formations . . . . .	26	Détails des Formations . . . . .	26
VI – HYDROLOGY . . . . .	28	VI - HYDROLOGIE . . . . .	28
General . . . . .	28	Généralités . . . . .	28
Precipitation . . . . .	28	Précipitation . . . . .	28
Evaporation . . . . .	30	Evaporation . . . . .	30
Recharge . . . . .	32	Recharge . . . . .	32
Water Requirements . . . . .	34	Besoins en Eau . . . . .	34
Water Availability . . . . .	36	Disponibilité de l'Eau . . . . .	36
VII – HYDROGEOLOGY . . . . .	38	VII - HYDROGEOLOGIE . . . . .	38
General . . . . .	38	Généralités . . . . .	38
Groundwater Movement . . . . .	40	Mouvements de l'Eau Souterraine . . . . .	40
Storage Capacity . . . . .	42	Capacité d'Emmagasinement . . . . .	42
Hydrogeologic Sub-Areas . . . . .	44	Sous-Régions Hydrogéologiques . . . . .	44
Area 1 – Limestone Aquifers . . . . .	44	Région 1 – Aquifères Calcaires . . . . .	44
Area 2 – Coastal Dune Aquifer . . . . .	45	Région 2 – Aquifère de la Dune Côtière . . . . .	45
Area 3 – Laterite Aquifers . . . . .	45	Région 3 – Aquifères Latéritiques . . . . .	46
Area 4 – Paleocene Aquifers . . . . .	46	Région 4 – Aquifères du Paléocène . . . . .	47
Area 5 – Transition Zone Aquifer . . . . .	47	Région 5 – Aquifère de la Zone de Transition . . . . .	47
Area 6 – Eocene Marl and Clay Area . . . . .	47	Région 6 – Région Marnes et Argiles de l'Eocène . . . . .	48
Area 7 – Estuary Saline Area . . . . .	48	Région 7 – Région Saline de l'Estuaire . . . . .	49
Water Quality . . . . .	50	Qualité de l'Eau . . . . .	50
Water for Irrigation . . . . .	52	Eau pour l'Irrigation . . . . .	52

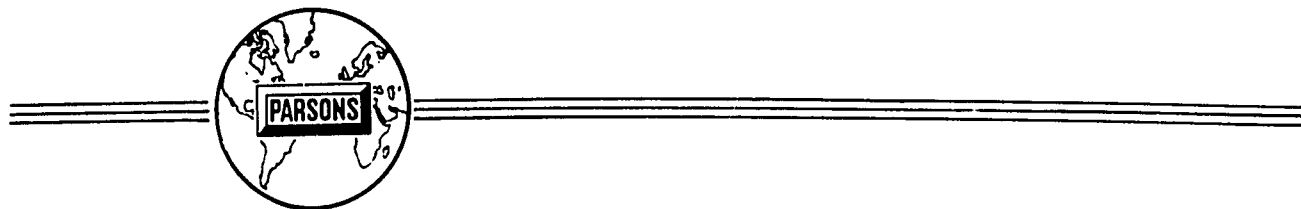


TABLE OF CONTENTS/TABLE DES MATIERES

Chapter	Page	Chapter	Page
VIII RECOMMENDATIONS . . . . .	54	VIII RECOMMANDATIONS . . . . .	54
Summary of Estimated Cost . . . . .	60	Relève des Coûts Estimer . . . . .	60
IX CONCLUSIONS . . . . .	66	IX CONCLUSIONS . . . . .	66
BIBLIOGRAPHY . . . . .	68	BIBLIOGRAPHIE . . . . .	68
CONVERSION TABLE . . . . .	69	TABLE DE CONVERSION . . . . .	69

LIST OF ILLUSTRATIONS/LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure	Page	Figure	Page
1 Project Location . . . . .	3	1 Situation du Projet . . . . .	3
2 Completed Well and Pump Installation . . . . .	5	2 Forages Achevés et Installation de Pompes . . . . .	5
3 Project Well Locations . . . . .	11	3 Emplacements des Forages du Projet . . . . .	11
4 Pump Test . . . . .	13	4 Essais de Pompage . . . . .	13
5 Surface Well Installation . . . . .	15	5 Installation de Puits de Surface . . . . .	15
6 Recording Water Levels in Dug Well . . . . .	17	6 Relevé des Niveaux de l'Eau dans les Puits Foncés . . . . .	17
7 Drill Rig Trainees . . . . .	19	7 Stagiaires Foreurs . . . . .	19
8 Marigots. A Common Source of Water Supply . . . . .	21	8 Marigots. Source Courante de Réserve d'Eau . . . . .	21
9 Agricultural Test Plot . . . . .	23	9 Parcelle de Terrain pour Essais Agricoles . . . . .	23
10 Exposed Phreatic Water Table . . . . .	25	10 Nappe d'Eau Phréatique Exposée . . . . .	25
11 Geologic Map . . . . .	27	11 Carte Géologique . . . . .	27
12 Mean Monthly Precipitation . . . . .	28	12 Précipitations Mensuelles Réelles . . . . .	28
13 Isothermal Map . . . . .	29	13 Carte Isothermique . . . . .	29
14 Average Annual Rainfall . . . . .	29	14 Moyenne de Pluies Annuelles . . . . .	29
15 Pan Evaporation Rates . . . . .	31	15 Taux d'Evaporation de Base . . . . .	31
16 Water Table Elevations . . . . .	33	16A- Elévations de la Nappe d'Eau . . . . .	33A
17 Hydrogeologic Map . . . . .	39	17A- Carte Hydrogéologique . . . . .	39A
18 Stratigraphic Cross Sections . . . . .	41	18 Coupes Transversales Stratigraphiques . . . . .	41
19 Water Quality of Phreatic Zone . . . . .	51	19 - Carte de Contour de la Qualité de L'eau . . . . .	51
20 Classification of Water for Irrigation . . . . .	53	20 - Classification des Eaux pour l'Irrigation . . . . .	53

TABLES/TABLEAUX

1 Estimated Water Available for Annual Recharge . . . . .	37	1A-Eau Estimée Disponible pour la Recharge Annuelle . . . . .	37
2 Static Storage Capacity of Aquifers . . . . .	43	2A-Capacité d'Emmagasinement Statique . . . . .	43
3 Summary of Groundwater Data by Areas . . . . .	70	3 Résumé des Données de l'Eau Souterraine . . . . .	70

APPENDIX/APPENDICE

Project Well Data . . . . .	70	Données des Puits du Projet . . . . .	70
Chemical Analysis of Water . . . . .		Analyse Chimique de l'Eau . . . . .	
Summary of Test Results . . . . .		Sommaire des Résultats des Essais . . . . .	
Water Production of Project Wells . . . . .		Production de l'Eau des Puits du Projet . . . . .	
Individual Well Data Sheets . . . . .		Feuilles de Données de Chaque Puits . . . . .	
Survey of Dug Wells . . . . .		Etude des Puits Foncés . . . . .	



## CHAPTER I CHAPITRE INTRODUCTION

### BACKGROUND

*This project is the culmination of a series of careful and systematic steps taken since 1962 by the Government of Senegal to develop its groundwater resources with assistance from the United States Agency for International Development.*

In 1962 the Minister of Public Works of the Government of Senegal, submitted to US/AID Senegal a document entitled "Program de Recherches Hydrogéologiques de 300 Millions Propose à l'A.I.D.," dated May 1962. This document requested financial assistance to undertake a program of hydrogeologic research and was based upon an earlier report prepared by the Comité Inter-Etats d'Etudes Hydrauliques entitled "Program d'Etude des Ressources en Eau du Senegal", dated 1962. The latter report contained a brief summary of the present state of hydrogeological research in Senegal, and a cost estimate for undertaking some twenty recommended hydrogeologic research studies to be carried out throughout the country.

Eleven of these twenty studies were included in the proposal submitted to US/AID. Subsequently Tudor Engineering Company, under AID Task Order 671, reviewed the studies and prepared a scope of services for a reconnaissance water resources survey aimed at establishing a program for the development and conservation of ground water resources in Senegal.

The Ralph M. Parsons Company of Los Angeles was selected to perform this reconnaissance under Contract AID/afr-116. After completing the work, the results were presented to AID in a report entitled "Hydrogeologic Reconnaissance, Republic of Senegal", dated November, 1963. The report recommended a dual purpose program which combined hydrogeological research and exploratory drilling with development drilling and the training of a Senegalese drilling crew. A project for undertaking most of the recommendations contained in the November 1963 report was then awarded to Parsons. A contract (AID/afr-468) was signed on 11 April 1967 in the amount of \$519,676 including the contractors fee. Subsequently the contract was amended in August 1968 which raised the basic amount to \$578,971.

### ARRIERE-PLAN

*Ce projet est l'aboutissement d'une suite d'études entreprises systématiquement et avec soin depuis 1962 par le Gouvernement du Sénégal pour développer ses ressources en eaux souterraines avec l'assistance de l'Agence des Etats-Unis d'Amérique pour le Développement International.*

En 1962, le Ministre des Travaux Publics du Gouvernement du Sénégal soumit à l'US/AID Sénégal, un document daté de Mai 1962 intitulé 'Programme de Recherches Hydrogéologiques de 300 Millions Proposé à l'A.I.D.'. Ce document demandait une assistance financière pour entreprendre un programme de recherches hydrogéologiques et se basait sur un rapport antérieur daté de 1962 du Comité Inter-Etats d'Etudes Hydrauliques intitulé "Programme d'Etude des Ressources en Eau du Sénégal." Ce dernier rapport contenait un bref sommaire sur l'état actuel des recherches hydrogéologiques au Sénégal et une estimation de prix pour entreprendre quelques vingt études de recherches hydrogéologiques à effectuer à travers tout le pays.

Onze de ces vingt études étaient proposées dans le rapport soumis à l'US/AID. Par la suite, la Compagnie Tudor Engineering, sous Task Order 671 de l'AID révisa les études et prépara un projet de services pour une étude de reconnaissance en eau visant à établir un programme pour le développement et la conservation des ressources en eau au Sénégal.

Sous contrat AID/Afr-116, la Cie Ralph M. Parsons de Los Angeles fut choisie pour effectuer cette reconnaissance. A la fin des travaux, un rapport daté de Novembre 1963 intitulé "Hydrogeologic Reconnaissance Republic of Senegal" fut présenté; celui-ci contenait les résultats de cette étude. Le rapport recommandait un programme à double but combinant d'une part les recherches hydrogéologiques et les forages d'exploration avec les forages de production et d'autre part, la formation technique d'une équipe de foreurs Sénégalais. Un projet pour la réalisation de la majeure partie des points recommandés dans le rapport de Novembre 1963 alors décerné à la Cie Parsons. Un contrat d'un montant de \$519.676 y compris les émoluments de l'entrepreneur, fut signé le 22 Avril 1967. Par la suite, le contrat fut modifié en août 1968, en relevant le montant de base à \$578.971.

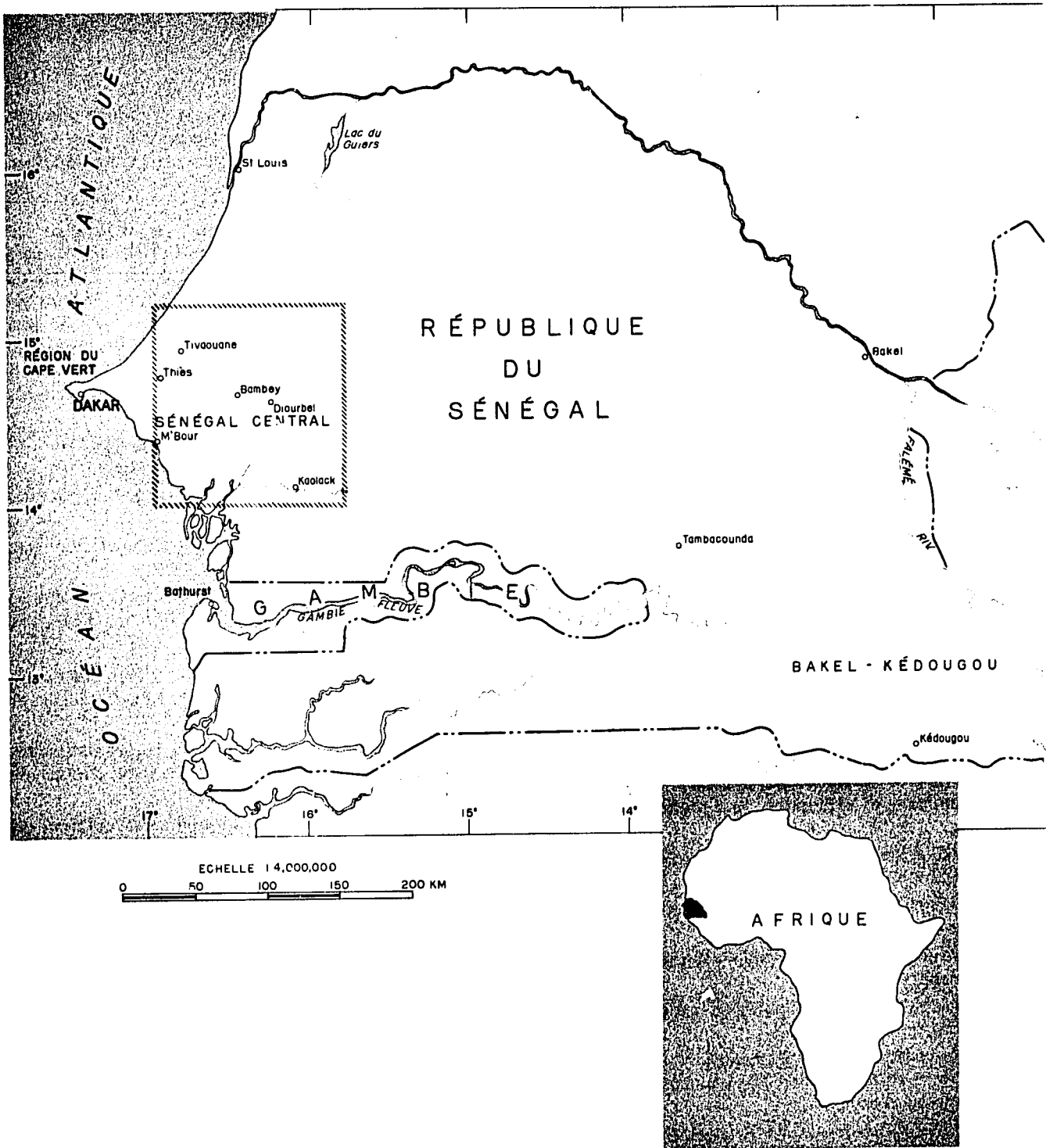


Figure 1 – Project location/Location du Projet





## Background

### OBJECTIVES OF THE CONTRACT

*A water well drilling program can yield more than water, for it can also provide valuable hydrogeological data and serve as a vehicle for training local technicians in the art of drilling.*

The contractual statement of work required the project staff to develop and provide basic hydrogeological data for Central Senegal; to provide sanitary water supplies in selected areas of critical need in Central Senegal; and provide the Government of Senegal with a fully-equipped and an adequately trained well-drilling team. The objectives to be achieved were as follows:

1. The determination of geologic and hydrologic parameters of the shallow phreatic aquifers.
2. The determination of design and construction criteria for production wells.
3. The construction of municipal, village, and livestock wells.
4. Provide the Government of Senegal with a trained drilling staff and the minimum necessary drilling equipment.

The Scope of Work listed specific tasks to be accomplished by the Contractor and included the following:

1. The preparation of specifications, the solicitation of bids and the purchase of a selected list of drilling, testing and support equipment.
2. The review of available data and the establishment of a program of exploratory and production well drilling.
3. The drilling and testing of five exploration and five observation wells.
4. The compilation and analysis of hydrogeologic data and the design of production wells.
5. The procurement of production well materials and equipment.
6. The construction and equipping of ten livestock or municipal water supply wells.
7. The construction of approximately thirty village water wells equipped with hand pumps or small, engine driven pumps.
8. Assist the Government of Senegal in selecting qualified driller and technical trainee applicants and provide the trainees with on-the-job training.
9. Rehabilitate all drilling and testing equipment upon completion of the drilling and training program.

## Arriere-plan

### BUTS DU CONTRAT

*Un programme de forage de puits d'eau peut produire plus que de l'eau car d'une part, il permet aussi d'obtenir de précieuses données hydrogéologiques et d'autre part, sert de moyen pour former des techniciens dans l'art de forer.*

L'exposé contractuel des travaux demandait au personnel du projet de développer et d'établir des données de base hydrogéologiques relatives au Sénégal Central, de pourvoir à des systèmes de réserves d'eau potable dans des régions du Sénégal Central Choisies à cause de leur manque critique d'eau, et de fournir au Gouvernement du Sénégal une équipe de foreurs totalement équipée et convenablement formée. Les objectifs à atteindre étaient les suivants:

1. Déterminer des paramètres géologiques et hydrogéologiques des aquifères phréatiques.
2. Déterminer des critères de construction pour les forages de production.
3. Construire des forages tant municipaux que bestiaux.
4. Fournir au Gouvernement du Sénégal une équipe de foreurs formée, et le minimum nécessaire d'équipement de forage.

Le plan de travail établissait une liste précise des travaux devant être accomplis par l'Entrepreneur et comprenant:

1. La préparation des spécifications, la sollicitation des offres et la commande d'une liste choisie de matériels de forages et d'essais.
2. La révision des données disponibles et l'établissement d'un programme de forages de puits d'exploration et de production.
3. L'exécution et l'essai de cinq forages d'exploration et de cinq forages d'observation.
4. La compilation et l'analyse des données hydrogéologiques et la préparation des forages de production.
5. L'acquisition de matériels et d'équipement pour les forages de production.
6. La construction et l'installation de dix forages de villages ou de forages pour le bétail.
7. La construction d'environ trente forages de villages équipés de pompes à main ou de pompes à petits moteurs.
8. Assister le Gouvernement du Sénégal dans le choix de foreurs qualifiés et de postulants stagiaires, ainsi que la formation de ces stagiaires, "sur le tas".



10. Prepare and submit such reports as are required, including a final report that would contain an evaluation of those hydrologic factors that affect the occurrence, movement, and replenishment of the phreatic aquifers of the study area based on new information acquired during the course of the study; an appraisal of the results of the training program; and recommendations for a program of further exploration and development of groundwater in the phreatic aquifer of Central Senegal.

9. Réhabiliter à la fin des programmes de forages et d'entraînement, tout le matériel de forage et d'essais.

10. Préparer et présenter des rapports tels qu'ils sont demandés, avec un rapport final qui étudierait les facteurs hydrologiques qui affectent l'occurrence, le mouvement et la recharge des aquifères phréatiques de la région étudiée basé sur les nouvelles informations recueillies au cours de l'étude; une appréciation des résultats du programme d'entraînement et des recommandations pour un prochain projet d'exploration, et de développement des eaux souterraines de l'aquifère phréatique du Sénégal Central.



Figure 2 — Fiftieth well completed in March, 1968 at Keur Mandaro/  
Le cinquantième puits achevé en Mars 1968 à Keur Mandaro



## CHAPTER II CHAPITRE SUMMARY / SOMMAIRE

A ground water resources survey and development project was completed 28 February 1969 in an area encompassing 6,563.7 square miles of Central Senegal under contract to the United States of America Agency for International Development for the Government of Senegal.

The program conducted by The Ralph M. Parsons Company included hydrogeological research and exploratory drilling, construction of production wells, and the training of a Senegalese drilling staff. A total of fifty wells was drilled and forty of these were completed as development water wells. Of this number, ten wells were originally drilled as test wells and five as observation wells.

The wells varied in depth from 35 to 832 feet with a total footage of 6,360 feet drilled, using one Bucyrus-Erie cable tool drilling rig for a period of one year. Average depth to water was 41 feet.

Tested pumping rates of the wells varied from 30 to 720 gallons per minute. Specific capacities varied from 0.5 to 750 gallons per minute per foot of drawdown; transmissibilities from 4,200 to 615,000 gallons per day per foot of aquifer; and storage coefficients from  $0.5 \times 10^{-1}$  to  $0.5 \times 10^{-3}$ .

Estimates of the dynamic yield, the static storage, the specific yield and the water requirements for domestic and animal needs were made. A water deficit was found to exist between the desirable, minimum, human requirements for the area and the present supplies produced from groundwater. This deficit of approximately  $6,789.9 \times 10^6$  gallons per year is well below the available groundwater resource estimated to be  $401,214.12 \times 10^6$  gallons per year. The Project wells had a combined tested capacity of 5.3 million gallons per day, or on a projected basis,  $1,928.6 \times 10^6$  gallons per year. Maximum estimated capacity of these wells is  $3,963 \times 10^6$  gallons per year on a 12-hour per day pumping basis.

Phreatic hydrogeological conditions in the project area are diverse, with water being found in limestones, laterites, and sands. In general exploitable water at reasonable depths occurs in about 80 percent of the area.

The original plan required the installation of hand, or motor-driven pumps, in the development wells. Later this was amended and thirty-three wells were equipped with hand pumps, and six wells were to be installed with engine-driven reciprocating pumps that were available in Senegal. In the end, pumps for these six wells were not installed, at the request of the Government of Senegal.

Sous contrat de l'Agence des Etats-Unis d'Amérique pour le Développement International, la Société Ralph M. Parsons a achevé le 28 Février 1969 un projet d'études et de développement des ressources d'eaux souterraines dans une région de 17.000 kilomètres carrés au Sénégal Central..

Le programme comprenait les recherches hydrogéologiques, les forages d'exploration, la construction de puits de production et la formation technique d'une équipe de foreurs Sénégalais. Au total, cinquante puits furent forés et quarante d'entre eux furent achevés comme puits de production. De ce nombre, dix puits avaient initialement été forés comme forages d'essais, et cinq comme forages d'observation.

Les puits variaient en profondeur de 10,7 à 253,6 mètres avec un total foré de 1939 mètres et il a été utilisé pendant un an, une sondeuse par battage BUCYRUS-ERIE. La profondeur moyenne du niveau de l'eau était de 12,5 mètres.

Les taux de pompage testés dans les puits, variaient de 1,9 à 45,4 litres à la seconde. Les capacités spécifiques variaient de 0,104 à 156 litres à la seconde par mètre de rabattement, les transmissivités de 52,15 à 7.637 mètres cubes par jour par mètre d'aquifère, et les coefficients d'emmagasinement de  $0,5 \times 10^{-1}$  à  $0,5 \times 10^{-3}$ .

Des estimations furent faites sur le débit dynamique, l'emmagasinement statique, le débit spécifique et sur les besoins en eau des humains et du bétail. Il apparut un déficit en eau entre le minimum des besoins humains désirable pour la région et les réserves réelles d'eaux souterraines. Ce déficit d'environ  $25,7 \times 10^6$  mètres cubes par an est bien en-dessous de la ressource souterraine disponible de  $1518,6 \times 10^6$  mètres cubes par an, débit dynamique estimé. Les puits du projet avaient une capacité d'ensemble testée à 20.060 mètres cubes par jour, soit pour une estimation de base  $7,3 \times 10^6$  mètres cubes par an. La capacité maximum de ces puits sur une base de pompage de 12 heures par jour est estimée à  $15 \times 10^6$  mètres cubes par an.

Les conditions hydrogéologiques phréatiques dans la région du projet sont diverses avec de l'eau se trouvant soit dans les calcaires, les latérites et les sables. En général, l'eau exploitable à des profondeurs raisonnables, se rencontre sur environ 80 pourcent de la région.

Le plan initial prévoyait l'installation de pompes à main ou de pompes à moteur dans les forages de production mais cela fut modifié par la suite. A la fin du



pending budget revisions which would provide funds for fuel requirements and the construction of adequate storage facilities. An order for eleven additional turbine pumps was canceled for lack of available funds for the same reasons.

A survey of 268 hand dug wells was made and an inventory of the static water levels and water quality was compiled.

Complete detailed well reports were made for each well in English and French. These contain all the data concerning the geology, hydrogeology and construction of each well in mimeograph form and hand-drafted plates and pump data sheets. These important records were bound in single volumes, of fifty wells each, and distributed in eight copies to the United States Government and nine copies to the Government of Senegal for permanent record.

Water quality determinations were made on all water samples from dug wells and drilled wells using an electrical conductivity bridge. Also complete laboratory analyses were made on all samples of water from each Project well.

The training program, while of limited duration due to financial problems, successfully demonstrated the ability and willingness of the Senegalese trainees to learn the rudiments of water well drilling and construction under difficult field conditions. It also helped to emphasize the need for funding larger, long-term training programs in both the drilling and the hydrogeological phases of groundwater development.

projet, trente-trois puits étaient équipés de pompes à main et six puits devaient être équipés de pompes à mouvements alternatifs, entraînés par moteur et celles-ci se trouvaient sur place au SENEGAL. L'installation de ces 6 pompes n'avait pas été affectuée sur la demande du Gouvernement du Sénégal qui attendait des révisions de budget qui auraient alloué des fonds pour subvenir aux frais de carburant et à ceux de la construction des réservoirs adéquats. Une commande de onze pompes à turbines fut annulée par manque de fonds disponibles pour leur mise en opération.

Une étude de 268 forçés fut effectuée et un inventaire des niveaux statiques de l'eau et de sa qualité, a été fait.

Des rapports de forages complets de détaillés pour chaque puits. furent établis en Anglais et en Français Les rapports, tapés sur papier duplicateur, contiennent toutes les données relatives à la géologie l'hydrogéologie et à la construction de chaque forage; à ceux-ci sont joints des planches dessinées et des annexes concernant les résultats de pompage; ils furent reliés en des volumes uniques de cinquante rapports chaque dont huit copies furent données au Gouvernement des Etats-Unis et neuf autres au Gouvernement du Sénégal pour archives.

Des déterminations sur la qualité de l'eau furent effectuées à l'aide d'un pont de conductivité à partir de tous les échantillons d'eau prélevés sur les puits forçés et ceux forés; par ailleurs, des analyses chimiques complètes furent faites sur les échantillons prélevés sur chaque puits.

Le programme d'entraînement, bien que de durée limitée à cause de problèmes financiers a brillamment démontré la possibilité et la volonté des stagiaires locaux d'apprendre les rudiments de forages et de construction malgré de difficiles conditions de chantier. Il aida aussi à souligner la nécessité de programmes d'entraînement plus importants et plus longs se rapportant aux phases de forages et d'hydrogéologie pour l'exploitation des eaux souterraines.



## CHAPTER III CHAPITRE THE PROJECT / LE PROJET

### MOBILIZATION

*Often times the difficulties and delays connected with the acquisition of equipment and supplies for an overseas drilling operation exceed the technical difficulties encountered in the field.*

The Plan of Execution set forth in the contract contained time estimates for accomplishing the various phases of the work within eighteen months.

Four months were allocated in the United States for processing personnel and the procurement and shipment of equipment to Senegal. Twelve months were scheduled for completing the field work in Senegal after the arrival of equipment and personnel, and two months were planned to prepare the final project report back in the Contractor's Home Office in Los Angeles.

The time in Senegal was divided so that 1) the first five months were to be spent obtaining the necessary information to design the production wells and procure additional well construction materials, and 2) the remaining seven months were allocated for the construction of production wells.

On April 27, 1967, the Contractor notified the AID Office for Small Business of its intent to procure, by bid, materials and equipment for the Project. Specifications were prepared and completed by the end of May. On June 26 bids were opened for some of the first purchases of equipment and materials. Subsequent purchase orders were extended to October 4 and the final order for the first phase procurement was made on November 30.

During this time recruitment of American personnel was proceeding as scheduled; however, due to the inability of manufacturers to supply and ship some of the materials on schedule, the departure of the Project personnel to Senegal was delayed some three months.

A few items of transportation equipment arrived as early as December 14, but the drilling rig and the remainder of the equipment, materials, and supplies did not arrive and clear through customs until the period, January to mid-April, 1968. The average time expended from the date purchase orders were placed until shipments were cleared through customs in Senegal was seven months for each order.

The Project Manager arrived in Dakar November 24, 1967 and established an interim office in the Hotel Croix du Sud for December. In January he moved into an office provided by the Government of Senegal in the Public Works Building at Fann. One American driller and a hydrogeologist arrived in December, and a second driller arrived in January. This constituted the total American technical staff.

### MOBILISATION

*Maintes fois, les difficultés et les retards relatifs à l'acquisition des matériels et fournitures pour un projet de forage à l'étranger étaient supérieurs aux difficultés techniques rencontrées sur le chantier.*

Le Plan d'Exécution établi dans le contrat, comprenait des estimations de temps pour l'accomplissement des diverses phases de travaux à moins de 18 mois.

Quatre mois furent alloués aux Etats-Unis pour le recrutement du personnel, l'acquisition et l'expédition des matériels pour l'achèvement des travaux de chantier au Sénégal après l'arrivée du personnel et du matériel, et deux mois furent prévus à la préparation de rapport final dans les bureaux de l'Entrepreneur à Los Angeles.

La durée des travaux au Sénégal fut divisée pour que 1) les cinq premiers mois soient passés à obtenir les informations nécessaires à préparer les emplacements de forages de production et à acquérir du matériel de construction de forage supplémentaire et 2) les sept mois restants soient employés à la construction des forages de production.

Le 27 Avril 1967, l'Entrepreneur informa le Bureau de l'AID pour les petites affaires, de son désir d'acquérir par appels d'offres les matériels et équipements du Projet. Des spécifications furent préparées et complétées à la fin du mois de Mai. Le 26 Juin, des offres furent lancées pour quelques-unes des premières commandes d'équipements et de matériels. Les bons de commande consécutifs furent prolongés jusqu'au 4 Octobre et la commande ferme pour l'acquisition de la première partie du matériel fut passée le 30 Novembre.

Entre temps, le recrutement du personnel américain se poursuivait comme prévu; néanmoins, le départ des membres du personnel du Projet fut retardé de quelque trois mois du fait de l'impossibilité où se trouvaient les fabricants de fournir et d'expédier en temps voulu, une partie du matériel.

Une partie du matériel de transport arriva à Dakar dès le 14 Décembre, mais la sondeuse et le restant: équipements, matériels et fournitures, n'arrivèrent et ne furent dédouanés qu'entre Janvier et mi-Avril 1968. La moyenne du temps écoulé entre la date de passation de la commande et celle où les expéditions furent dédouanées au Sénégal, était de sept mois par bon de commande.

Le Chef de Mission arriva à Dakar le 24 Novembre 1967 et établit un bureau à l'Hôtel de la Croix du Sud au cours de mois de Décembre. Il emménagea dans les bureaux fournis par le Gouvernement du Sénégal en Janvier; ceux-ci étaient situés à Fann dans le Bâtiment des



Recruitment of local personnel for the office and field work in Senegal started in December and was gradually increased to include, at maximum staffing, the following personnel:

- 1 bilingual secretary
- 1 translator
- 1 bookkeeper (half-time)
- 1 draftsman (half-time)
- 1 warehouseman
- 3 drivers
- 2 welders
- 3 pumpmen
- 2 laborers
- 3 watchmen

Salaries and expenses of these individuals were provided in the regular Project budget from local currency.

Four technical school graduates and one university graduate were selected by the Government of Senegal to participate in the Project Trainee Program which started in January 1968. Salaries and expenses of these trainees was to be provided by the Government. A more detailed discussion concerning the results of the trainee program is presented on page 18 of this report.

Limited field operations were started on the Monitrice well near Thiès on February 1, 1968, despite the fact that only part of the drilling and camp equipment was in Senegal at the time. This was necessary in order to familiarize the crews with the drill rig operation and to try to maintain the field schedule. The American personnel commuted daily to the field from Dakar during this time and the Senegalese staff found lodging in Thiès.

By the end of February, a partial field camp was established at Pékess, in the northern part of the Project area, and work on the second well at Mérina N'Dakhar was commenced. However, it was not until April 21 that the large truck, the testing equipment and the remainder of the camp facilities were available in the field - almost three months after the drilling operations commenced.

Travaux Publics. Un foreur et un hydrogéologue américains arrivèrent en Décembre; un autre foreur arriva en Janvier.

Le recrutement des employés sur place, pour les bureaux et le chantier commença en Décembre et continua progressivement jusqu'à atteindre le maximum d'employés suivants:

- 1 secrétaire bilingue
- 1 traductrice
- 1 comptable (à mi-temps)
- 1 dessinateur (à mi-temps)
- 1 magasinier
- 3 chauffeurs
- 2 soudeurs
- 3 puisatiers
- 2 manoeuvres
- 3 gardiens

Les salaires et les frais de ces employés furent prélevés sur le budget du Projet monnaie locale.

Quatre diplômés d'Ecole Technique et un licencié d'Université furent choisis par le Gouvernement du Sénégal pour participer au Programme d'entraînement du projet qui commença en Janvier 1968. Les salaires et les frais de ces stagiaires devaient être assurés par le Gouvernement. Des discussions plus détaillées concernant les résultats du programme d'entraînement sont relatées en page 18 de ce rapport.

Des opérations de chantier de petite envergure débutèrent le 1er Février 1968 sur le forage des Monitricés non loin de Thiès en dépit du fait qu'une partie seulement des matériels de forage et de campement se trouvait sur place à l'époque. Ceci s'avérait nécessaire pour familiariser les équipes de travail au maniement de la sondeuse et pour essayer de maintenir le plan de travail du chantier. Le personnel américain se rendait journalièrement de Dakar sur le chantier à cette époque, et le personnel Sénégalais s'était trouvé des logements à Thiès.

A la fin du mois de Février, une partie du campement était établie à Pékess dans la partie nord de la région du projet, et les travaux sur le deuxième forage à Mérina N'Dakhar, avaient démarré. Néanmoins, ce ne fut qu'environ trois mois après le démarrage des opérations de forage, le 21 Avril 1968, que le grand camion, les équipements d'essais et le restant des installations du campement furent disponibles sur le chantier.



## The Project

### DRILLING PROGRAM

*The terms of the contract required that a total of approximately fifty wells be drilled during the program—five test wells and five associated observation wells, approximately ten livestock and municipal wells, and approximately thirty smaller capacity village wells.*

The completed program consisted of ten large capacity livestock and municipal wells, five observation wells, thirty-one development wells, and four abandoned wells, for a total of fifty wells. The diversity of the hydrogeological conditions in the project area required that ten exploratory wells be drilled, of which eight were tested, instead of the originally specified five wells. Locations of all the wells are shown on the following page. Summarized well information is contained in Table A-1 of Appendix. This is followed by detailed well data sheets for each well which are reductions of the plates submitted to AID in the individual well completion reports.

A schedule of exploration and development drilling was outlined in the contract. The program was to begin with the drilling and testing of an exploratory well and an associated observation well at each of five different locations in the project area. Upon completion of the exploratory phase, all hydrogeological data would be analyzed, production well design determined, orders placed for materials to construct the development wells, production well sites determined, and the construction of production wells undertaken.

Operations in each area were from a centrally located camp in that area. Due to a delayed start in the full-scale drilling program and for logistical reasons, it became necessary to modify the sequence of drilling as recommended in the contract. Instead of drilling and testing five consecutive exploratory wells in five different areas, both exploratory and development wells were drilled in each area before beginning operations in another area.

Requisitions for the final order of materials and supplies required for construction of the wells were prepared during the first five months of the field operations.

## Le Projet

### PROGRAMME DE FORAGE

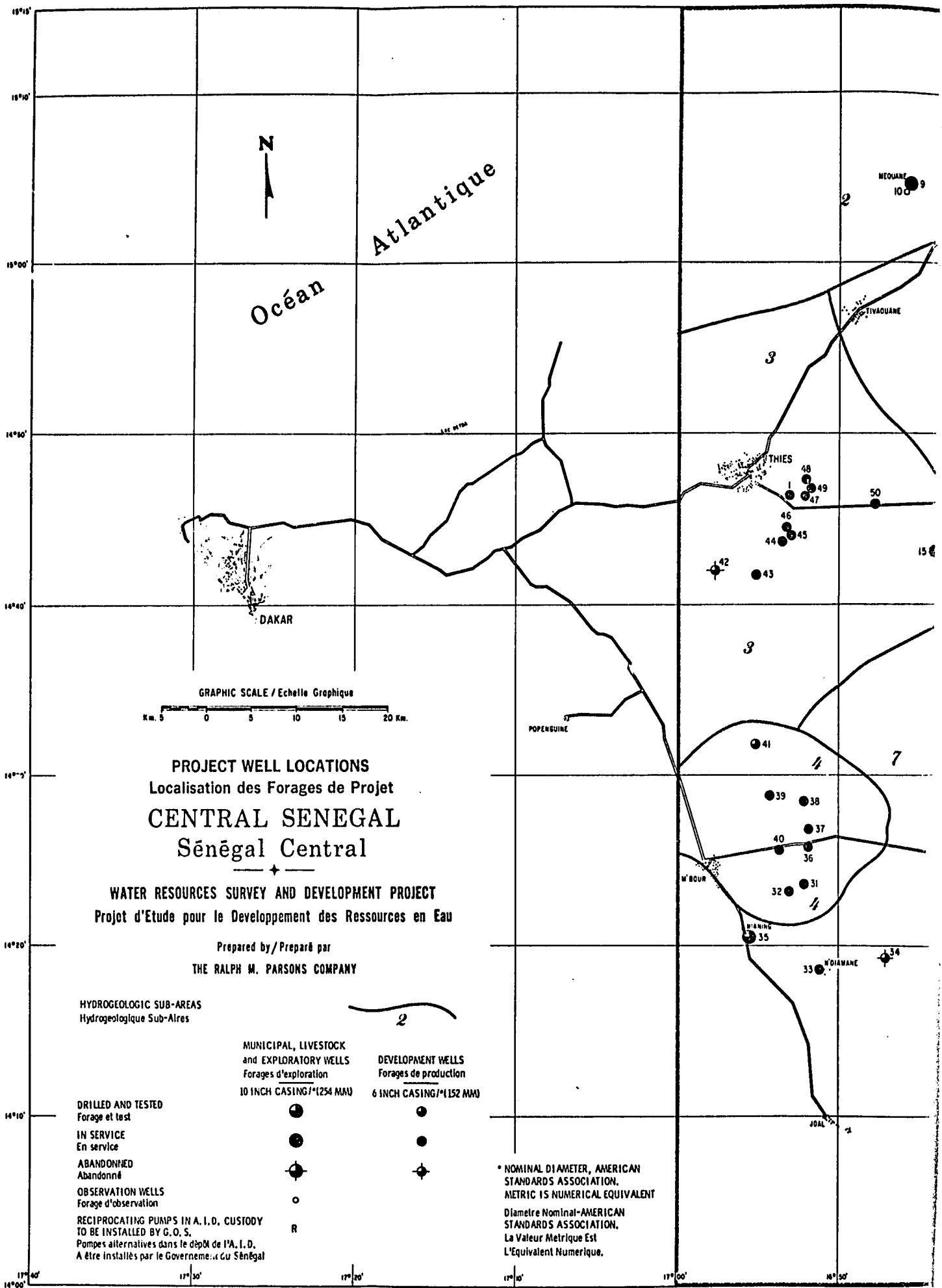
*Les termes du contrat stipulaient la construction totale d'environ cinquante puits au cours du programme. Ils devaient consister en cinq forages d'exploration, cinq forages d'observation, environ dix forages municipaux et bestiaux, et à peu près trente forages de villages, d'une capacité inférieure.*

Le programme achevé consistait en dix forages municipaux et bestiaux d'une capacité supérieure, cinq forages d'observation, trente-et-un forages d'observation, trent-et-un forages de production et quatre forages abandonnés, soit un total de cinquante forages. La diversité des conditions hydrogéologiques dans la région du projet, imposa la construction de dix forages d'exploration et de neuf testés, à la place des cinq prévus initialement. Les localisations de tous les forages sont indiquées à la page suivante. Un résumé des informations relatives aux forages figure dans le Tableau A-1 de l'Appendice A. Il est suivi de planches contenant les données de chaque forage qui sont des miniatures des planches présentées au Gouvernement et à l'AID dans les rapports individuels des forages achevés.

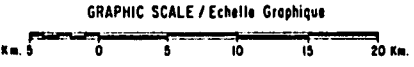
Un plan d'action pour l'exploration et les forages de production était indiqué dans le contrat. Le programme devait démarrer en forant et en testant un puits d'exploration et un puits d'observation dans chacune des cinq différentes régions du projet. A la réalisation de la phase exploration, toutes les données hydrogéologiques devaient être analysées, les caractéristiques des forages de production déterminées, les commandes de matériels pour la construction des forages de production passées, les emplacements de forages de production choisis, et la construction des forages de production démarrée.

Les opérations dans chaque région étaient menées à partir d'un camp situé au centre de celle-ci. Il devint nécessaire de modifier l'ordre des forages prévu par le contrat du fait du démarrage retardé du programme de forage, sur une grande échelle, et pour des raisons logistiques. Au lieu de forer et de tester cinq forages d'exploration consécutifs dans cinq régions différentes, des forages tant d'observation que de production furent construits dans chaque région avant de commencer les travaux dans une région différente.

Les dernières commandes de matériaux et de fournitures pour la construction des forages furent préparées au cours des cinq premiers mois des opérations sur le chantier.



Océan Atlantique



**PROJECT WELL LOCATIONS**  
**Localisation des Forages de Projet**  
**CENTRAL SENEGAL**  
**Sénégal Central**

**WATER RESOURCES SURVEY AND DEVELOPMENT PROJECT**  
**Projet d'Etude pour le Developpement des Ressources en Eau**

Prepared by/Préparé par  
**THE RALPH M. PARSONS COMPANY**

HYDROGEOLOGIC SUB-AREAS  
 Hydrogéologique Sub-Aires

- |  |  |   |
|--|--|---|
|  | 2  |   |
|  | MUNICIPAL, LIVESTOCK<br>and EXPLORATORY WELLS<br>Forages d'exploration<br>10 INCH CASING/*(254 MM) | DEVELOPMENT WELLS<br>Forages de production<br>6 INCH CASING/*(152 MM) |
| DRILLED AND TESTED<br>Forage et test   | ●  | ●   |
| IN SERVICE<br>En service   | ●  | ●   |
| ABANDONED<br>Abandonné   | ●  | ●   |
| OBSERVATION WELLS<br>Forage d'observation  | ○  | ○   |
| RECIPROCATING PUMPS IN A. I. D. CUSTODY<br>TO BE INSTALLED BY G. O. S.<br>Pompes alternatives dans le dépôt de l'A. I. D.<br>A être installés par le Gouvernement du Sénégal | R  |   |

\* NOMINAL DIAMETER, AMERICAN STANDARDS ASSOCIATION. METRIC IS NUMERICAL EQUIVALENT  
 Diamètre Nominal-AMERICAN STANDARDS ASSOCIATION. La Valeur Métrique Est L'Equivalent Numérique.



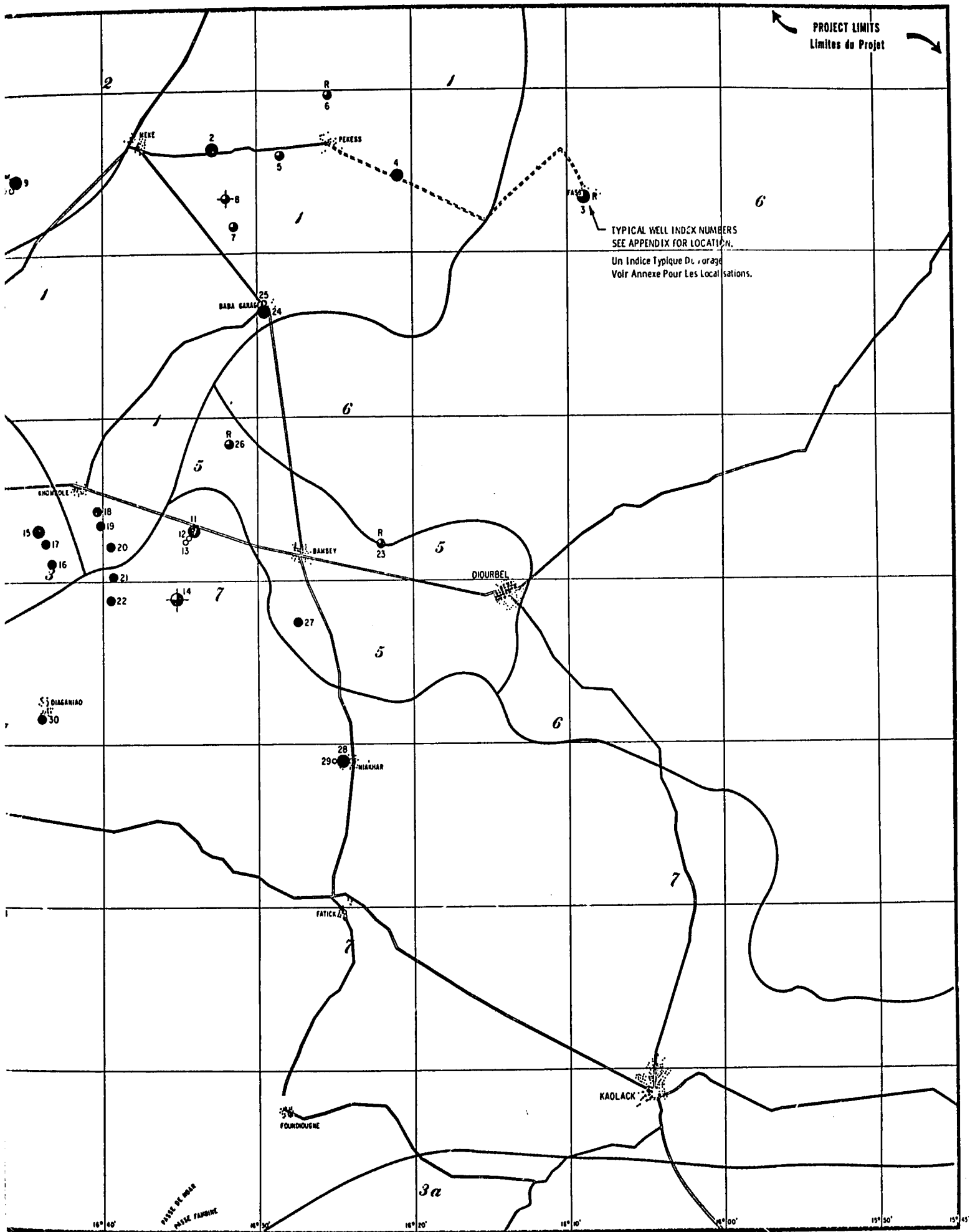


Figure 3 - Project well locations/  
Localisation des forages de projet



## The Drilling Program

### EXPLORATION WELLS

Ten exploratory wells were constructed, and eight were tested, in the program. Observation wells were constructed in connection with five of the test wells. The test well sites were selected largely on the basis of program research requirements; however, where possible the wells were located at sites recommended for water supply development by the Government of Senegal.

The method utilized in the construction of the wells consisted of drilling and driving casing in a continuous operation; sampling materials penetrated; bail-testing the various aquifers encountered; and, taking water samples from all aquifers for chemical analysis or conductivity determination. Upon completion of drilling, the casing would be perforated with a Mills Knife, a down-the-hole type casing perforator, in the aquifer selected for exploitation.

Development was accomplished with a turbine test pump by overpumping and backwashing. The limestone aquifers, in which seven of the ten test wells were completed, varied considerably in the time required to complete development. For example, the Merina N'Dakhar limestone aquifer was very sandy and required twenty-eight hours of development, while the Dangalma limestone aquifer was clean and required no development. Two test wells were not completed in limestone but were completed in weakly cemented sandstone and laterite, and required seventeen hours and two hours of development, respectively.

The exploratory wells were given two types of pump tests; a step-test to determine drawdown at various pumping rates, and a constant-rate pump test that enables calculation of aquifer parameters.

Specific capacities calculated from step-test data varied from 0.5 gallons per minute per foot of drawdown at Fass to 750 gallons per minute per foot of drawdown at Dangalma. Calculation of reliable aquifer constants from constant-rate pump test data was difficult in some cases and impossible in others because of distortion of drawdown and recovery curves by high rates of aquifer recharge during tests. The recharge appears to be due largely to leakage from confining beds.

## Programme de Forage

### FORAGES D'EXPLORATION

Au cours du programme, dix forages d'exploration furent forés et neuf d'entre eux testés. Les forages d'observation furent construits en liaison avec cinq forages d'exploration. Les emplacements des forages d'exploration furent choisis en grande partie sur la base des besoins du programme de recherches. Néanmoins, les forages étaient situés autant que possible, dans des endroits proposés par le Gouvernement du Sénégal pour le développement des ressources en eau.

Les méthodes utilisées pour la construction des puits furent le forage et l'enfoncement du tubage en une seule opération, l'échantillonnage des couches rencontrées, le test de débits des différentes couches aquifères pénétrées et le prélèvement d'échantillons d'eau de toutes les couches aquifères pour les analyses chimiques ou la détermination de conductivité. A la fin du forage, le tubage serait perforé au Mills-Knife, une perforatrice intérieure de tubage dans la couche aquifère choisie pour l'exploitation.

L'Exploitation fut effectuée par pompage et lavage à l'aide d'une pompe de test à turbine. Le temps requis au développement des couches aquifères calcaires dans lesquelles sept des dix forages d'exploration sont achevés, variait considérablement. La couche aquifère calcaire de Merina N'Dakhar par exemple, était très sablonneuse et demandait vingt-huit heures d'exploitation, tandis que celle de Dangalma était nette et ne nécessita pas d'exploitation. Deux forages d'exploration ne furent pas achevés dans du calcaire, mais dans du grès faiblement cimenté et de la latérite, ils nécessitèrent respectivement dix-sept et deux heures d'exploitation.

Deux genres d'essais de pompage furent effectués sur les forages d'exploration, d'une part, un essai progressif pour la détermination du rabattement à de différents taux de pompage et d'autre part, un essai à un taux de pompage constant qui permet le calcul des paramètres de la couche aquifère.

Les capacités spécifiques, calculées d'après les résultats des essais progressifs, variaient de 0.104 litres à la seconde par mètre de rabattement à Fass à 156 litres à la seconde par mètre de rabattement à Dangalma. Le calcul des constantes de la couche aquifère basé sur les résultats des tests à taux invariable fut difficile dans certains cas et impossible dans d'autres à cause de la distorsion des courbes de débit et de la reprise, distorsion motivée par des recharges aquifères très importantes au cours des essais. La recharge semble être due en grande partie, à des fuites provenant des couches adjacentes.



Transmissibility coefficients varied from 4,200 gallons per day per foot at Meouane to 23,000 gallons per day at Goundiane and 98,000 gallons per day at Baba Garage, to 615,000 gallons per day at Dangalma. Estimated coefficients of transmissibility at other sites are: Fass, 1000, Merina N'Dakhar, 60,000, Niakhene, 80,000, and Niakhar, 70,000 gallons per day per foot. Approximate coefficients of storage were  $1.2 \times 10^{-3}$  at Meouane, 0.05 at Dangalma and  $5 \times 10^{-4}$  at Niakhar and Baba Garage.

Les coefficients de transmissivité variaient de 52.15 mètres cubes par jour par mètre à Méouane à 286 mètres cubes par jour par mètre à Goundiane, et 1,216 à Baba Garage, et à 7,637 à Dangalma. Les estimations des coefficients de transmissivité des autres emplacements sont: Fass, 12.4; Mérina N'Dakhar, 745; et Niakhene, 993; et Niakhar 869. Les coefficients approximatifs d'emmagasinement étaient de  $1.2 \times 10^{-3}$  à Méouane, de 0,05 à Dangalma et de  $5 \times 10^{-4}$  à Niakhar et Baba Garage.

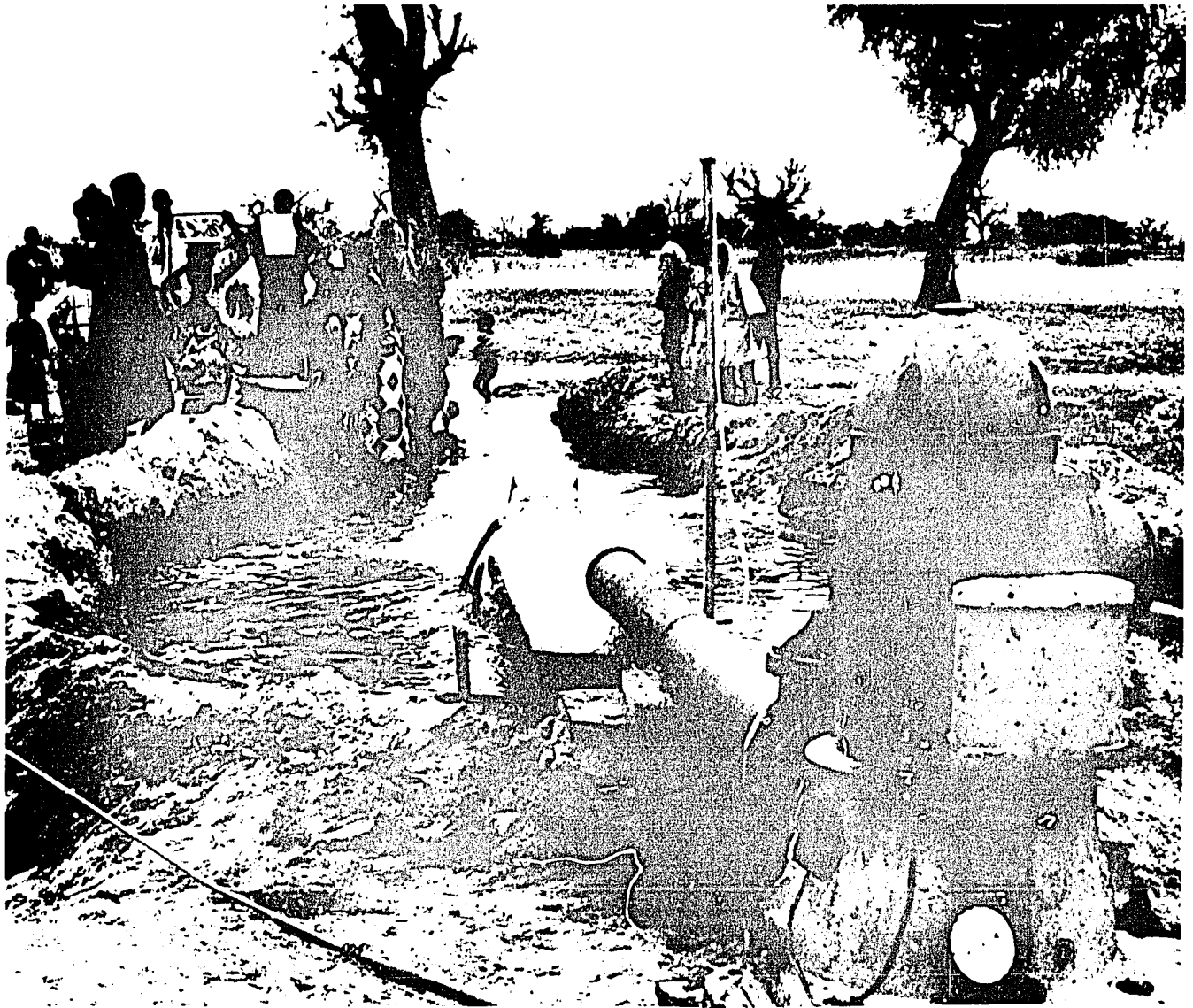


Figure 4 – Conducting pump test of well number 24 at Baba Garage/  
Essais de pompage du puits No. 24 à Baba Garage



## The Drilling Program

### DEVELOPMENT WELLS

Fifty wells were drilled in total, with forty of these being completed as development wells. The method of constructing the development wells was similar to that of the test wells except for more extensive development and testing performed on the test wells. The development wells were constructed by drilling and casing the hole through the production zone, perforating the casing in the production zone, developing the well with a bailer, and performing a bail test, or a centrifugal pump test. As with the exploratory wells, all water bearing zones were bail-tested and water samples taken for conductivity readings and subsequent laboratory chemical analyses.

Individual construction diagrams of each well along with the stratigraphy of formations penetrated are contained in the appendix of this report beginning with page A-11. Pump test curves are also included.

Following the bail test, a reinforced concrete slab was constructed around the casing. Two types of slabs were constructed depending upon the type of pump to be installed in the well (figure 5). The wells were completed with either 6-inch or 10-inch diameter casing in the hole.<sup>1</sup> At the surface the casing extended a few inches above the concrete slab so that a 5/8-inch thick flange<sup>1</sup> could be welded to the top of each casing. These flanges were torch-cut from heavy steel plate and had bolt holes set to match those on the base of the hand pumps. In this way, a more solid and permanent pump installation was obtained than could have been done by anchoring the bolts into the concrete slab.

Ten of the wells were to have had turbine pumps; six, small, gasoline engine-driven reciprocating pumps; and, twenty-four with hand pumps. All wells were completed in a manner to handle these pumps; however, at a late date in the Project the Government of Senegal, with concurrence from AID, decided not to have the Contractor install the engine-driven pumps since there was a lack of funds available for fuel, maintenance and the construction of proper water storage facilities. As a consequence, thirty-three of the wells were installed with hand pumps and the remaining wells were capped with welded steel plates awaiting availability of funds to go ahead with the installation of the six reciprocating engine-driven pumps purchased with project funds and in storage in Dakar. Eleven turbine pumps, including a turbine test pump, which were on order and in process of being shipped to Senegal were held up by the Gulf Coast

<sup>1</sup> Nominal diameter American Standards Association, metric value is numerical equivalent.

## Programme de Forage

### FORAGES DE PRODUCTION

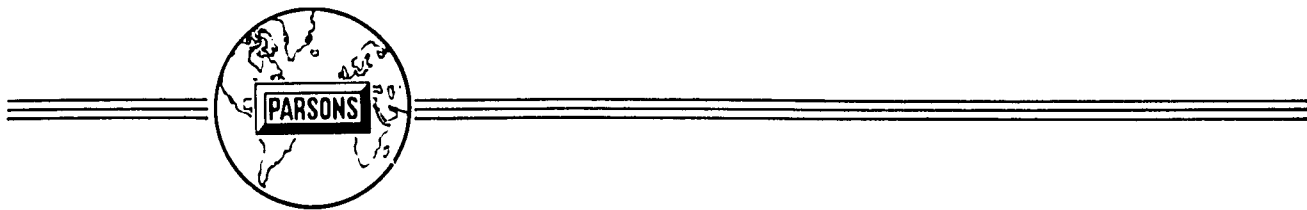
Des cinquante puits forés au total, quarante furent achevés comme forages de production. La méthode de construction des forages de production était similaire à celle des forages d'exploration avec la différence que les forages d'exploration furent exploités et testés plus longuement. Les forages de production furent construits en forant et tubant l'orifice à travers la zone de production, en perforant le tubage dans la zone de production, en exploitant le forage avec un bailer, en effectuant un test au bailer ou à la pompe centrifuge. Comme pour les forages d'exploration, toutes les couches contenant de l'eau furent testées au bailer et des échantillons d'eau prélevés pour des lectures de conductivité et des analyses chimiques.

Des schémas individuels de construction pour chaque puits, ainsi que la stratigraphie des formations pénétrées, sont inclus dans l'Appendice de ce rapport, à la page A-11 et suite. Des graphiques d'essais de pompage y sont aussi inclus.

Après le test au bailer, une dalle de béton armé fut coulée autour du tubage. Suivant le genre de pompe qui devait être installée, deux sortes de dalles furent coulées. Des tubages de 152 millimètres ou 254 millimètres<sup>1</sup> de diamètre furent utilisés dans l'orifice pour achever les forages. En surface, le tubage dépassait de quelques pouces la dalle de béton pour qu'un bourrelet de 16 millimètres<sup>1</sup> puisse être soudé au bout de chaque tubage. Ces bourrelets avaient été coupés au chalumeau à partir de planches d'acier lourd et avaient des orifices de boulons percés pour concorder avec ceux se trouvant sur la base des pompes à main. Ce faisant, une installation plus solide et plus durable de la pompe fut obtenue; un ancrage des boulons dans la dalle de béton n'aurait pas permis un tel résultat.

Dix des forages devaient être équipés de pompes à turbine, six de petites pompes à mouvements alternatifs entraînés par des moteurs à essence et vingt-quatre, de pompes à main. Tous les forages furent achevés de façon à manutentionner ces pompes; néanmoins vers la fin de Projet, le Gouvernement du Sénégal avec l'accord de l'AID, décida que l'Entrepreneur n'installerait pas les pompes entraînées par des moteurs à cause d'un manque de fonds pour les frais d'essence d'entretien et de construction de réservoirs adéquats. Ceci étant, trente-trois des forages furent équipés de pompes à main et les autres furent capsulés de plaques d'acier soudées en attendant la disponibilité des fonds qui permettraient

<sup>1</sup> Diamètre nominal American Standards Association, la valeur métrique est l'équivalent numérique.



dock-workers' strike. This order was subsequently canceled as it would neither arrive within the time limit of the contract, nor were local funds available for operation of the pumps.

Most of the wells are to be used for household, livestock and minor irrigation; however, a few of the wells are located adjacent to grazing areas and will be used primarily for livestock. Water from the Niakhar, Diaganiao, Tarhoun and Keur Samba Ba drilled wells is considerably inferior in quality to perched water obtained from local dug wells, thus the drilled wells will be utilized exclusively for livestock.

Spare parts for one year of operation have been stocked for all of the pumps. With proper maintenance and renewed stocks of spare parts the pumps should have a useful life of more than ten years.

l'installation des six pompes à mouvements alternatifs entraînés par moteurs, achetées avec l'argent de Projet, et en dépôt à Dakar. Onze pompes à turbine dont une pompe de test, qui étaient commandées et sur le point d'être expédiées au Sénégal, furent retardées par la grève des dockers du Gulf Coast. Par la suite, cette commande fut annulée car d'une part, elle ne serait pas arrivée en temps voulu par le contrat, et d'autre part, il n'y avait pas de fonds disponibles pour la mise en route des pompes.

La plupart des forages doivent être utilisés pour le ménage, le bétail, et pour un peu d'irrigation. Néanmoins, quelques forages sont situés non loin de zone de pâturage et seront essentiellement utilisés pour le bétail. L'eau des forages de Niakhar, Diaganiao, Tarhoun et Keur Samba Ba étant d'une qualité considérablement inférieure à celle des puits foncés locaux, les forages seront-ils donc exclusivement utilisés pour le bétail.

Pour toutes les pompes, des pièces détachées ont été stockées pour une année d'opération. Avec un entretien convenable et un renouvellement des stocks de pièces détachées, les pompes devraient avoir un rendement normal pendant plus de dix ans.

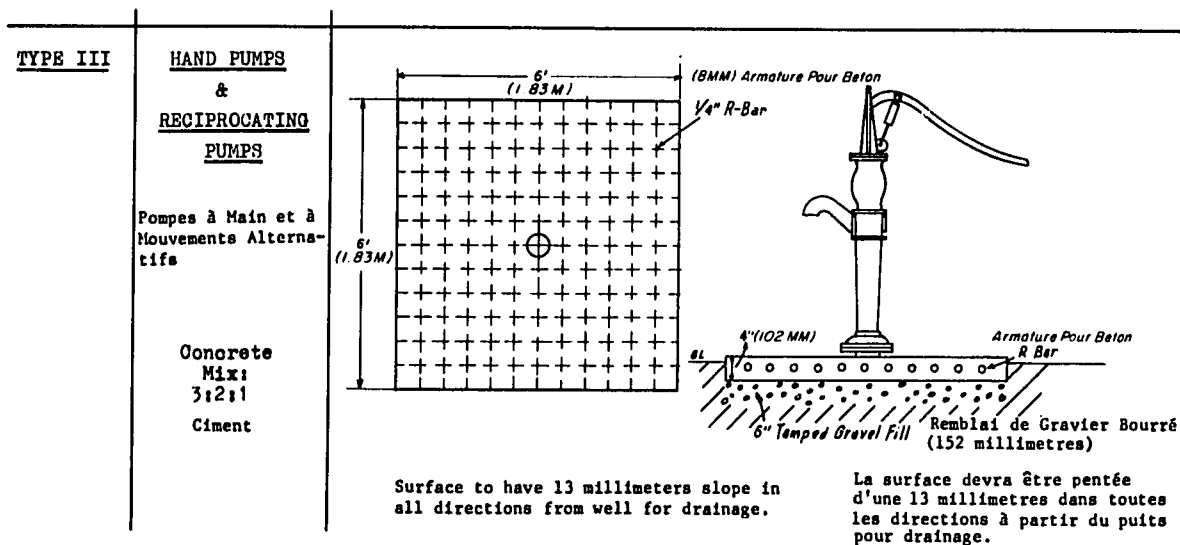
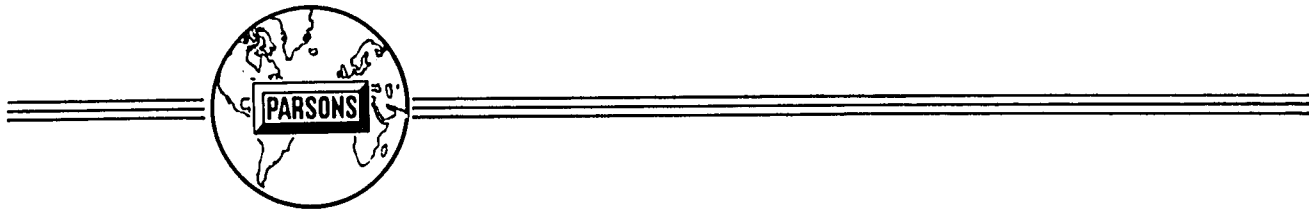


Figure 5 – Details of surface installation of pumps/  
Details de l'installation de surface des puits



## The Project

### DUG WELL SURVEY

A survey of dug wells was undertaken during the early part of the project and continued through the entire drilling phase. The primary purpose of the survey was to study lateral and vertical variations of water quality and the static water levels in the phreatic aquifers. A more immediate benefit of the survey was to aid in selecting exploration and development well sites and in determining well design.

Data collected during the survey consisted of depths to the water levels, depth of wells, conductivity of water, and any pertinent information concerning construction of the well. Wells at 268 localities in the project area were inventoried. No wells were inventoried in the eastern third of the project because of excessive depths to water. Data from the survey are shown on Table B-1 in the Appendix. A quality contour map and a static water level elevation contour map (figures 15 and 18) have been constructed by combining the information obtained from both the drilled well program and the dug well survey. The contours on the two maps represent the quality and the elevation of the shallowest water exploitable by a drilled well. Perched water, as it occurs in the project area, is usually not exploitable by drilled wells, and has been partially ignored in drawing the quality and the elevation contours. Thus, discrepancies will be noted between the drilled well elevation and the water quality contours, and some of the dug well quality and elevation readings at specific locations on the two maps. Use was made of data from previous publications in extending the contours into the eastern third of the project area.

## Le Projet

### ETUDE DES PUIITS FONCES

Une étude des puits foncés fut entreprise au début du Projet et fut poursuivie durant toute la phase forage. Le but initial de l'étude était de relever les variations latérales et verticales de la qualité de l'eau et celles des niveaux statiques dans les aquifères phréatiques. Le résultat immédiat de cette étude fut d'aider à choisir les emplacements des forages de production et d'exploration, et de déterminer l'avant-projet de forage.

Les données recueillies au cours de l'étude étaient: les profondeurs des niveaux d'eau, les profondeurs des puits foncés, la conductivité de l'eau, et tous renseignements exacts concernant la construction la puits. Dans la région du projet, les puits de 268 localités furent inventoriés. Aucun puits, du fait des profondeurs excessives de l'eau ne fut inventorié dans la région Est du projet. Les données de l'étude sont présentées sous forme tabulaire sur le Tableau B-1 de l'Appendice. Une carte de profil de la qualité et une carte en courbes de niveau de l'élévation du niveau statique ont été tracées en combinant les résultats obtenus aussi bien du programme de forage que de l'étude des puits foncés (figures 15 et 18). Les contours sur les deux cartes représentent la qualité et l'élévation de l'eau la plus superficielle, exploitable par un puits foré. Comme cela se rencontra dans la région du projet, l'eau perchée n'est, en général, pas exploitable par puits forcés et en partie, l'on n'en tient pas compte en dessinant les profils de qualité et d'élévation. Aussi, des divergences vont-elles être relevées sur les deux cartes et à des emplacements précis entre les profils de qualité et d'élévation d'eau dans les puits forés et ceux dans les puits foncés. Pour étendre ces profils à la partie Est du projet, nous eûmes recours à des publications antérieures.

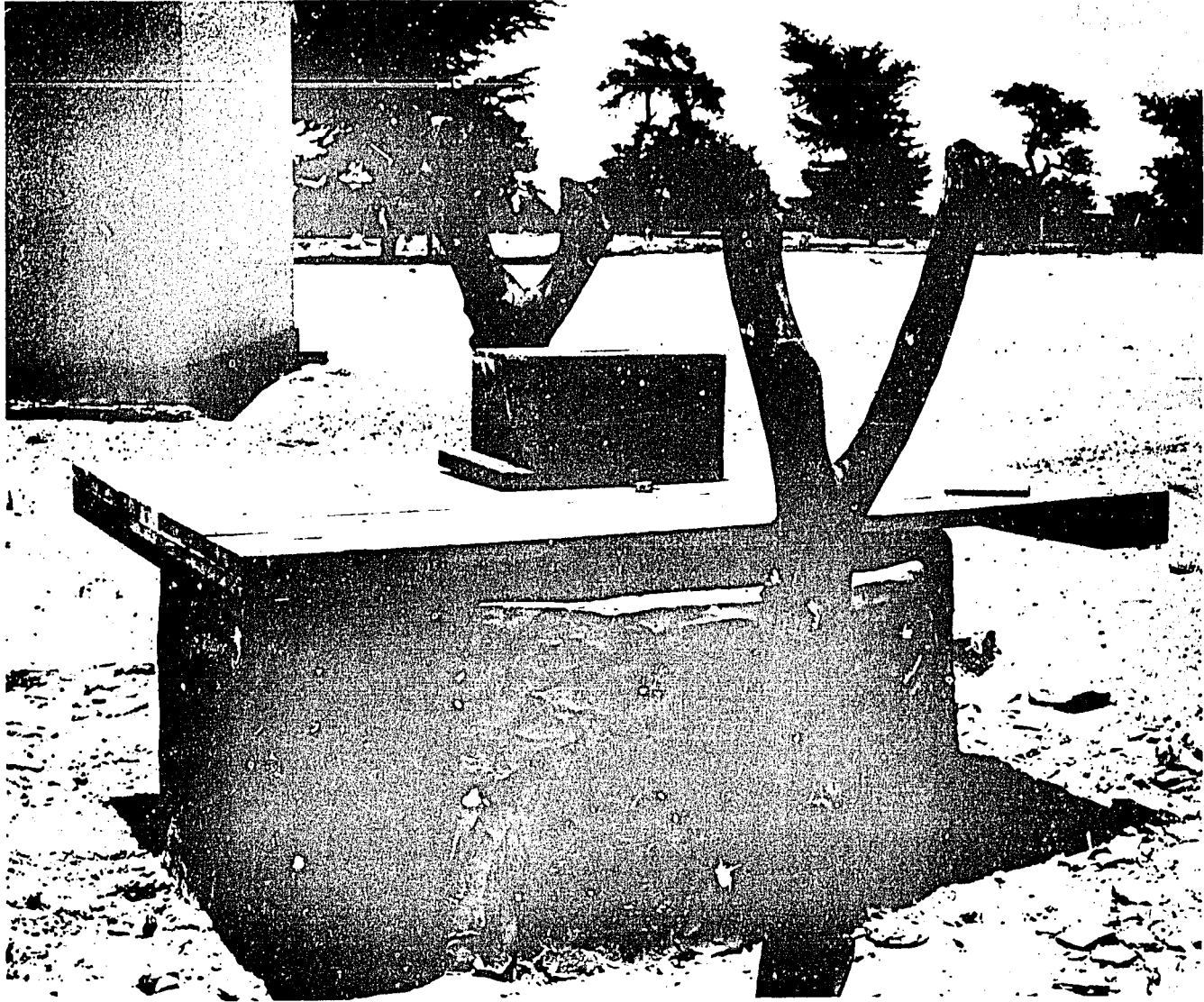


Figure 6 – Water level recorder installation on hand-dug well/  
Installation d'un appareil enregistreur du niveau de l'eau d'un puits foncé



## The Project

### TRAINING PROGRAM

*An important part of the Contractor's work outlined in the contract was to assist the Government of Senegal to select technical and drilling rig trainees, and provide them with on-the-job training.*

Five candidates selected by the Government of Senegal were interviewed by Contractor's personnel and approved for the program. These trainees were not employees of the Government of Senegal at the time of their acceptance and the Government requested that project funds be used to pay the salaries of the trainees on a reimbursable basis for three or four months until the trainees' contracts could be processed. The request was approved and the training program began officially on January 8, 1968. The following trainees made up the initial complement of the program:

	<u>Trainee Position</u>	<u>Date Started</u>
A. Sangare	Driller	1/8/68
M. Bao	Driller	1/8/68
O. N'Diaye	Driller	1/17/68
M. Dieng	Hydrogeologist	1/29/68
M. Diouf	Geologist	2/1/68

The training program for the rig personnel began with the uncrating and assembling of the drill rig and accessory equipment, and the rigging-up at the first well site at Monitrice. At this time the trainees learned some of the rudiments of rigging-up, and then began limited operation of the drill rig and other equipment. Rig trainee Bao was terminated three weeks after joining the program and was replaced on February 28 by a new trainee, Monsieur Bengue. Technical trainee, Diouf, Geological Assistant, was present at the well sites during all operations and was responsible for logging materials and monitoring other phases of the work. The fifth trainee, Dieng, a Geologist, monitored some operations at the well sites, reconnoitered new well locations, and conducted project research in Dakar.

The training program, after a good start, was suspended on April 16 for the lack of Government funds to support the salaries and expenses of the trainees. At the time of the suspension, rig trainees Sangare and N'Diaye had gained three months of experience on three wells and were occasionally operating the controls of the rig under very close supervision. Trainee Sangare was particularly adept at learning the mechanical operation of the drill rig.

## Le Projet

### PROGRAMME DE FORMATION

*Comme le stipulait le contrat, une partie importante du travail de l'Entrepreneur était d'assister le Gouvernement du Sénégal dans le choix des stagiaires et de leur assurer une formation "sur le tas".*

Cinq candidats désignés par le Gouvernement du Sénégal furent interviewés par le personnel de l'Entrepreneur et choisis pour le programme. Ces stagiaires n'étaient pas employés par le Gouvernement du Sénégal à l'époque de leur admission. Le Gouvernement demanda qu'en l'attente d'un remboursement ultérieur, que l'on employât les fonds du Projet au paiement des salaires des stagiaires pendant trois ou quatre mois en attendant que les contrats de ceux-ci soient prêts. La demande fut approuvée et le programme de formation commença officiellement le 8 Janvier 1968. Les stagiaires suivants furent le premier complément du programme:

	<u>Poste du Stagiaire</u>	<u>Date d'Entre</u>
A. Sangaré	Foreur	1/8/68
M. Bao	Foreur	1/8/68
O. N'Diaye	Foreur	17/1/68
M. Dieng	Hydrogéologue	29/1/68
M. Diouf	Géologue	2/1/68

Le programme de formation des foreurs commença par le déballage, l'assemblage de la sondeuse et du matériel accessoire et par le montage de la sondeuse au premier emplacement de forage à Monitrice. A cette époque, les stagiaires apprirent les rudiments du montage de la foreuse et, ensuite, commencèrent quelques opérations limitées de mise en route de la sondeuse et des autres équipements. Le stagiaire foreur Bao fut mis à la porte trois semaines après le démarrage du programme et fut remplacé le 28 Février par un nouveau stagiaire, M. Benque. Le stagiaire technicien Diouf, Assistant Géologue, fut présent sur tous les emplacements de forages durant toute la durée des opérations et était responsable du repérage des matériaux et de la surveillance d'autres phases du travail. Le cinquième stagiaire, Dieng, un Géologue, dirigea quelques opérations sur les sites de forages, localisa de nouveaux emplacements de forages et dirigea les recherches du projet à Dakar.

Le programme de formation, après un bon départ, fut suspendu le 16 Avril à cause du manque de fonds gouvernementaux pour payer les salaires et les frais des stagiaires. A l'époque de la suspension du programme, les stagiaires foreurs Sangaré et N'Diaye avaient à leur actif trois mois d'expérience acquise sur trois forages différents et avaient entreprise quelques fois les contrôles de la sondeuse sous une étroite surveillance. Le stagiaire





Trainee Diouf returned to the program from July 15 to August 26, and again from October 7 to the end of the field operations. Monsieur Diouf is thoroughly competent with sampling techniques, drilling procedures and is generally familiar with pump tests.

Sangaré était particulièrement apte à apprendre les opérations mécaniques de la sondeuse. Le stagiaire Diouf retourna au programme du 15 Juillet au 26 Août et à nouveau, du 27 Octobre jusqu'à la fin des opérations de chantier. Monsieur Diouf est tout à fait compétent dans les techniques de l'échantillonnage, les procédures de forage et, est en général, familiarisé avec les test d'essais.

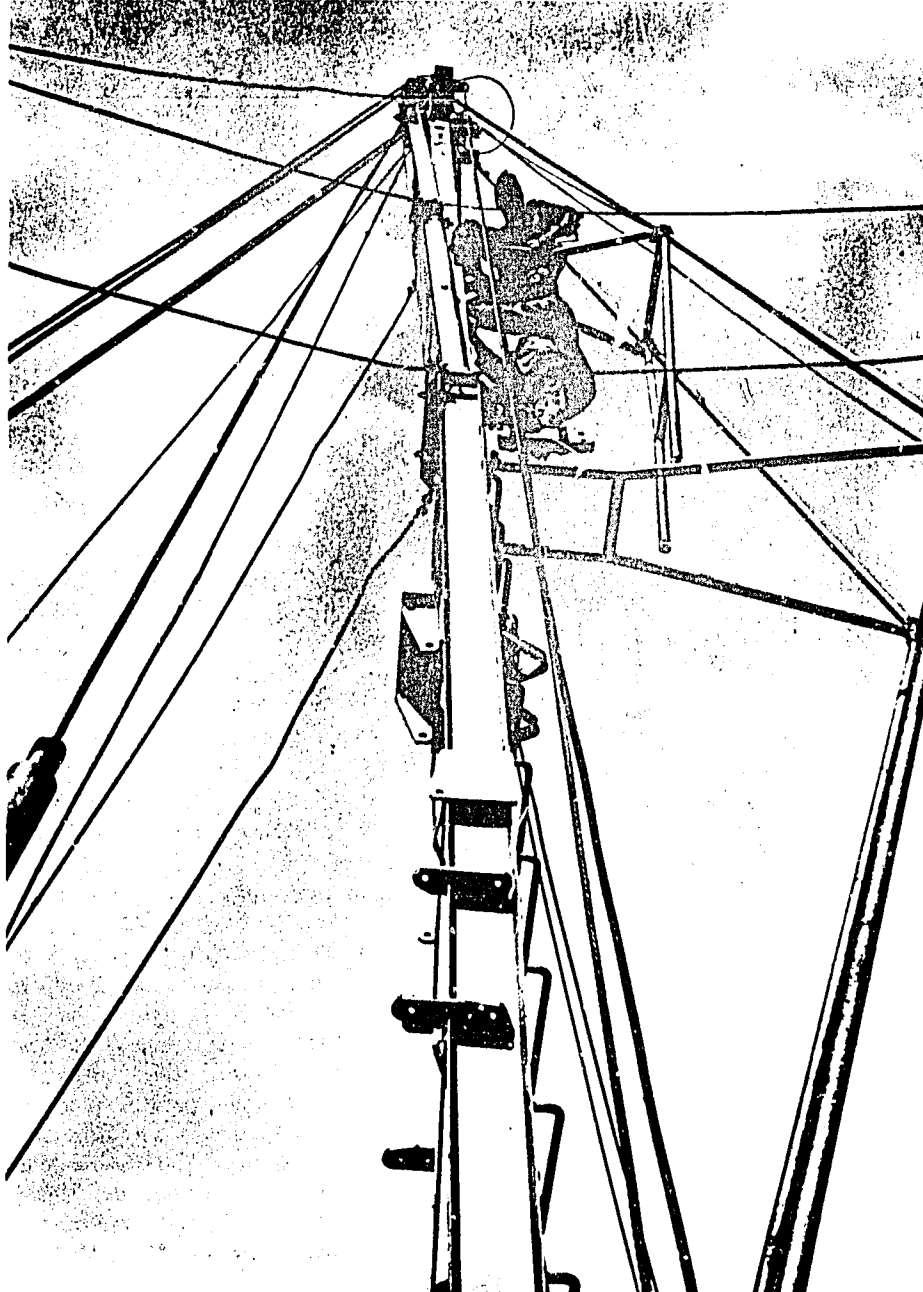


Figure 7 – Two of the five Senegalese trainees erecting mast of drilling rig/  
Deux des cinq stagiaires Sénégalais érigeant la sondeuse



## CHAPTER IV CHAPITRE GEOGRAPHY / GEOGRAPHIE

### PHYSICAL FEATURES

*Location.* The project area, referred to as *Central Senegal* in the contract, is defined as that land enclosed by latitudes 14° 00' and 15° 15' north and longitudes 15° 45' and 17° 00' West. The term Central Senegal, in this usage, carried the connotation that the area is the economic and social center of Senegal rather than the strict geographical center. Presently about 40 percent of the population of Senegal lives within the area. For a geographical identification of the area it must properly be described as West Central Senegal.

*Climate.* The climate of Senegal is sub-tropical. Lying midway between the Sahara Desert to the north and the rain forests to the south, Senegal enjoys a moderate climate being influenced by both the dry southwesterly trade winds for most of the year and the moisture-laden ocean winds during a short rainy season that reaches its maximum in August.

*Topography and Drainage Basins in Project Area.* Topography in West Central Senegal is similar to the topography in the rest of Senegal, flat to slightly undulating. The Thiès escarpment forms part of the western boundary of the project area and is the most prominent topographic feature in western Senegal. The escarpment reaches a maximum elevation of 485.6 feet about midway between Thiès and M'Bour. In the remainder of West Central Senegal elevations rarely exceed 164 feet, and local elevation differences seldom exceed 32.8 feet.

West Central Senegal has no perennial streams, and the only major stream is the Saloum River in the Southern part of the Project area. Sea water has invaded the river almost to the eastern edge of the Project, and the river is navigable as far east as Kaolack. In other parts of the Project area, occasional stream channels have eroded the land to an elevation below the water table and small ponds called *marigots* form during the earlier part of the dry season, but largely disappear later in the season. All of West Central Senegal except narrow coastal strips and a narrow strip of land west of the crest of the Thiès escarpment is drained by the Sine-Saloum estuary; however, runoff is negligible except during the wetter years.

*Vegetation.* Natural vegetation consists largely of bentinko, cad, baobab, mime, cashew, sugar palm and acacia trees, and a variety of thorn bushes. Most of the trees serve many useful purposes in addition to providing shade. The bentinko wood is used for the manufacture of

### CHARACTERISTIQUE PHYSIQUES

*Situation.* Dans le contrat, la région du projet est indiquée comme étant le Sénégal Central. Cette région est définie comme étant la portion délimitée par les latitudes 14°00' et 15°15' Nord et les longitudes 15°45' et 17°00' Ouest. Le terme de "Sénégal Central" dans ce cas amène à comprendre que la région est le centre économique et social du Sénégal plutôt que le vrai centre géographique. Actuellement, 40 pourcent environ de la population du Sénégal est concentrée dans cette région. Pour une définition géographique juste, cette région doit être définie comme étant la partie Ouest du Sénégal Central.

*Climat.* Le climat du Sénégal est sub-tropical. S'étendant à mi-chemin entre le Désert du Sahara au Nord et la savane au Sud, le Sénégal jouit d'un climat modéré, influencé d'une part par les vents secs soufflant du Sud-Ouest presque tout le long de l'année et d'autre part, par les vents marins chargés d'humidité qui soufflent durant une courte saison de pluies qui atteint son maximum en Août.

*Topographie et Bassins d'écoulements des eaux dans la région du Projet.* La topographie dans la partie Ouest du Sénégal Central, plate à légers vallonements, est la même que celle de tout le reste du Sénégal. L'escarpement de Thiès forme une partie de la limite Ouest de la région du projet et est le trait topographique le plus saillant dans le Sénégal Occidental. L'escarpement atteint une hauteur maximum de 148 mètres à mi-chemin environ entre Thiès et M'Bour. Dans le reste de la partie Ouest du Sénégal Central, les élévations dépassent rarement 50 mètres et les différences entre les élévations locales n'excèdent guère 10 mètres.

L'Ouest du Sénégal Central ne possède pas de fleuves à débit régulier, et le seul qui soit important est le Saloum qui coule dans la partie Sud de la région du projet. L'eau de mer a envahi le fleuve jusqu'à environ la partie Est du Projet et le fleuve est navigable vers l'Est jusqu'à Kaolack. Dans les autres parties de la région du projet, quelques lits de fleuves ont érodé le sol à un niveau inférieur à celui de la nappe d'eau et de petites mares appelées *marigots* se forment au cours de la première partie de la saison sèche, mais se sèchent presque complètement à une période plus avancée de la saison. Toute la partie Ouest du Sénégal Central, sauf des bandelettes côtières et une bandelette de terre à l'Ouest de la crête de l'escarpement de Thiès est asséchée par l'estuaire du Sine-Saloum; néanmoins, l'écoulement des eaux est négligeable sauf durant les années pluvieuses.



piroques (dug-out boats), mortars, and calabashes. The cad tree serves about the same uses as the bentinki tree. The baobab is the Senegalese national tree, and is a source of fruit, of a sugary liquid, of a fiber used to manufacture rope, of leaves used in millet cuisine, and of small amounts of water. The cashew is the source of edible cashew nut, and the palm tree of two crops of fruit per year.

*Végétation.* La végétation naturelle consiste de façon générale en bentinki, cad, baobabs, mime, anacardiens, palmiers et acacias, et une variété de buissons épineux. En plus de l'ombre qu'ils procurent, la plupart des arbres sont utilisés à d'autres fins utiles. Le bois du bentinki est employé pour la construction de piroques (embarcations creusées dans des troncs d'arbre), mortiers et calabasses. Le cad sert à peu près aux mêmes fins que le bentinki. Le baobab, l'arbre national Sénégalais produit: un fruit, un liquide douceâtre, une fibre utilisée à la fabrication de cordes, de feuilles utilisées pour faire la cuisine et contient aussi de petites quantités d'eau. L'anacardier produit une pomme d'acajou comestible; le palmier: deux ceuilletes de noix de coco par an.



Figure 8 – Marigots are surface expressions of high water table conditions in Central Senegal/  
Les marigots sont des expressions de surface des conditions du haut niveau hydrostatique au Sénégal Central



## Geography

### CULTURE AND LAND USE

The culture in West Central Senegal is essentially agricultural, with livestock grazing playing a minor but growing role. Dry farming methods are commonly used, and irrigation by hand methods is practiced to a minor extent in local plots where water is available in ponds or shallow dug wells. Ground nuts form the mainstay of the agricultural economy and are the only export crop. Millet is widely grown for the domestic market and is the staple of the Senegalese diet. Ground nuts and millet are the two main crops grown by dry farming methods. Green beans and tomatoes are grown in the M'Bour-Thies area during the early part of the dry season, after the millet harvest, and apparently obtain sufficient moisture from heavy dews. Mangos, bananas, rice and a variety of vegetables are grown for domestic and local consumption in limited quantities in marigots.

*Accessibility.* Central Senegal has a good network of primary and secondary all-weather roads. There are approximately 373 miles of paved asphaltic primary roads, and a greater total length of secondary roads constructed with laterite. There are few points in West Central Senegal that are more than 12 miles from a primary or secondary road. A complex of unmarked trails provides access to villages not located on principal roads. The trails are often sandy and are traveled with difficulty by all but four-wheel drive vehicles.

## Géographie

### CULTURE ET UTILISATION DU SOL

La culture dans la partie Ouest du Sénégal Central est essentiellement agricole avec des pâturages jouant un rôle mineur mais en plein essor. Les méthodes d'assèchement des exploitations agricoles sont d'un usage commun et les méthodes d'irrigation manuelle sont pratiquées de façon restreinte en des endroits où l'eau est disponible grâce à des marigots ou à des puits forés peu profonds. Les arachides forment le point d'appui de l'économie agricole et sont les seules récoltes exportées. La culture du mil est largement répandue pour les besoins domestiques et représente la denrée principale de la nourriture des Sénégalais. Les arachides et le mil sont les deux principales récoltes obtenues par les méthodes d'assèchement des exploitations agricoles. Dans la région M'Bour-Thiès, on cultive des haricots verts et des tomates au début de la saison sèche après la récolte du mil, et il semble que les rosées fournissent à ces denrées une humidité suffisante. Les mangues, les bananes, le riz, et toute une variété de légumes sont cultivés en quantités limitées dans des marigots pour la consommation domestique et locale.

*Voies d'accès.* Le Sénégal Central possède un bon réseau de routes principales et secondaires, praticables en toutes saisons. Il y a environ six cents kilomètres de routes principales goudronnées et une longueur totale plus importante de routes secondaires construites avec de la latérite. Il y a quelques endroits dans la partie Ouest du Sénégal Central qui sont éloignés de plus de vingt kilomètres d'une route principale ou secondaire. Un complexe de pistes non-cartographiées fournissent un accès aux villages non localisés sur les routes principales. Les pistes sont souvent sablonneuses et ne sont praticables que par des véhicules à traction avant.



Figure 9 – Millet being cultivated by traditional methods on the left and modern methods on the right at the Institute de Recherches Agronomiques, Bombay/  
– La cultivation du millet (sorgho) par méthodes traditionnelles (à gauche) et par méthodes modernes (à droite) à l'Institute de Recherches Agronomiques, à Bombay.



## CHAPTER V CHAPITRE GEOLOGY / GEOLOGIE

### GENERAL

*The surface of Central Senegal is covered by the Continental Terminal formation and serves as a good collecting bed for replenishment of shallow ground water.*

Senegal is an exceptionally flat country in which two structural units can be distinguished; a Tertiary basin that occupies the greater part of the country and rarely exceeds 164 feet in altitude, and a smaller area along the eastern frontier of the country where Paleozoic and Precambrian rocks outcrop. The latter rocks dip gently westward and are overlain unconformably by sub-horizontal Cretaceous and Tertiary sediments that reach a thickness of 19,686 feet in the vicinity of Dakar.

The Cretaceous sediments consist of the Maestrichtien Formation of sand, sandstone, sandy limestone and clay, that underlies most of the country and all of Central Senegal and forms an important but sometimes deep aquifer. Tertiary sediments consisting of marl, limestone, clay, sand and laterite lie conformably on the Maestrichtien. Quaternary sands and lake deposits overlie the Tertiary deposits.

Central Senegal can be divided into four physiographic units. The Thies escarpment and its backslope, known as the Thies plateau, are two main units in the northwest part of the area. A small portion of this sector bordering the ocean consists of dunes and *niayes*. The southern part of the project area, east of the mouth of the Saloum, forms a third unit, consisting of a network of saltmarshes in which tidal effects are felt almost as far inland as the eastern limit of Central Senegal. The fourth unit is a sandy plain of little relief whose elevation decreases southward and occupies over 60 percent of the project area. It was within this last unit that most of the activity of the present project took place.

### GENERALITIES

*La surface du Sénégal Central est recouverte par la formation du Continental Terminal qui sert de réservoir pour la recharge de l'eau souterraine peu profonde.*

Le Sénégal est un pays exceptionnellement plat dans lequel on peut distinguer deux blocs structuraux; un bassin Tertiaire qui dépasse rarement cinquante mètres d'altitude et qui s'étend dans la majeure partie du pays, et une plus petite région le long de la frontière orientale du pays où affleurent des roches du Paléozoïque et du Précambrien. Les roches du Précambrien s'inclinent légèrement vers l'Ouest et sont recouvertes de façon irrégulière, de sédiments subhorizontaux du Tertiaire et du Crétacé qui atteignent une épaisseur de 6.000 mètres à proximité de Dakar.

Les sédiments du Crétacé consistent de la formation Maestrichtienne de sable, grès, calcaire sablonneux et argile, qui sont sous-jacents dans la plus grande partie du pays et dans tout le Sénégal Central; ils forment une couche aquifère importante mais parfois profonde. Les sédiments du Tertiaire se composent de marne, calcaire, argile, sable et latérite, s'étendent régulièrement sur le Maestrichtien. Les sables du Quaternaire et les alluvions, recouvrent les couches du Tertiaire.

Le Sénégal Central peut être divisé en quatre blocs physiographiques. L'escarpement de Thiès et son revers, connus sous le nom de Plateau de Thiès, sont deux blocs principaux dans la partie Nord-Ouest de la région. Une petite portion de ce secteur longeant l'océan, consiste en dunes et *niayes*. La partie Sud de la région du projet, à l'Est de l'embouchure du Saloum, forme le troisième bloc, un réseau de marais salants dans lequel les effets de la marée sont ressentis, vers l'intérieur, presque jusqu'à la limite orientale du Sénégal Central. Une plaine sablonneuse, de relief peu important qui s'étend dans plus de soixante pour cent de la région du projet, et dont l'élévation décroît vers le Sud forme le quatrième bloc. C'est dans ce dernier bloc que se déroulent la plupart des activités du projet que décrit ce rapport.

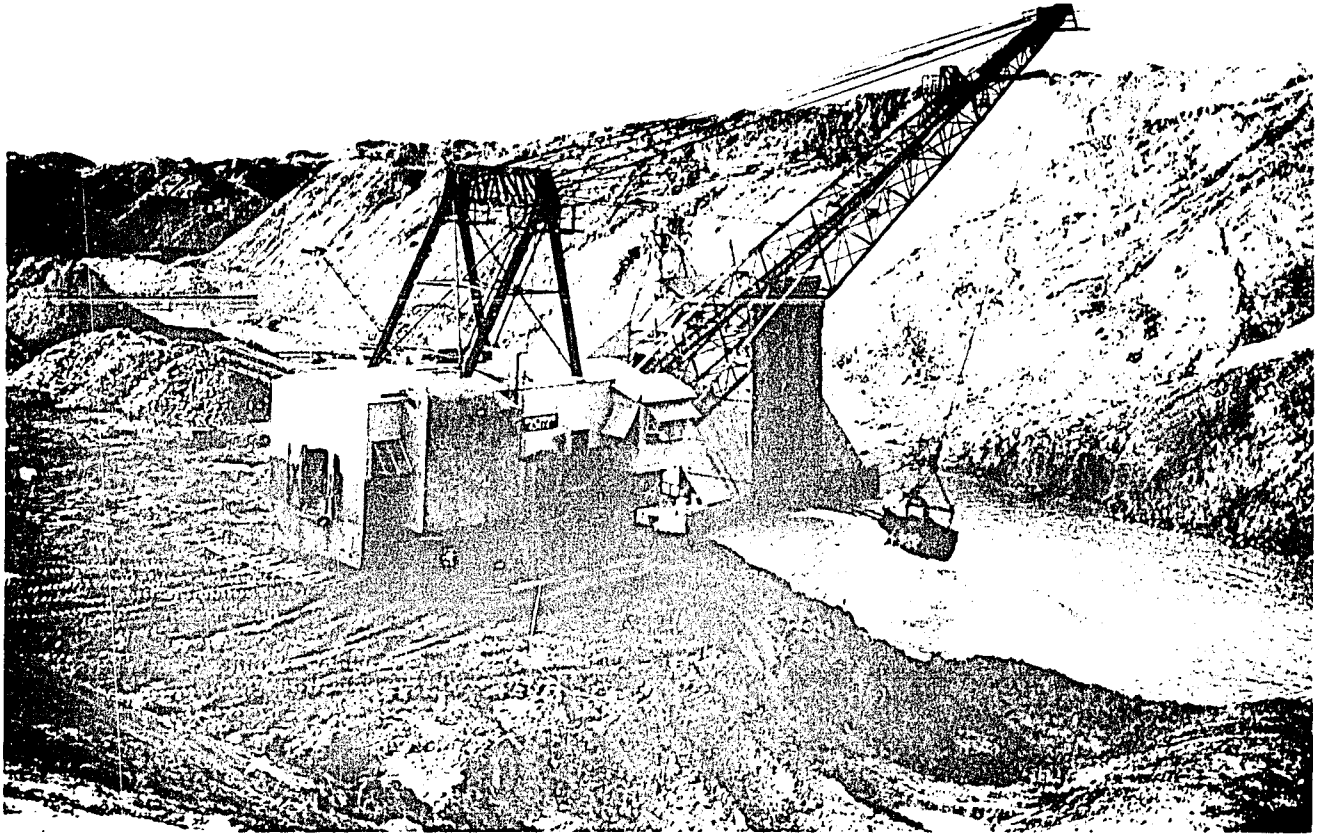


Figure 10 – The phreatic water table is exposed at the phosphate mining operations in Taiba/  
La nappe aquifère phréatique exposée durant l'exploitation minière de phosphate à Taiba



## Geology

### DETAILED DESCRIPTION OF GEOLOGICAL FORMATIONS

*The Tertiary and Quaternary deposits are of primary concern in this report for they contain good supplies of the most economically exploitable groundwater in Central Senegal.*

**Paleocene.** The formation consists essentially of limestone, marl-limestone, and marl with minor amounts of sandy and clayey sand interbeds. The formation is composed mostly of limestone in Eastern Senegal and becomes more marly and clayey to the west, eventually becoming sandy toward Western Central Senegal. The formation outcrops in Eastern Senegal and in the M'Bour and Popenquine areas. It is generally regarded favorably for water occurrence; however, in much of the project area the formation is largely marl and clay and contains water of inferior quality. The Fass well penetrated 197 feet of Paleocene sediments consisting of 184 feet of marl and 13 feet of limestone. The limestone aquifer contained water with 3200 milligrams per liter total solids. The Diaganao well was completed in sandy marly limestone at the top of the Paleocene and contained water with 4000 milligrams per liter total solids. The formation is usually hydraulically connected to the underlying Maestrichtien formation.

**Lower Eocene (Ypresien).** From older to younger, the formation consists consecutively of (1) Palygorskite (attapulgites), a clay mineral totally unfavorable for the occurrence of water; (2) marl, with ostracods, containing a few limestone interbeds of little interest as pertains to water, and (3) marl with interbedded fossiliferous limestone, the limestone occurring irregularly and having rapid lateral variations. The clay-marl series constitutes the predominant rock type in the formation. Color of the series is usually white or gray, although yellow and green are not uncommon. The clay is often papyraceous, tending to break into thin sheets. Montmorillonite and chert are common in the lower part of the formation. Cable tool drilling rates are very slow in the clay-marl series. The formation is not generally favorably regarded as a source of groundwater except for the upper horizon which sometimes contains limestone.

**Middle Eocene (Lutetian).** The formation consists essentially of limestone and marl with minor amounts of sand, sandy clay, and clayey sand. The limestone is often phosphatic, with the phosphate sometimes in sufficient concentration to be commercially exploitable. The clay-marl series, a major component of the Lutetian, is often grayish or greenish, but more often yellowish in color, and

## Géologie

### DESCRIPTION DETAILEE DES FORMATIONS GEOLOGIQUES

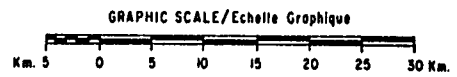
*Les sédiments du Tertiaire et du Quaternaire sont d'une importance primordiale dans ce rapport car ils contiennent d'importantes réserves de l'eau souterraine d'une exploitation économique dans le Sénégal Central.*

**Paléocène.** La formation est composée essentiellement de calcaire, de marnocalcaire, et de marne avec des intercalations peu importantes de sable et de sable argileux. Dans le Sénégal Oriental, la formation se compose en plus grande partie de calcaire, et devient plus marneuse et argileuse vers l'Ouest, devenant éventuellement sablonneuse du côté de la partie Occidentale du Sénégal Central. La formation affleure dans le Sénégal Oriental et dans les régions de M'Bour et de Popenquine. Elle est en général jugée favorable à l'occurrence de l'eau, néanmoins, dans la plus grande partie de la région du projet, la formation consiste en grande partie de marne et d'argile et contient une eau de mauvaise qualité. Le forage de Fass pénétra en 60 m les sédiments du Paléocène consistant en 56,2 m de marne et en 4 m de calcaire. La couche calcaire contenait de l'eau avec un total de 3,200 milligrammes d'extraits secs par litre. Le forage de Diaganiao fut achevé dans du calcaire sablonneux et marneux, au sommet du Paléocène, et contenait de l'eau avec 4.000 milligrammes d'extraits secs par litre. La formation est en général reliée hydrauliquement à la formation Maestrichtienne sous-jacent.

**Eocène Inférieur (Yprésien).** De vieille à jeune, la formation est composée consécutivement de: (1) Palygorskite (attapulgites), une argile minérale complètement défavorable à l'occurrence de l'eau; (2) marne, avec des ostracods, avec quelques intercalations de calcaire de peu d'intérêt par rapport à l'eau et (3) marne avec des intercalations fossiligères de calcaire, celui-ci se présentant irrégulièrement et ayant de rapides variations latérales. La série argile-marne constitue le type de roches prédominant dans la formation. La couleur de la série est en général blanche ou grise, bien que le jaune et le vert ne soient pas rares. L'argile est souvent papyracée avec des tendances à se fissurer en fines lamelles. Dans la partie inférieure de la formation, il n'est pas rare de trouver du silex et du Montmorillonite. Dans la gamme argile-marne, les rythmes de forages sont très lents. La formation n'est en général pas favorablement considérée comme source d'eau souterraine, sauf pour sa couche supérieure qui contient quelquefois du calcaire.



15°30'



# GEOLOGIC MAP/Carte Geologique CENTRAL SENEGAL Sénégal Central

WATER RESOURCES SURVEY AND DEVELOPMENT PROJECT  
Projet d'Etude pour le Développement des Ressources en Eau  
Prepared by

THE RALPH M. PARSONS COMPANY



15°00'

OCEAN ATLANTIQUE

DAKAR

RUFISQUE

THIES

14°30'

QUATERNAIRE QUATERNARY	RECENT Récent		SAND DUNES Dunes de sable	
			MARINE MUD AND SAND Zone inondable et sable	
TERTIAIRE TERTIARY	TERTIARY AND QUATERNARY Tertiaire et Quaternaire			BASALT Basalte
	LUTETIAN Lutétien	Middle Eocene Eocène Moyen		LIMESTONE MARL PHOSPHATES Calcaire, marne, phosphates
	YPRESIEN Yprésien	Lower Eocene Eocène Inf		CLAY MARL LIMESTONE Argile, marne, calcaire
		PALEOCENE Paléocène		LIMESTONE, SANDSTONE Calcaire, grès

NOTE: QUATERNARY AND CONTINENTAL TERMINAL DEPOSITS BLANKET MOST OF CENTRAL SENEGAL AND HAVE NOT BEEN INCLUDED ON THE MAP IN ORDER THAT THE MORE IMPORTANT UNDERLYING FORMATIONS MAY BE SHOWN

14°00'

Les couches de dépôts du Quaternaire et du Continental Terminal qui recouvrent le Sénégal Central n'ont pas été reprises sur la carte afin de ne montrer que la superposition des formations les plus importantes

18°00'

17°30'

17°00'

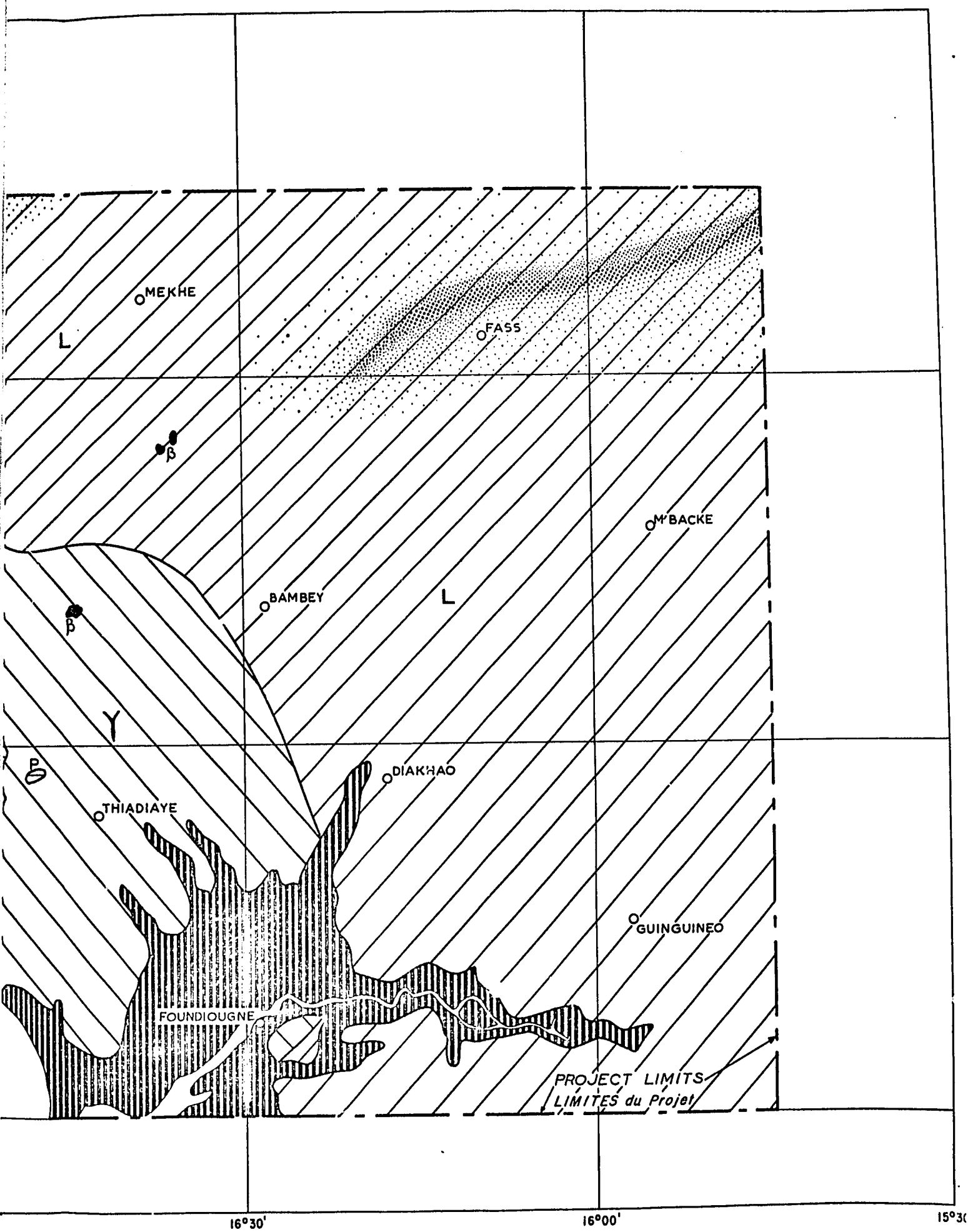


Figure 11 – Geologic map/Carte géologique



fossiliferous. Limestone and marly limestone, the other major component of the formation, is usually white or light yellow, very fossiliferous, sometimes being composed wholly of shell debris. The limestone is usually soft, easily drilled, and permeable, however, sometimes hard dense and cavernous. The formation is a good water producer.

*Continental Terminal (Oligo-Mio-Pliocene).* The formation lies unconformably upon the Eocene. The formation covers a large part of Senegal and is often capped by a shell of laterite, and at other times covered by Quaternary sediments. The formation consists largely of sand and clayey sand with laterite and lateric sand and clay forming the lower horizon. The sand is usually fine-grained, and varies in color from rose through beige, yellow and white. The laterite in the formation is a very erratic aquifer, being at times clean and permeable, and at other times clayey and impermeable.

*Quaternary.* The Quaternary formations are heterogeneous, consisting of lacustrine limestone, sand dunes, marine sands and muds, and river alluvium. Some laterization occurred, and other laterite deposits were formed from erosion products of Continental Terminal laterite. The dunes are important as reservoirs for water, particularly in the northwest coastal area for much of the groundwater recharge in Central Senegal is derived from this coastal dunes area.

*Eocène Moyen (Lutétien).* La formation se compose essentiellement de calcaire, de marne avec des faibles quantités de sable, d'argile sablonneux, et de sable argileux. Le calcaire est souvent phosphatique, avec du phosphate en quantités suffisantes parfois pour être exploité commercialement. La suite argile-marne, constituante principale du Lutétien, est souvent grisâtre ou verdâtre, mais elle est le plus souvent d'une couleur jaunâtre et fossilifère. Calcaire et calcaire marneux, le second constituant essentiel de la formation, est généralement blanc ou jaune clair, très fossilifère, et entièrement composé parfois de débris de coquilles. Le calcaire est en général tendre, facilement forable et perméable, néanmoins, il est quelquefois très dur et caverneux. La formation est une bonne productrice d'eau.

*Continental Terminal (Oligo-Mio-Pliocène).* Cette formation recouvre de façon irrégulière l'Eocène. La formation couvre une grande partie du Sénégal et est souvent coiffée d'une paroi de latérite et, est recouverte d'autres fois, de sédiments du Quaternaire. La formation se compose généralement de sable et de sable argileux latéritique, de sable latéritique et d'argile formant la couche inférieure. Le sable est en général fin et varie en couleur du rose jusqu'au beige en passant par le jaune et le blanc. La latérite dans la formation est une couche aquifère très erratique, étant en des endroits nette et perméable et en d'autres, argileuse et imperméable.

*Quaternaire.* Les formations du Quaternaire sont hétérogènes, se composant de calcaire lacustre, de dunes de sable, de sables et boues marins, et d'alluvions. Quelques latérisations se produisirent et d'autres dépôts de latérite se formèrent des produits de l'érosion de la latérite du Continental Terminal. Les dunes jouent un rôle important comme réservoirs d'eau, particulièrement dans la région côtière Nord-Ouest du Sénégal Central. Une importante partie de la recharge souterraine dans le Sénégal Central dérive de la région des dunes côtières.



## CHAPTER VI CHAPITRE HYDROLOGY / HYDROLOGIE

### GENERAL

*Precipitation is the primary source of water available for recharging the groundwater reservoir of Central Senegal and evapotranspiration constitutes the principal loss factor.*

As throughout most of Senegal the climate of West Central Senegal is subtropical. Lying midway between the Sahara Desert to the north and rain forests to the south, Senegal enjoys a moderate climate influenced by the dry southwesterly trade winds during most of the year. A shift in the direction of the winds during the *hivernage*, July to October, brings moisture-laden air masses inland from the ocean. At this time, the climate is humid and is the period of greatest rainfall but the temperatures rarely exceed 95°F (figure 12). The mean annual temperature is 79°F. The ocean is the main influence in modifying the climate, helping to maintain the moderate year around temperatures. Average annual temperatures vary from 77°F on the coast to 82°F in the eastern part of the project area with the isothermal lines running generally north-south (figure 13).

### GENERALITIES

*La précipitation est la source d'eau disponible essentielle pour la recharge de réservoir d'eau souterraine du Sénégal Central, et l'évapotranspiration constitue le principal facteur de pertes.*

Comme dans presque tout le Sénégal, le climat de l'Ouest du Central Sénégal est sub-tropical. Se situant à mi-chemin entre la Désert du Sahara au Nord et les savanes au sud, le Sénégal jouit d'un climat modéré, influencé par les vents secs souffant du sud-ouest presque toute l'année. Un changement de direction des vents durant l'hivernage, de Juillet à Octobre, apporte dans l'intérieur des masses d'air chargées d'humidité venant de l'océan. A cette période, le climat est humide, la précipitation la plus grande, mais les températures dépassent rarement 35°C. La moyenne de température annuelle est de 26°C. (figure 12). L'océan est le principal facteur de modification du climat, qui contribue à maintenir des températures modérées tout le long de l'année. Les moyennes annuelles de température varient de 24.5 C sur la côte à 27.5 C dans la partie orientale de la région du

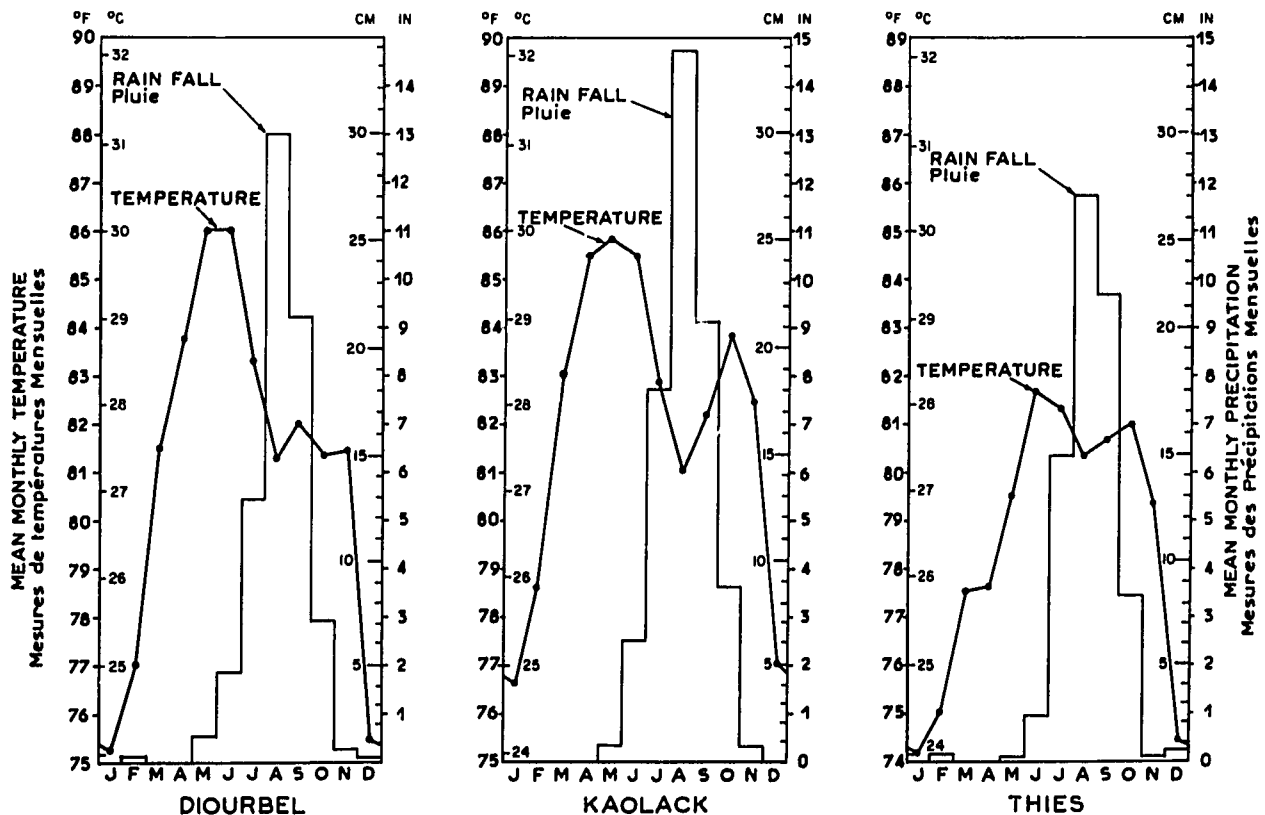
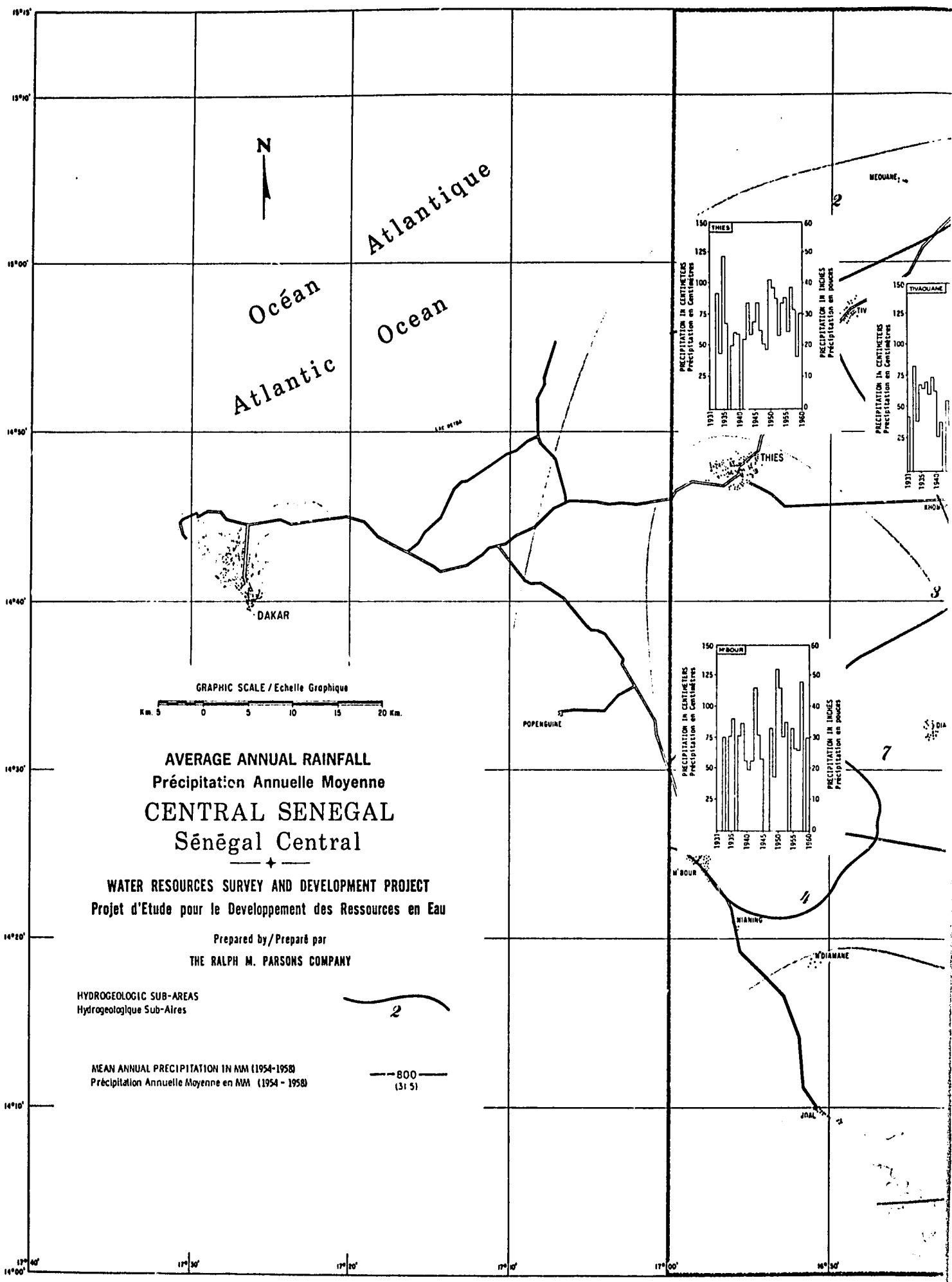
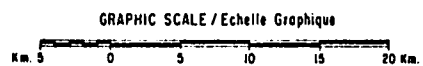


Figure 12 – Mean monthly temperature precipitation/Moyen de la température mensuel de la précipitation



N

Océan Atlantique  
Atlantic Ocean



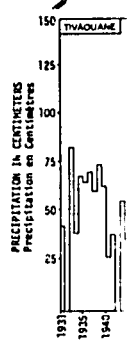
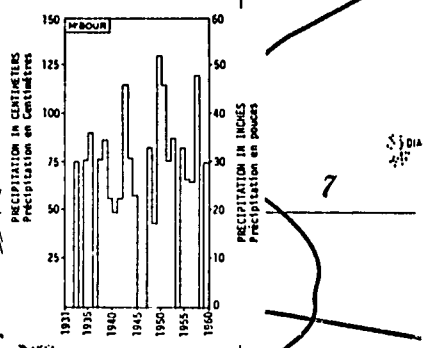
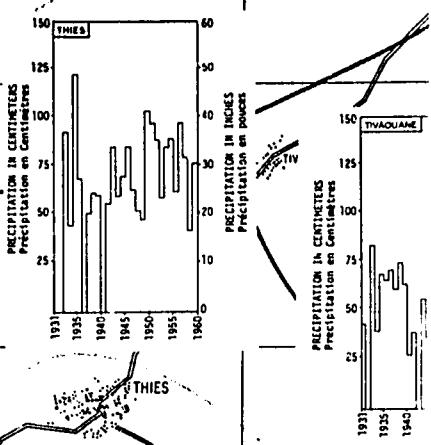
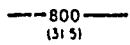
**AVERAGE ANNUAL RAINFALL**  
**Précipitation Annuelle Moyenne**  
**CENTRAL SENEGAL**  
**Sénégal Central**

WATER RESOURCES SURVEY AND DEVELOPMENT PROJECT  
 Projet d'Etude pour le Développement des Ressources en Eau

Prepared by/Préparé par  
 THE RALPH M. PARSONS COMPANY

HYDROGEOLOGIC SUB-AREAS  
 Hydrogéologique Sub-Aires

MEAN ANNUAL PRECIPITATION IN MM (1954-1958)  
 Précipitation Annuelle Moyenne en MM (1954 - 1958)



2

7

M'DIAMANE

JUBAL

NIANING

N'DIOUR

POPENGINE

DAKAR

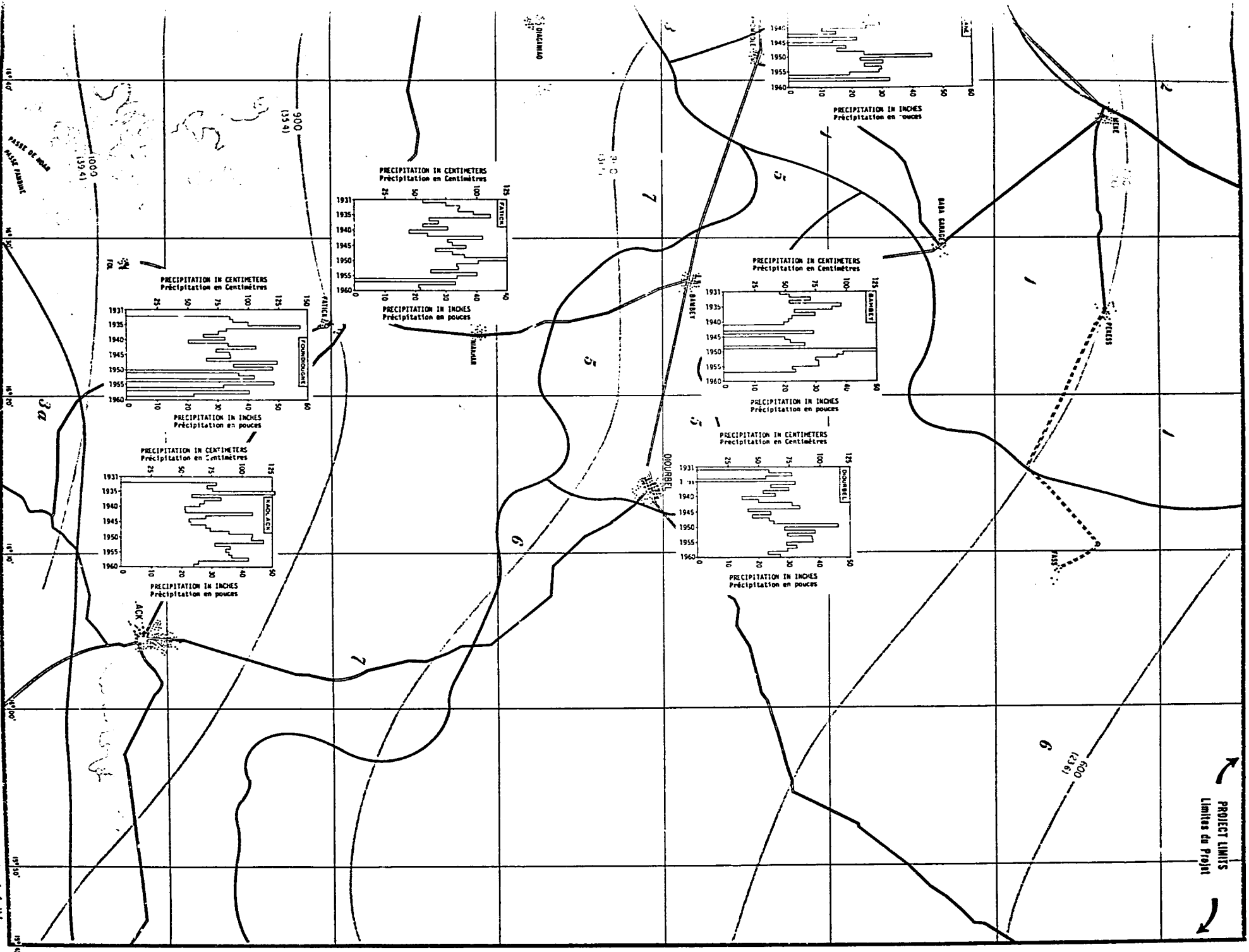
THIES

MEOUANE

17° 00' 17° 30' 18° 00' 18° 30' 19° 00'

14° 00' 14° 30' 15° 00' 15° 30' 16° 00'

Figure 14 - Average annual rainfall/  
Moyenne annuelle des pluies



41  
ti  
ra  
al  
Pl  
sl  
Fr  
R<sub>2</sub>  
In  
th

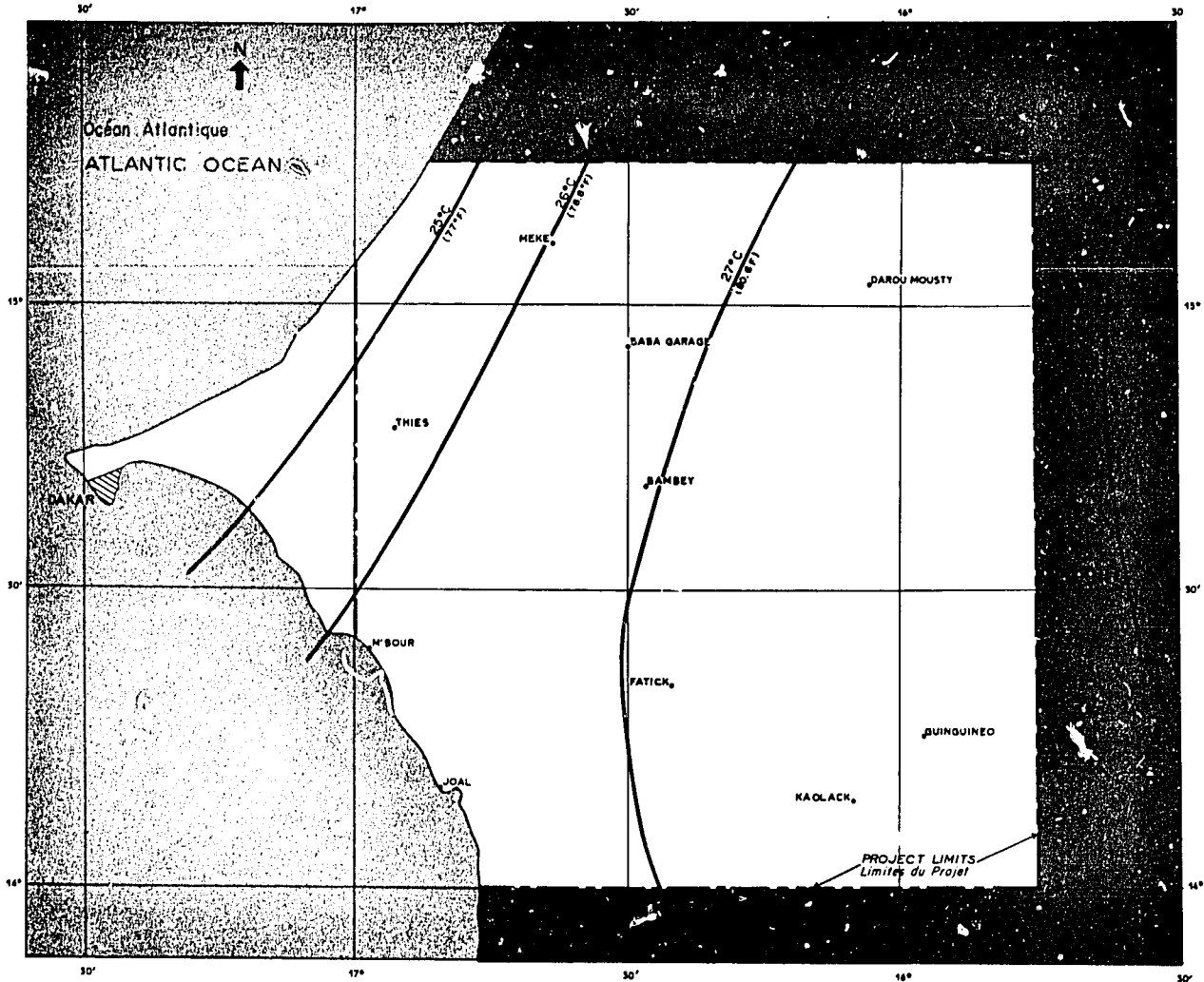


Figure 13 — Isothermal map showing average annual temperatures/  
Carte isotherme présentant le moyen annuel des températures

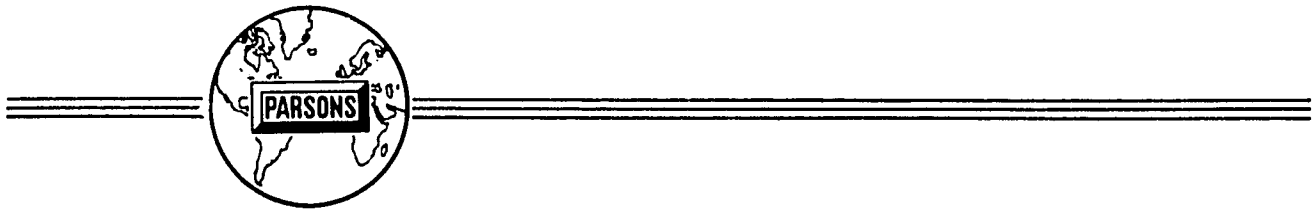
Precipitation varies from 24 inches in the north to 40 inches in the south (figure 14). Little, or no precipitation occurs from the end of October through May; then, rainfall is moderate until it reaches a maximum in August after which it declines to zero again in November. Precipitation data for the period 1931-1960 for eight stations including Bambey, Diourbel, Fatick, Kaolack, Foundiougne, M'Bour, Thies and Tivouane are shown on figure 14.

The zero reading on the charts for certain years indicates a lack of complete records for these years, rather than periods of no rainfall.

projet avec les lignes isothermiques allant en général du nord au sud (figure 13).

La précipitation varie de 600 millimètres dans le nord, à 1.000 millimètres dans le sud, Il n'y a pas, ou alors très peu, de précipitations à partir de fin Octobre jusqu'au mois de Mai; alors, les pluies sont modérées jusqu'en Août où elles atteignent le maximum, pour ensuite retomber à zéro en Novembre. Les résultats des précipitations pour la période 1931-1960 pour les huit stations de Bambey, Diourbel, Fatick, Kaolack, Foundiougne, M'Bour, Thiès et Tivaouane sont indiqués sur les figure 14.

Le zéro figurant sur les tableaux pour certaines années n'équivaut pas à une carence de pluies, mais plutôt à un manque de renseignements sur les chutes de pluies pour les années en question.



## Hydrology

### EVAPORATION

An important factor in the hydrological pattern of West Central Senegal is the high overall evaporation rate. The evaporation rates shown on figure 15 are pan evaporation rates and the conversion of these to actual field rates must consider the modifying factors of vegetal cover, surface roughness, days of cloud cover, a radiation factor, and at times advective air currents.

No field studies have been made of evapotranspiration rates; however, several authors have applied formulae, proven in other areas, to limited areas of West Central Senegal and have had similar and reasonable results. Martin, 1967, shows that 16-1/8 inches of the 22-5/8 inches of annual precipitation at Dakar is lost to evapotranspiration, at Thiès 17-3/8 inches is lost out of a total of 691 millimeters of precipitation, and at M'Bour 18-1/8 inches is lost out of a total of 30 inches. Inland from M'Bour and Thiès evapotranspiration losses are higher.

Defossez and Elouart, 1959, estimate that in the interior of Senegal infiltration cannot occur when precipitation is less than 24 inches per year. This threshold of infiltration is known as Hubert's Threshold. In actuality, the threshold appears to exceed 24 inches in much of the interior areas of Senegal. This may partially explain the widespread existence of negative water table elevations in an area where extractions are negligible. Archambault has coined the term *empty aquifers* to describe these waterless sediments.

## Hydrologie

### EVAPORATION

Un important facteur sur le point hydrologique de l'Ouest du Sénégal Central est le taux d'évaporation totale très élevé. Les taux d'évaporation indiqués sur la figure 15 sont des taux de base et pour la conversion de ces derniers aux taux d'évaporation actuels, il devrait être tenu compte des facteurs végétaux changeants, de la rugosité du sol, des journées nuageuses, du facteur de radiation, et des courants d'air survenant quelquefois.

On n'a effectué pas d'études, sur le chantier, sur les taux d'évapo-transpiration. Néanmoins, plusieurs auteurs ont appliqué des formules prouvées dans d'autres régions à quelques régions de l'Ouest du Sénégal Central et ont obtenu des résultats similaires et raisonnables. Martin, 1967, indique qu'à Dakar, sur 575 millimètres de pluies annuelles, 410 millimètres étaient perdus par évapotranspiration, qu'à Thiès, sur 691 millimètres de pluies, 442 millimètres étaient perdus, et qu'à M'bour sur 760 millimètres de pluies, 460 millimètres étaient perdus. Vers l'intérieur, de M'Bour à Thiès, les pertes par évapotranspiration sont encore plus importantes.

Defossez et Elouart, 1959, estiment qu'il ne peut y avoir d'infiltration, dans l'intérieur du Sénégal, s'il y a moins de 600 millimètres de précipitation par an. Cette influence de l'infiltration est connue comme celle de Hubert Threshold. En fait, l'influence semble dépasser 600 millimètres dans la plupart des régions intérieures du Sénégal. Ceci pourrait en partie expliquer l'existence d'importantes nappes d'eau d'élévations négatives dans des régions où la consommation est négligeable. Archambault a inventé le terme "Aquifères Vides" pour décrire ces sédiments sans eau.



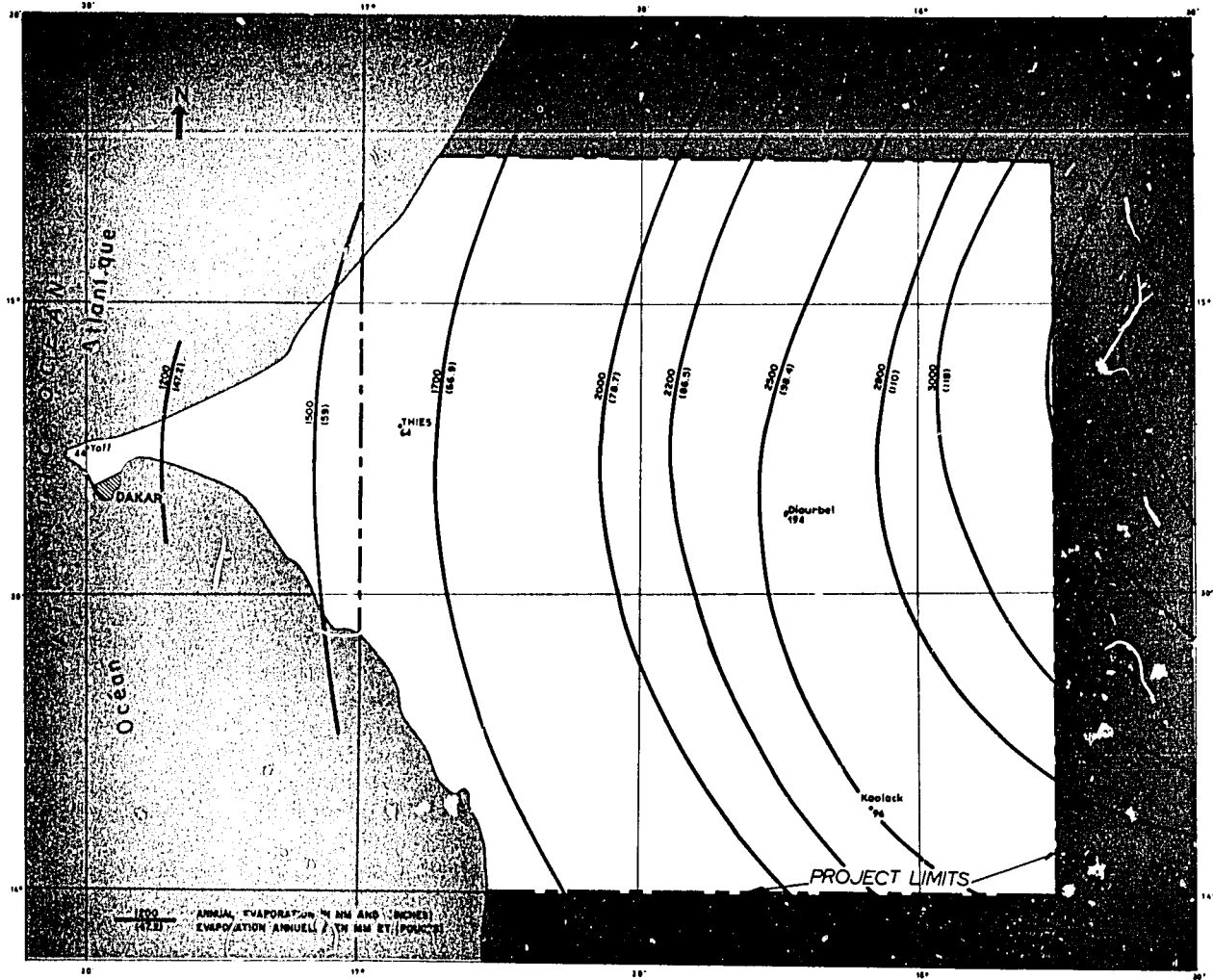


Figure 15 — Annual pan evaporation rates/ Taux annuel de plateau d'évaporation



## Hydrology

### RECHARGE

Figure 16 shows negative water level contours to depths of minus 100 feet below sea level in the southeast area of the Project and to minus 120 feet in the northeast. In these areas precipitation is above this 24-inch threshold, however, it is doubtful if direct infiltration by rainfall contributes anything to replenishment of the phreatic aquifers. There is also a marked decrease of permeability of the subsurface formations in these areas, for thick sections of impermeable clays and marls occur here in the Eocene and the Paleocene. The rainfall is thus held near the surface as soil moisture before it is ultimately consumed by evaporation and transpiration. Direct visual evidence of this can be observed from the manner in which the widespread unbrush and the peanut plants continue to stay green for months after the last rain of the season.

The source of the recharge to the phreatic groundwaters of West Central Senegal is from rainfall occurring in the western and northwestern part of the Project area near the Theis Escarpment. The water level contours shown on figure 16 have been marked with arrowhead flow lines set at right angles to the contour lines. These flow lines indicate the approximate movement of the groundwater as it moves away from the recharge area towards lower elevations. This map graphically shows that there can be no significant recharge of groundwater into the project area from the north, the east or the south. Flow direction along the north boundary is north, northeast and east and the presence of the large negative area in the northeast corner is evidence that no recoverable water is moving into that area.

The zero elevation water level contour is along the southern boundary of the Project area and essentially surrounds the Sine Saloum Estuary. Invasion of the Sine Saloum by the sea has penetrated inland almost to the eastern boundary of the Project area. Flow direction of water from the recharge area is south and southeast into the Sine Saloum. A small strip of land just south of the Sine Saloum has some perched water of good quality, but its effect upon the regional flow pattern is of no consequence.

The presence of the large sinks or depressions in the water table along the eastern boundary indicates that there is little or no movement of water into this area which is due to the extremely low permeabilities of the geologic formations and that rainfall in the area is not effectively contributing recharge water to the phreatic zones. Beyond the eastern boundary of the Project these elevations drop to even lower levels, to as much as minus 130 feet below sea level.

## Hydrologie

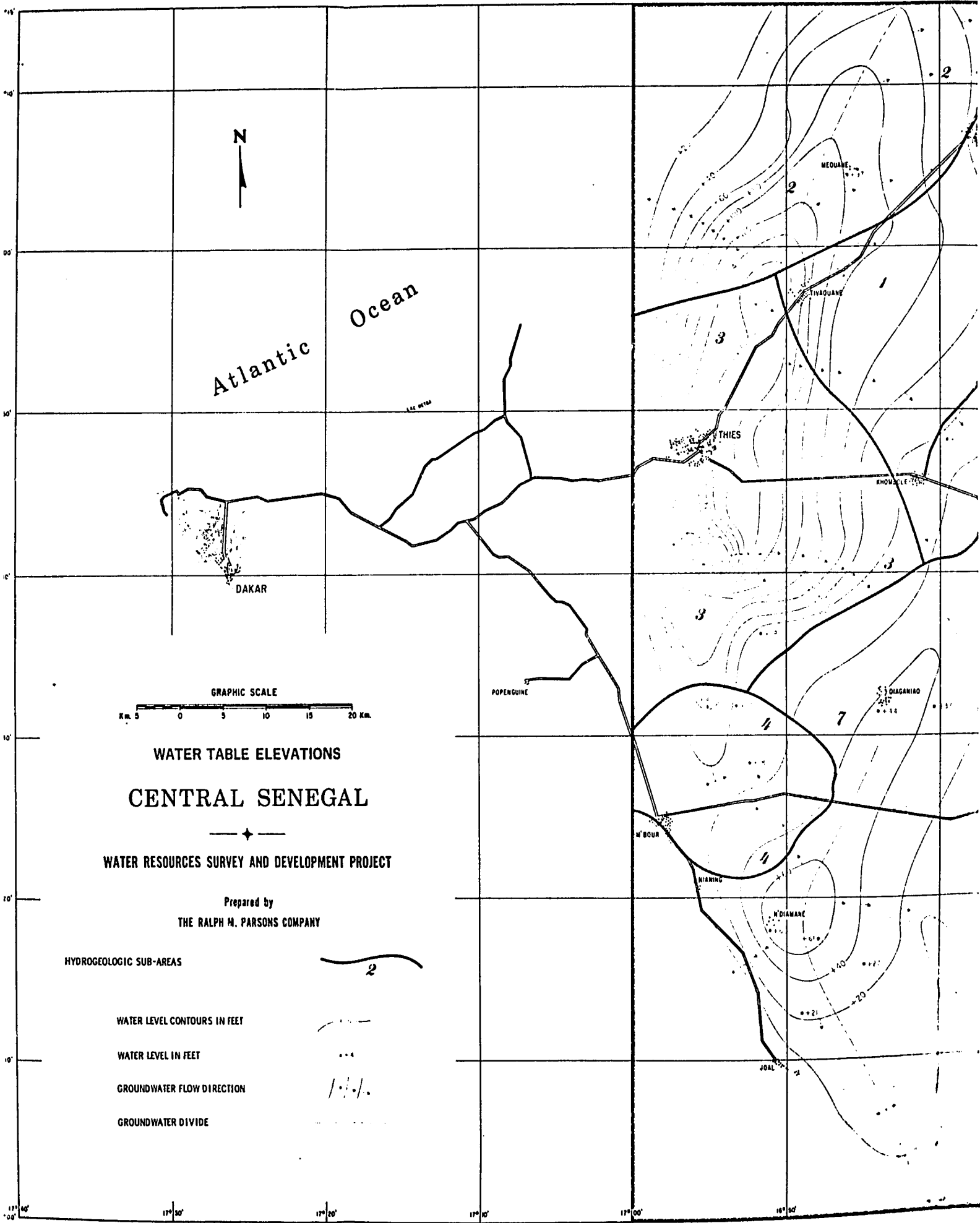
### RECHARGE

La figure 16 montre les contours négatifs des niveaux de l'eau à 30,5 mètres en dessous du niveau de la mer dans la partie sud-est du Projet, et ceux à 36,5 mètres dans le nord-est. Dans ces régions, l'influence des précipitations est supérieure à 600 millimètres. Il est néanmoins permis de douter qu'une infiltration directe des eaux de pluies, contribue à la recharge des aquifères phréatiques. On remarque aussi, un décroissement sensible de la perméabilité dans les formations de la sub-surface de ces régions, car d'épaisses couches de marnes et d'argiles imperméables s'y rencontrent dans l'Eocène et le Paléocène. A cause de ceci, la pluie est retenue à peu de profondeur, comme humidifiant du sol, avant qu'elle ne soit définitivement consommée par évaporation et transpiration. La manière dont les nombreuses racines des plants d'arachide demeurent vertes, plusieurs mois après la dernière pluie de la saison, contribue à prouver ce fait directement et de visu.

Dans l'Ouest de Sénégal Central, la source de la recharge provient des pluies tombant dans les parties ouest et nord-ouest de la région du Projet, non loin de l'Escarpement de Thiès. Les contours du niveau de l'eau indiqués en figure 16 ont été marqués par des lignes d'écoulement se terminant par des flèches posées à angles droits sur les lignes de contour. Ces lignes d'écoulement des eaux indiquent le mouvement approximatif de l'eau souterraine lors de son éloignement de la région de recharge vers des élévations plus basses. Cette carte indique graphiquement, qu'il ne peut y avoir de recharge importante de l'eau souterraine dans le nord, l'est ou le sud de la région du projet. La direction de l'écoulement le long de la limite nord est nord, nord-est et est, et la présence d'une importante région négative dans la zone nord-est contribue à prouver qu'il n'y a pas d'eau recouvrable circulant dans cette région.

L'élévation zéro du contour du niveau de l'eau se trouve le long de la limite méridionale de la région du Projet et entoure en grande partie l'Estuaire du Sine Saloum. L'invasion du Sine Saloum par la mer a pénétré vers l'intérieur presque jusqu'à la limite orientale du Projet. La direction de l'écoulement de l'eau à partir de la zone de recharge est sud, sud-est dans le Sine Saloum. Une bandelette de terre, juste au sud du Sine Saloum, contient un peu d'eau perchée de bonne qualité, mais son effet est sans conséquence sur l'écoulement régional.

La présence d'importants abaissements ou dépressions de la nappe aquifère le long de la limite orientale, indique qu'il y a peu, ou pas de mouvements d'eau dans cette région. Ceci est dû aux très faibles perméabilités des formations géologiques, et aux pluies qui ne contribuent pas à la recharge des zones phréatiques de cette région. Après la limite orientale du Projet, ces élévations s'abaissent à des niveaux encore plus inférieurs, jusqu'à 40 mètres en dessous du niveau de la mer.



**WATER TABLE ELEVATIONS  
 CENTRAL SENEGAL**

— ◆ —  
**WATER RESOURCES SURVEY AND DEVELOPMENT PROJECT**

Prepared by  
**THE RALPH M. PARSONS COMPANY**

**HYDROGEOLOGIC SUB-AREAS**

- 2
- WATER LEVEL CONTOURS IN FEET
- WATER LEVEL IN FEET
- GROUNDWATER FLOW DIRECTION
- GROUNDWATER DIVIDE

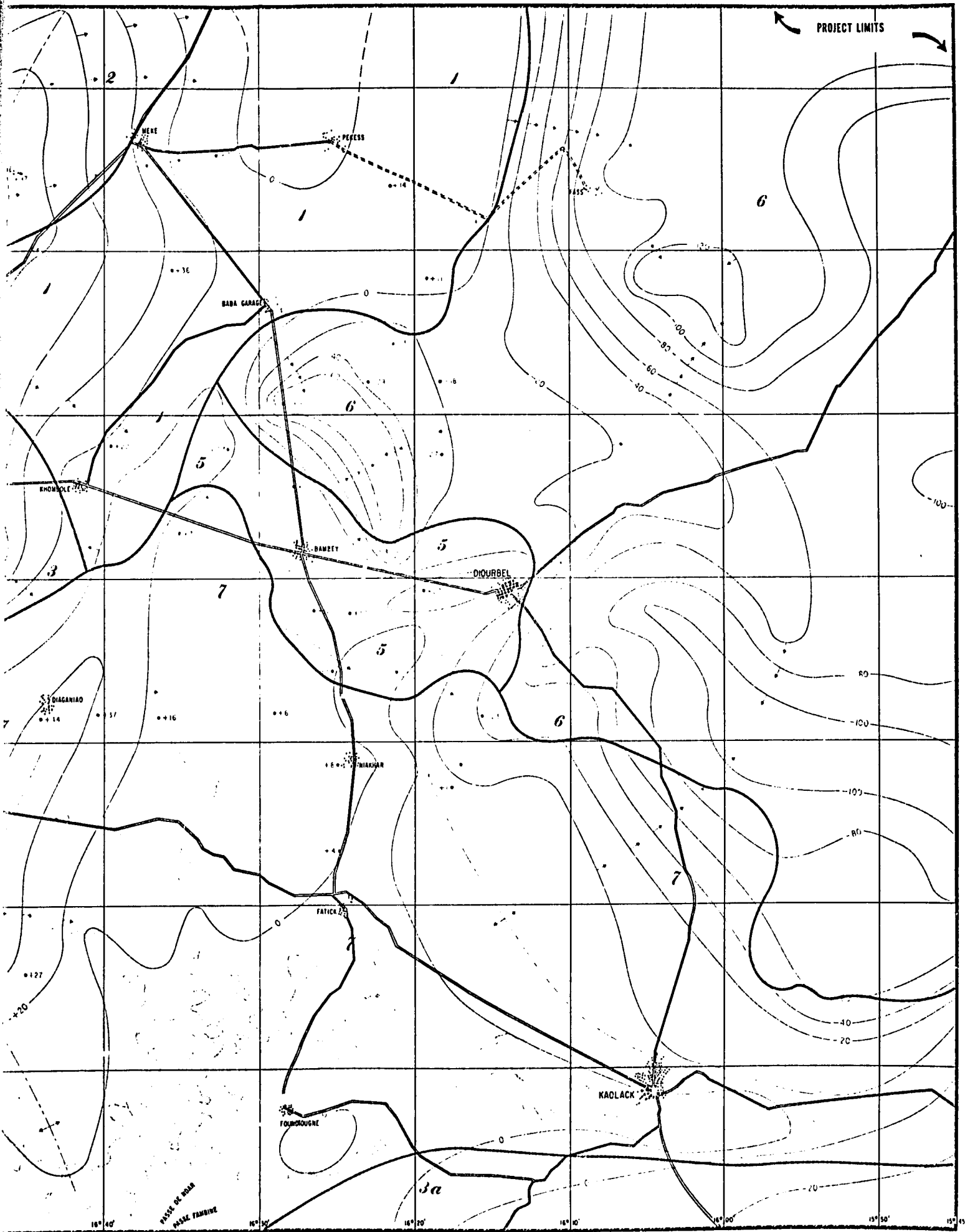
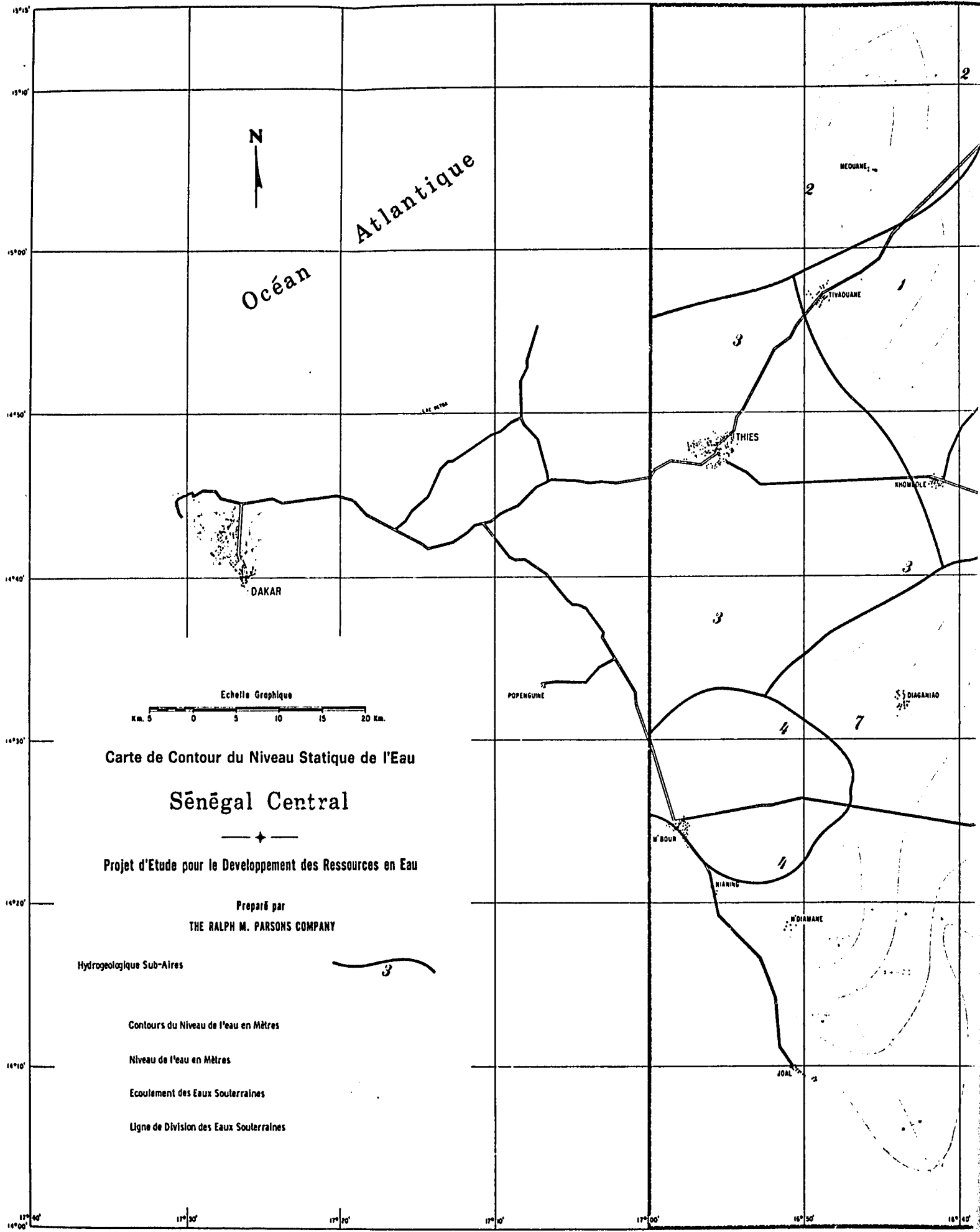


Figure 16 - Water table elevations



Océan Atlantique



Carte de Contour du Niveau Statique de l'Eau  
Sénégal Central

Projet d'Etude pour le Développement des Ressources en Eau

Préparé par  
THE RALPH M. PARSONS COMPANY

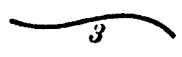
Hydrogéologique Sub-Aires

Contours du Niveau de l'eau en Mètres

Niveau de l'eau en Mètres

Ecoulement des Eaux Souterraines

Ligne de Division des Eaux Souterraines



17° 40' 17° 30' 17° 20' 17° 10' 17° 00' 16° 50' 16° 40'

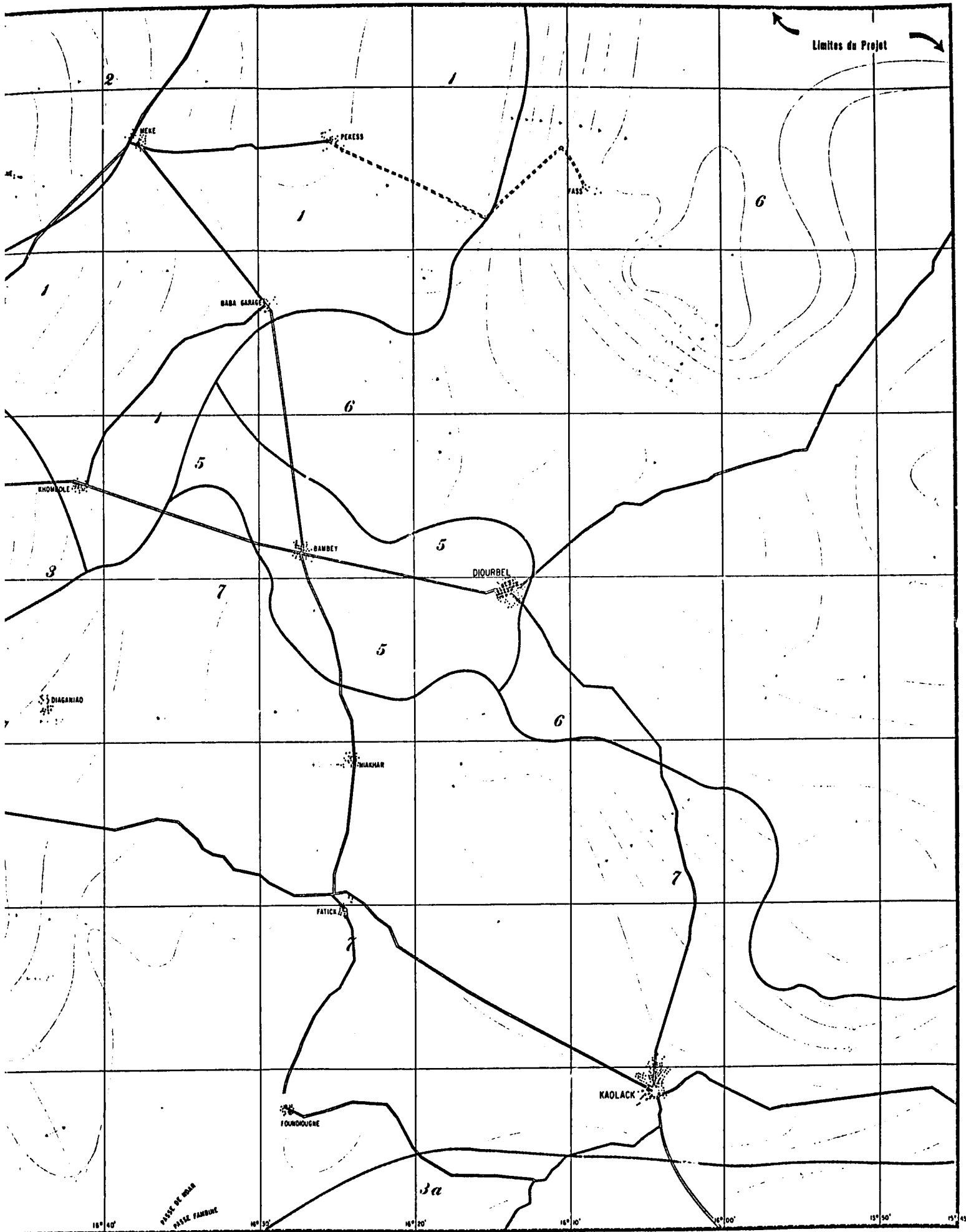


Figure 16A - Carte de contour du niveau statique de l'eau



Hydrology

**WATER REQUIREMENTS**

No extensive water requirement studies have been made in the past for West Central Senegal and statistical material on water consumption is scarce.

Some approximations of the quantities of water necessary to fulfill existing and future needs can be made using estimates of the human population, and the numbers of cattle, sheep and goats grazing in the area that have been made recently by the Genie Rural. These estimates place the human population of West Central Senegal at 1,200,000, cattle at 370,000, and sheep and goats at 500,000.

Water consumption rates vary markedly in different countries throughout the world depending upon the degree of industrialization and the amount of irrigated agriculture. The rate is also much different in the modern city of Dakar than at the village level. In the Project area figures on water consumption requirements are based upon the amount of water consumed per day per person, or per animal, in agricultural communities as they now exist with an additional factor added for a projected growth in the present standard of living.

The total water consumption requirement is obtained by multiplying the population figures times the individual rate of 16 gallons per day for humans, 9 gallons per day for cattle, and 4 gallons per day for sheep and goats.

Estimated desirable water requirements for these numbers are as follows:

	<u>gallons/year</u>
1,200,000 humans @16 gallons/day/person	6948.5 x 10 <sup>6</sup>
370,000 cattle @ 9 gallons/day/animal	1241.7 x 10 <sup>6</sup>
500,000 sheep/goats @ 4 gallons/day/animal	713.3 x 10 <sup>6</sup>
<b>Total annual requirement</b>	<b>8,903.54 x 10<sup>6</sup></b>

Using this figure as the basic amount of water needed to satisfy domestic and animal needs, without considering agriculture or industry, an extreme shortage is revealed when this is compared to presently developed supplies.

Water from deep Maestrician wells, of which there are about twenty in West Central Senegal, constitutes the major part of the water produced. Pumping records

Hydrologie

**BESOINS EN EAU**

Dans le passé, il ne fut pas fait d'études approfondies quant aux besoins en eau pour la partie Ouest du Sénégal Central et des statistiques sur la consommation de l'eau sont rarement disponibles.

Les récentes estimations faites par le Génie Rural sur la population humaine, le nombre de boeufs, moutons et chèvres broutant dans la région, peuvent servir de base au calcul des quantités d'eau nécessaire pour satisfaire les besoins actuels et futurs. Ces estimations dénombrent la population humaine de la partie Ouest du Sénégal Central à 1.200.000, les boeufs à 370.000 et les moutons et chèvres à 500.000.

Les taux de consommation d'eau varient sensiblement dans différentes localités suivant le degré d'industrialisation et de la quantité d'eau utilisée pour l'agriculture irriguée. Dans la ville moderne de Dakar, le taux de consommation d'eau est aussi très différent par rapport à celui d'un village. Dans la région du Projet, les chiffres sur les besoins de consommation d'eau sont basés sur la quantité d'eau consommée par jour par personnel ou par animal dans les communautés agricoles comme elles existent actuellement avec un facteur supplémentaire envisageant un essor du standard de vie actuel.

Le besoin total d'eau de consommation est obtenu en multipliant le nombre représentant la population par les taux individuels suivants: 60 litres par jour pour les humains, 35 litres par jour pour les boeufs et 15 litres par jour pour les moutons et les chèvres.

Les besoins d'eau estimée nécessaire à ces nombres sont les suivants:

	<u>mètres cubes par an</u>
1.200.000 humains à 60 litres par jour par personne	26.3 x 10 <sup>6</sup>
370.000 boeufs à 35 litres par jour par tête	4.7 x 10 <sup>6</sup>
500.000 moutons et chèvres à 15 litres par jour par tête	2.7 x 10 <sup>6</sup>
<b>Besoin total annuel</b>	<b>33.7 x 10<sup>6</sup></b>

En considérant ce total comme étant la quantité les exigences domestiques et animales, sans tenir compte de l'agriculture ou de l'industrie, une très importante insuffisance se révèle quand ce total est comparé aux ressources exploitées réellement.

L'eau des puits profonds forés dans le Maestricien dont il existe vingt puits environ dans la partie Ouest du Sénégal Central, constitue la plus grande partie de l'eau produite. Les annales de pompage indiquent qu'une



## Hydrology

indicate that an average production of  $1849.4 \times 10^6$  gallons of water per year comes from these Maestrician aquifer wells. Assuming that the remainder of the hand dug wells in the area produce 264,200,000 gallons of water from the phreatic aquifers, this gives a grand total of  $2113.6 \times 10^6$  gallons per year available for consumptive use. Subtracting this amount from the desirable annual amount needed ( $8903.5 \times 10^6$  gallons) gives a deficit of  $6789.9 \times 10^6$  gallons per year.

While this deficit could be met by the intensive pumping of the 40 development wells drilled during this project for a maximum estimated pumpage of  $6657.8 \times 10^6$  gallons per year, this would not meet the need of the people in terms of availability of the water at the places where it would be used. Also, this would require modern pumping equipment which cannot be supported by the existing economy. The goal of future drilling programs will be to have drilled wells in as many villages as possible, equipped with hand pumps, to serve the immediate local needs of the people.

This deficit does not consider the requirements for irrigated crops. Presently, most agriculture is handled by growing crops that require little water, depending upon the *hivernage* rains to supply the plant needs at the critical growth period.

Irrigation that has been undertaken in West Central Senegal has been done on a limited scale and then only in areas bordering on *marigots* and *niayes*. Ground water can be developed for agriculture as has been successfully shown in a few citrus and mango orchards in the Sebeitokane area just west of the Project area that have wells and irrigation canal systems.

The loose, lateritic, sandy soils and the abundant sunshine are conducive to good plant growth when water for irrigation can be found in sufficient quantities. The work of this survey helps to confirm that ground water is available at depths of less than 25 feet in much of the western one-third of West Central Senegal and can be cheaply developed for truck farming.

The Genie Rural estimates that an average rate of 12.7 gpm of water is required per acre for irrigation in West Central Senegal. The rate ranges from 8 gpm in the littoral zone to 19 gpm farther inland.

A truck farm of 500 acres irrigated for an average of four months per year would require about  $449 \times 10^6$  gallons of water per year.

Realistic estimates of the water requirements for future development of irrigation in West Central Senegal would depend upon extensive soil surveys, cropping pattern, land use and agricultural economic studies that are beyond the scope of the present work.

## Hydrologie

moyenne de production d'eau de  $7,0 \times 10^6$  mètres cubes d'eau par an provient de ces puits achevés dans le Maestricien. En présumant que les puits foncés de la région produisent un million de mètres cubes d'eau des couches aquifères phréatiques, cela donne un total global de  $8 \times 10^6$  mètres cubes par an, disponibles pour la consommation. En soustrayant ce total de celui des besoins annuels nécessaires,  $33,7 \times 10^6$ , cela donne un déficit de  $25,7 \times 10^6$  mètres cubes par an.

Ce déficit ne tient pas compte des besoins de l'irrigation. Actuellement, presque toute l'agriculture n'est maintenue que par la plantation de récoltes nécessitant peu d'eau, et en comptant sur les pluies de l'hivernage qui compensent les besoins de la récolte quand elle arrive à maturité, ce qui est un moment critique.

L'irrigation qui a été entreprise dans la partie Ouest du Sénégal Central a été effectuée sur une petite échelle et seulement dans des régions adjacentes à des marigots ou des niayes. L'eau souterraine peut être développée pour l'agriculture comme cela fut démontré avec succès dans quelques vergers de mangues et de citrons qui ont des puits et des systèmes de canaux d'irrigation, juste à l'Ouest de la région du Projet.

Beaucoup de soleil, des sols latéritiques sablonneux et meubles, sont favorables à une bonne croissance de la récolte quand l'eau pour l'irrigation peut être trouvée en quantité suffisante. Cette étude aide à confirmer que l'eau souterraine est disponible à des profondeurs de moins de 7,6 mètres dans une grande partie occidentale de l'Ouest du Sénégal Central et qu'elle peut être exploitée à bon marché pour l'agriculture.

Le Génie Rural estime qu'un taux moyen d'eau de 0,8 litre par seconde est nécessaire pour l'irrigation dans la partie Ouest du Sénégal Central. Le taux s'échelonne entre 0,5 litre par seconde dans la zone littorale et 1,2 litre par seconde dans l'intérieur du pays.

Une ferme de 200 hectares irriguée en moyenne quatre mois par an, nécessiterait environ  $1,7 \times 10^6$  mètres cubes d'eau par an.

Des estimations exactes sur les besoins en eau pour en développement futur de l'irrigation dans la partie Ouest Sénégal Central dépendraient d'études approfondies des sols, d'un type de récolte, de l'utilisation de la terre, et d'études d'économie agricole qui n'entrent pas dans le plan du travail de ce présent projet.





## Hydrology

### WATER AVAILABILITY

Much work has been done in Senegal to study the deep-seated Maestrician aquifers and efforts have been made by numerous specialists to obtain quantitative data on these resources. To the contrary, little has been done with the phreatic waters that occur in the Continental Terminal and the Eocene formations.

The state of the water balance studies of West Central Senegal, based upon all available information at the present time, cannot do more than produce an order of magnitude as to the overall quantity of water available for development from the phreatic zones. Long term records of water level fluctuations from wells widely scattered throughout the region under study are needed to properly estimate the dynamic yield of the phreatic aquifers. The *dynamic yield* is considered to be that amount of water that is annually replenishable by rainfall, i.e., the amount that can be safely used without depleting that which is permanently in storage and without upsetting the local hydrologic balance in relation to a degradation in water quality or to less economical pumping lifts.

Fluctuations of the water levels in wells have not been measured over a sufficient period of time or over wide enough areas to give precise figures for the dynamic yield of these aquifers.

Estimates of the dynamic yield are obtainable, however, where valid rainfall data are available for the recharge area. Information is also necessary on evapotranspiration, surface water inflow and outflow, and groundwater inflow and outflow.

The amount of rainfall occurring in an area under study minus the runoff and the evapotranspiration losses gives an approximation of the overall amount of water available for recharge, or aquifer replenishment. What portion of this infiltrates the land surface and reaches the water table depends upon the soil retention and the porosity and the permeability of the underlying sediments.

For an analysis of the hydrogeological conditions the total area of the Project has been divided into seven zones (figure 16). Five of these zones can be used in estimating the amount of rainfall contributing to the recharge of the phreatic aquifers. They are Areas 1, 2, 3, 4 and 5 with Areas 2 and 3 being subdivided into two parts each by the north-south groundwater divide line. There are no perennial surface streams flowing into or out of these five areas, however, a small amount of runoff occurs during heavy prolonged rains into the Sine Saloum. The

## Hydrologie

### DISPONSIBILITE DE L'EAU

Au Sénégal, il y eut beaucoup de travail effectué pour l'étude des aquifères Maestriciennes profondes et de nombreux spécialistes firent des efforts pour obtenir des renseignements quantitatifs sur ces ressources. Par contre, peu de recherches furent entreprises sur les eaux phréatiques se rencontrant dans les formations du Continental Terminal et de l'Eocene.

Les études de l'état de l'équilibre de l'eau de l'Ouest du Sénégal Central, basées sur toutes les informations disponibles actuellement ne peut que donner un ordre d'ampleur quant à la quantité d'eau totale disponible pour le développement des zones phréatiques. Des renseignements à longs termes sur les fluctuations du niveau de l'eau à partir de puits largement disséminés à travers la région que l'on veut étudier, sont nécessaires à l'estimation exacte du débit dynamique des aquifères phréatiques. Le débit dynamique est considéré être la quantité d'eau qui par les pluies recharge annuellement les aquifères. C'est la quantité d'eau qui peut être utilisée sans crainte, sans épuiser celle qui est en emmagasinement permanent et sans bouleverser l'équilibre hydraulique local en relation à une dégradation de la qualité de l'eau ou à des pompages moins économiques.

Les fluctuations des niveaux de l'eau dans les forages ne furent pas mesurées pendant suffisamment de temps ou dans des régions suffisamment grandes pour donner des calculs précis sur le débit dynamique de ces aquifères.

Néanmoins, il est possible d'obtenir des estimations sur le débit dynamique, là où des renseignements sont valables sur les pluies nécessaires à la recharge. Il est aussi nécessaire d'obtenir des renseignements sur l'évapotranspiration, sur la surface d'affluence et d'écoulement de l'eau et sur l'affluence et l'écoulement de l'eau souterraine.

On peut avoir une idée approximative de la quantité d'eau totale disponible pour la recharge des nappes aquifères en soustrayant de la quantité de pluies tombées sur la région étudiée, les pertes par évapo-transpiration et écoulement. La partie qui s'infiltré dans le sol et qui atteint la nappe d'eau, dépend de la porosité et de la perméabilité des sédiments sous-jacents. Le degré de rétention du sol et la capacité nécessaire à saturer le sol affecteront la quantité d'eau qui, en définitive, atteint la nappe d'eau et qui contribue au débit dynamique de l'aquifère.

Pour une analyse des conditions hydrogéologiques, la superficie totale de la région du Project a été divisée en sept zones comme indiqué sur la figure 16A. Cinq de ces zones peuvent être utilisées pour l'estimation de la quantité d'eau de pluies contribuant à la recharge des aquifères phréatiques. Ce sont les Régions 1, 2, 3, 4 et 5. Les Régions 2 et 3 étant subdivisées en deux parties chacune par la ligne nord-sud d'écoulement de l'eau souterraine. Il n'y a pas de fleuve à débit continu



low elevation of the land, and the consequently low gradients keep surface water runoff to a minimum. On the coastal area to the northeast, the sand dunes prevent surface water runoff losses.

Evapotranspiration rates are taken from previous studies as mentioned earlier in this chapter. Thirty percent of the total project area receives effective annual recharge in the form of rainfall and it is this recharge that assures the long term productive capability of the phreatic aquifers in West Central Senegal. Results of these calculations based upon the average annual rainfall in these areas for the period 1931-1961, minus the various water losses, are summarized in the table below.

coulant dans, ou à l'extérieur, de ce cinq régions. Néanmoins, de faibles écoulements, survenant au cours de fortes pluies prolongées, se jettent dans le Sine Saloum. La faible élévation du sol, et conséquemment, les faibles pentes, maintiennent à un minimum les écoulements en surface. Dans la région côtière, au nord-est, les dunes de sable empêchent les pertes par écoulements en surface.

Les taux d'évapo-transpiration sont pris sur des études antérieures, comme rapporté plus en avant dans cette section. Trente pour cent de la région totale du Projet reçoit la recharge annuelle réelle sous forme de pluies et c'est cette recharge qui assure la capacité productive à longs termes des aquifères phréatiques de l'Ouest du Sénégal Central. Les résultats de ces calculs basés sur les précipitations dans ces régions moins les différentes pertes d'eau sont résumés dans le tableau suivant.

TABLE 1  
Estimated Annual Volume of Water Available for Aquifer Recharge

Area No.	Size of Area Miles <sup>2</sup>	Surface Water Inflow Gallons	Annual Precipitation Inches	Total Average Water Supply Feet <sup>3</sup>	Surface Water Outflow Feet <sup>3</sup>	Evapotranspiration Potential Inches	Total Evapotranspiration Losses Feet <sup>3</sup>	Total Available Water for Recharge Feet <sup>3</sup>
1	825	0	29	5500 x 10 <sup>7</sup>	1118 x 10 <sup>6</sup>	17.6	3330 x 10 <sup>7</sup>	2188 x 10 <sup>7</sup>
2 (East)	184	0	29	1110 x 10 <sup>7</sup>	0	17.6	6610 x 10 <sup>6</sup>	4500 x 10 <sup>6</sup>
2 (West)	211	0	29	1434 x 10 <sup>7</sup>	0	17.6	8510 x 10 <sup>6</sup>	5800 x 10 <sup>6</sup>
3 (East)	316	0	31.4	2320 x 10 <sup>7</sup>	0	17.6	1275 x 10 <sup>7</sup>	1042 x 10 <sup>7</sup>
3 (West)	63.7	0	31.4	4650 x 10 <sup>6</sup>	0	17.6	2562 x 10 <sup>6</sup>	2100 x 10 <sup>6</sup>
4	127	0	33.4	1035 x 10 <sup>7</sup>	102.3 x 10 <sup>6</sup>	17.6	5270 x 10 <sup>6</sup>	4800 x 10 <sup>6</sup>
5	241	0	21.4	1760 x 10 <sup>7</sup>	0	23.6	1318 x 10 <sup>7</sup>	4380 x 10 <sup>6</sup>
	1950			1370 x 10 <sup>8</sup>	1220 x 10 <sup>6</sup>		8406 x 10 <sup>7</sup>	5390 x 10 <sup>7</sup>

TABEAU 1A  
Volume d'eau annuel estimé nécessaire à la recharge aquifère

N° de la Région	Superficie de la Région (m <sup>2</sup> )	Surface de l'Affluence d'Eau (m <sup>3</sup> )	Précipitations Annuelles mm	Moyenne de la Réserve d'Eau Totale (m <sup>3</sup> )	Surface de l'Écoulement de l'Eau (m <sup>3</sup> )	Potentiel d'Évapo-transpiration (mm)	Total des Pertes par Évapo-transpiration (m <sup>3</sup> )	Eau Totale Disponible pour la Recharge (m <sup>3</sup> )
1	2,144 x 10 <sup>6</sup>	0	740	1,585.6 x 10 <sup>6</sup>	31.7 x 10 <sup>6</sup>	440	943.3 x 10 <sup>6</sup>	611.5 x 10 <sup>6</sup>
2 (Est)	425 x 10 <sup>6</sup>	0	740	314.5 x 10 <sup>6</sup>	0	440	187.0 x 10 <sup>6</sup>	127.5 x 10 <sup>6</sup>
2 (Ouest)	548 x 10 <sup>6</sup>	0	740	405.5 x 10 <sup>6</sup>	0	440	241.1 x 10 <sup>6</sup>	164.4 x 10 <sup>6</sup>
3 (Est)	820 x 10 <sup>6</sup>	0	800	656.0 x 10 <sup>6</sup>	0	440	360.8 x 10 <sup>6</sup>	295.2 x 10 <sup>6</sup>
3 (Ouest)	165 x 10 <sup>6</sup>	0	800	132.0 x 10 <sup>6</sup>	0	440	72.6 x 10 <sup>6</sup>	59.4 x 10 <sup>6</sup>
4	339 x 10 <sup>6</sup>	0	850	288.0 x 10 <sup>6</sup>	2.9 x 10 <sup>6</sup>	440	149.2 x 10 <sup>6</sup>	135.9 x 10 <sup>6</sup>
5	623 x 10 <sup>6</sup>	0	800	498.4 x 10 <sup>6</sup>	0	600	373.8 x 10 <sup>6</sup>	124.6 x 10 <sup>6</sup>
	5,064 x 10 <sup>6</sup>			3,881 x 10 <sup>6</sup>	34.6 x 10 <sup>6</sup>		2,327.9 x 10 <sup>6</sup>	1,518.5 x 10 <sup>6</sup>

The total of 5390 x 10<sup>6</sup> cubic feet of water obtained in this estimate represents the average total, and maximum, dynamic yield of the aquifers for one year. This figure can be further refined by applying infiltration factors in the individual areas to the balance of rainfall input. However, these rates will not vary greatly as on the surface most of the areas have a similar type of Continental Terminal cover.

Le total de 1.518 x 10<sup>6</sup> mètres cubes obtenu de cette estimation représente la moyenne totale, e' maximum, du débit dynamique des aquifères pour une année. Ce total peut être ajusté en appliquant les facteurs d'infiltration dans chaque région à l'équilibre de la production des pluies. Ces taux néanmoins ne changeront pas de beaucoup, car en surface la plupart de ces régions ont un type semblable de couverture de Continental Terminal.



## CHAPTER VII CHAPITRE HYDROGEOLOGY/HYDROGEOLOGIE

### GENERAL

*The Project Area is composed of seven hydrogeologically different sub-areas with widely varying changes in aquifer porosity, permeability, water quality and artesian conditions.*

The hydrogeology of the phreatic aquifers of West Central Senegal is complex. The geologic character of the aquifers changes laterally in each direction, in addition to having widely varying vertical and lateral changes in aquifer porosity and permeability and in water quality.

Further complications arise from the phreatic water occurring under both water table and artesian conditions within the same formation, but at different localities.

The existence of perched water of good quality directly above a regional water table of inferior quality is generally true in the southern part of the Project area. In the east, perched water occurs at random in limited amount near the surface, but here water of more regional distribution is at considerable depth below the perched water bodies.

A hydrogeologic map has been prepared of the Project area (figure 17) containing all the wells drilled during the Project along with such pertinent data as total depth, depth to water level, gallons per minute, and water quality in milligrams per liter of total dissolved solids. Also shown is the ground water divide near the center of the recharge area and lines of cross sections A-A', B-B', and C-C'. These cross sections are shown in figure 18.

The total area has been divided into seven sub-areas (figure 17). These are:

*Area 1 - Eocene Limestone Aquifers; Area 2, The Coastal Dune Aquifer; Area 3 and 3A - Continental Terminal Aquifers; Area 4 - Paleocene Limestone Aquifers; Area 5 - Transition Zone; Area 6 - Eocene Marl and Clay Area; and Area 7 - Sine Salom Estuary Saline Area.*

Each unit has hydrogeological conditions different from its neighboring areas. The boundaries of these sub-areas are actually transitional zones and are not subject to precise delineation. These will be modified from time to time in the future as more information is developed and a better understanding of the dynamic nature of these aquifers is obtained.

### GENERALITIES

*La Région du Projet est composée de sept sous-régions hydrogéologiquement différentes avec des variations très changeantes de la porosité, la perméabilité, la qualité de l'eau, et les conditions artésiennes des nappes aquifères.*

L'Hydrogéologie des aquifères phréatiques de la partie Ouest du Sénégal Central est complexe. Le caractère géologique des aquifères change latéralement dans chaque direction, en plus des grands changements verticaux et latéraux se remarquant dans la porosité de la couche aquifère, sa perméabilité et la qualité de son eau.

D'autres complications surgissent de l'eau des couches phréatiques se présentant et sous la nappe d'eau, et sous les conditions artésiennes dans la même formation, mais en des endroits différents.

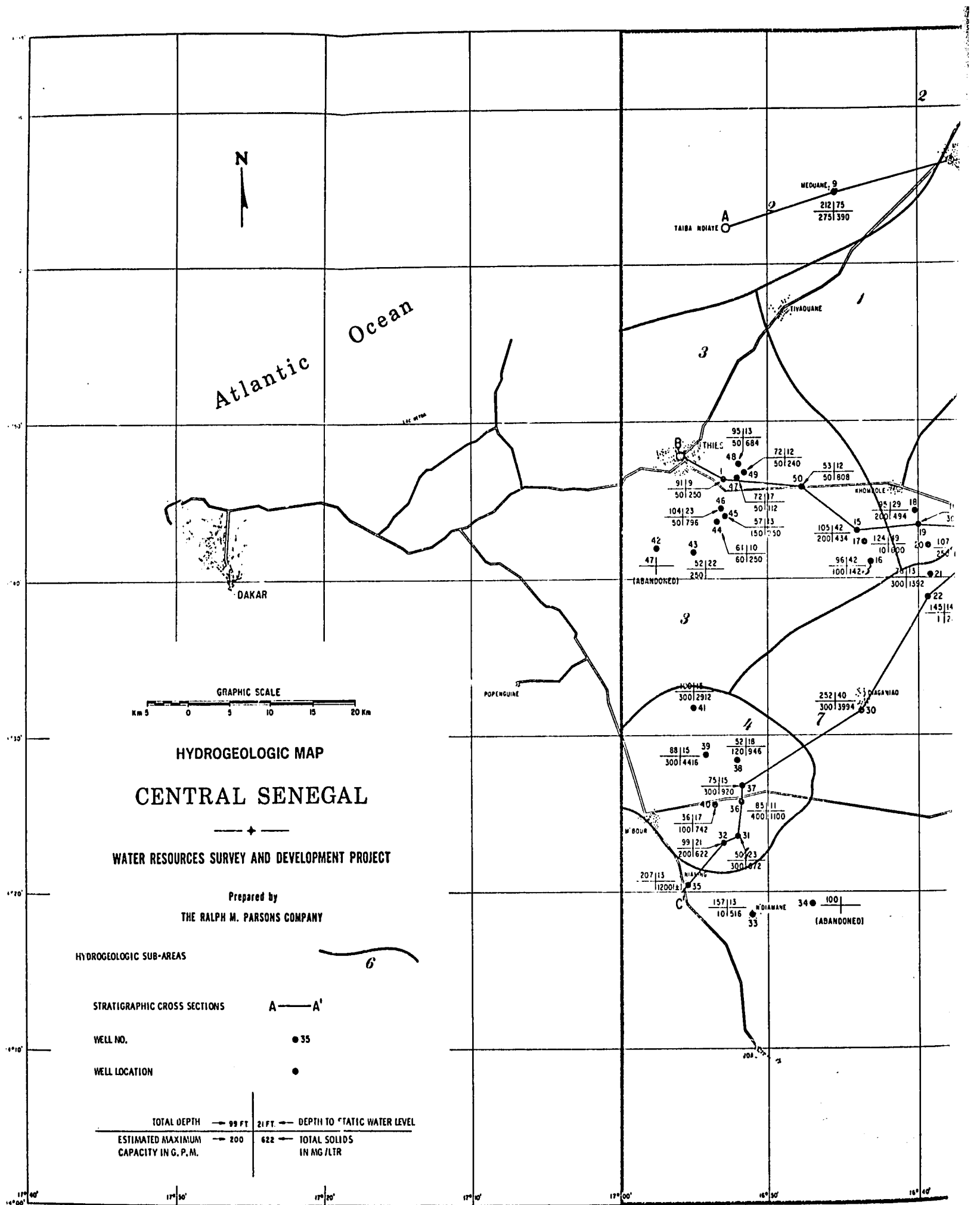
L'existence d'une eau perchée de bonne qualité, directement au-dessus d'une nappe d'eau régionale de qualité inférieure, s'avère vraie dans la partie méridionale de la région du Projet. Dans l'Est, l'eau perchée survient rarement et en quantités limitées à peu de profondeur, mais là, l'eau de distribution plus régionale se trouve à des profondeurs considérables en-dessous de l'eau perchée.

Une carte hydrogéologique du Projet a été préparée (figure 17A) représentant tous les forages construits durant le Projet avec des renseignements précis, sur la profondeur totale, la profondeur du niveau de l'eau, les gallons par minute et la qualité de l'eau avec, en milligramme, le total des extraits secs dissous par litre. Sont aussi représentées, la ligne de partage des eaux souterraines non loin du centre de la région de recharge et, trois lignes de coupes transversales A-A', B-B' et C-C' (figure 28).

La totalité de la région a été divisée en sept sous-régions (figure 17). Celles-ci sont:

*Région 1 - Aquifères Calcaires de l'Eocène; Région 2 - Aquifère de la Dune Côtière; Régions 3 et 3A - Aquifères du Continental Terminal; Région 4 - Aquifères Calcaires du Paléocène; Région 5 - Zone de Transition; Région 6 - Région Marnes et Argiles de l'Eocène; et Région 7 - Estuaire du Sine-Saloum, Région Saline.*

Chaque unité a des conditions hydrogéologiques différentes de celles des régions avoisinantes. Les limites de ces sous-régions sont en fait des zones de transition et ne sont pas astreintes à une délimitation précise. Ces limites seront de temps en temps modifiées dans l'avenir, quand plus de renseignements seront recueillis sur ces couches aquifères et quand une meilleure compréhension sur leur nature dynamique sera obtenue.



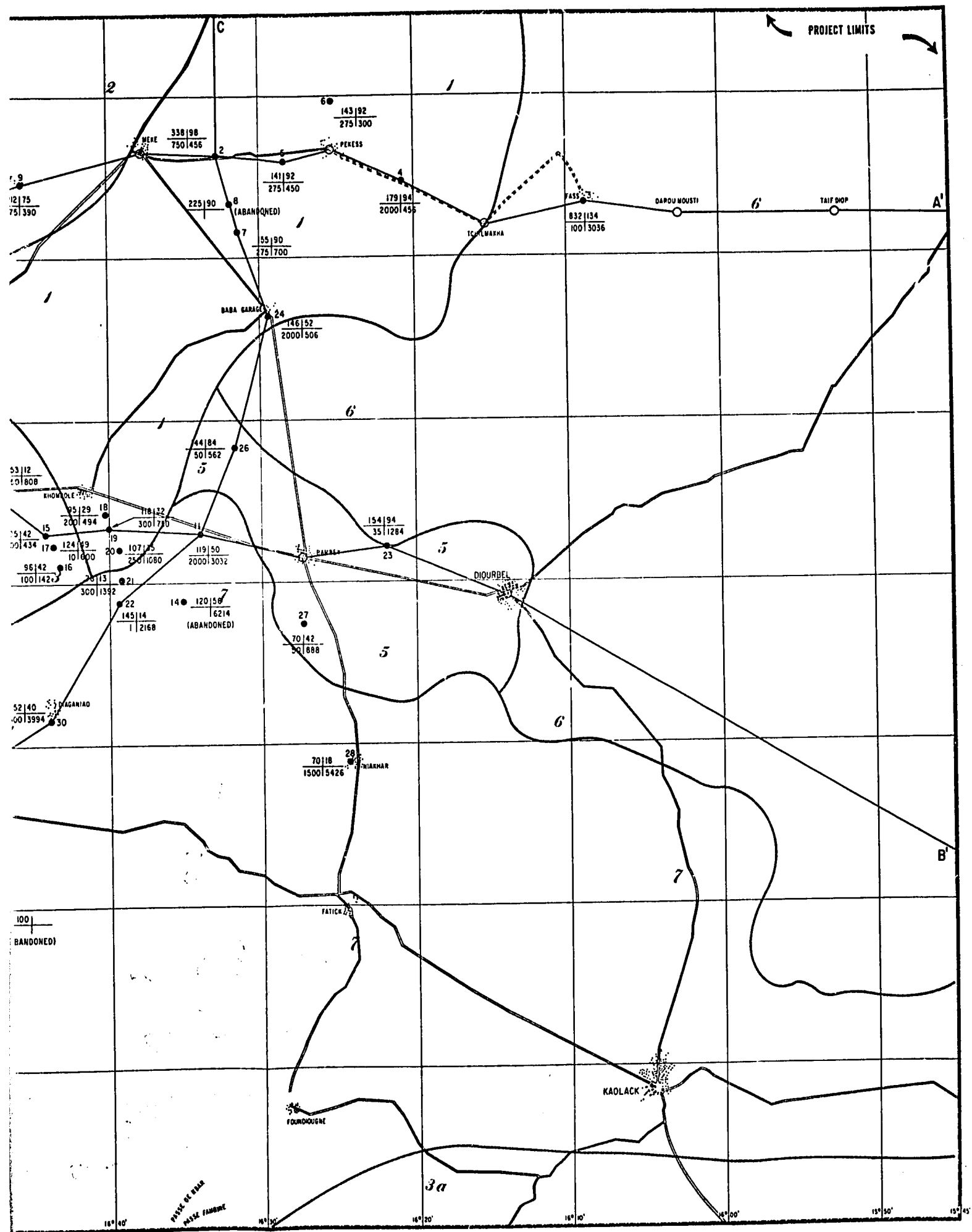


Figure 17 - Hydrogeologic map

Océan Atlantique



# Carte Hydrogéologique Sénégal Central

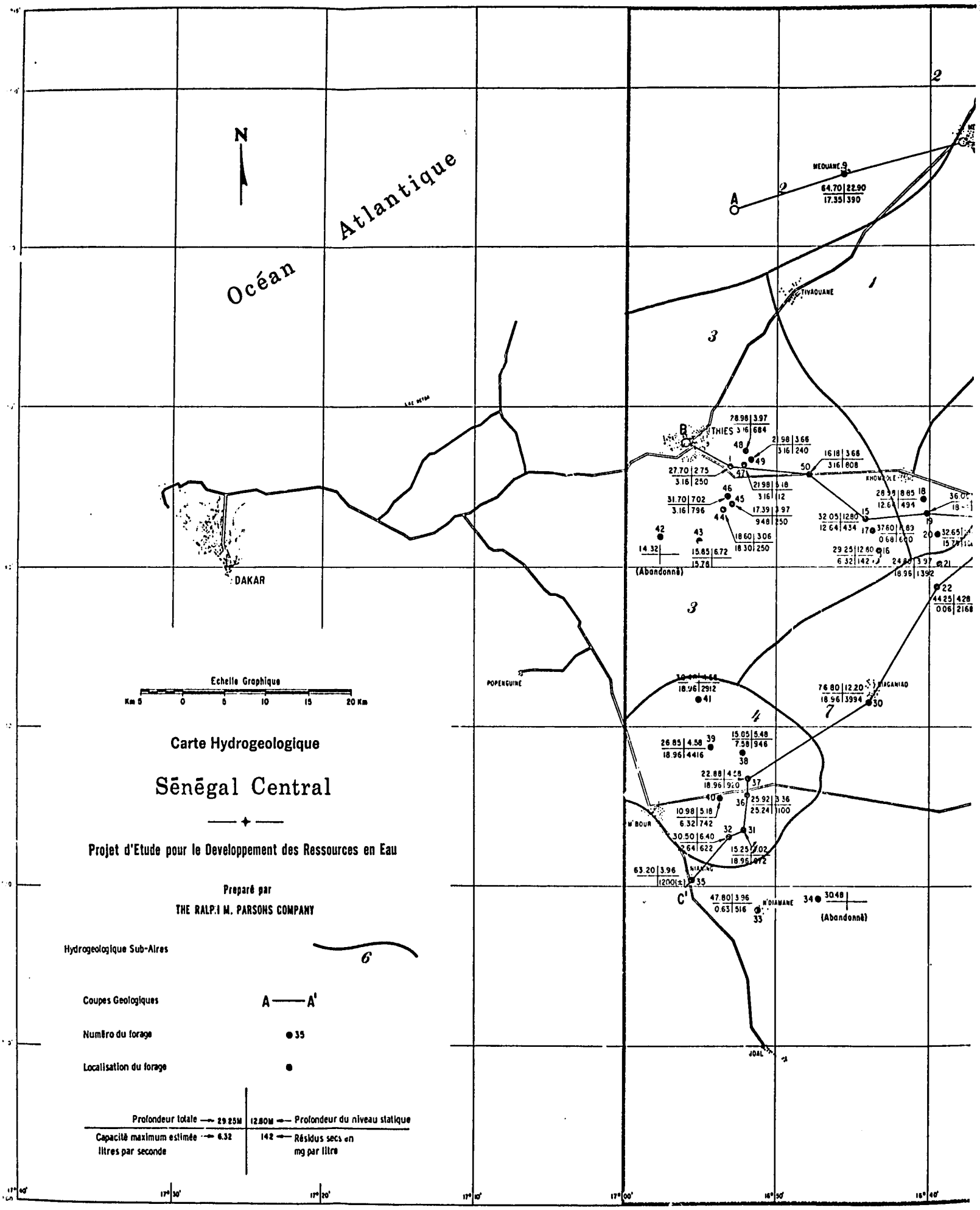
Projet d'Etude pour le Développement des Ressources en Eau

Préparé par  
THE RALPH M. PARSONS COMPANY

Hydrogéologie Sub-Aires

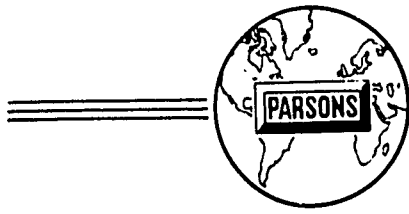
- Coupes Géologiques      A — A'
- Numéro du forage          ● 35
- Localisation du forage    ●

Profondeur totale → 29.25M	12.00M ←	Profondeur du niveau statique
Capacité maximum estimée → 6.32	142 ←	Résidus secs en mg par litre
litres par seconde		



17° 00'      17° 30'      18° 00'      18° 30'      19° 00'





## Hydrogeology

### GROUNDWATER MOVEMENT

Contours on the water table contour map (figure 16) are based upon elevations of the water table obtained from the results of the drilled well program and of the survey of the existing hand-dug wells. Contours were drawn on the regional water table rather than the perched waters. Significant differences of elevation between the perched waters and the regional water table were found only in the northeastern area.

Flow lines crossing the contour lines at right angles have been included on this map and show the movement of the groundwater away from the groundwater divide in all directions. The gradient of the water table to the east from the groundwater divide is approximately 16 feet per mile for about fifteen miles then it decreases to 25 feet per mile for the next twenty-five miles. West of the divide the average gradient is 22 feet per mile sloping to the west.

The impermeable barriers in the Gouane and Darou Mousty marl zones and the depressed water levels within these areas to the east are evident in the cross sections (figure 18). A barrier to groundwater flow also exists to the north and northeast of Kaolack.

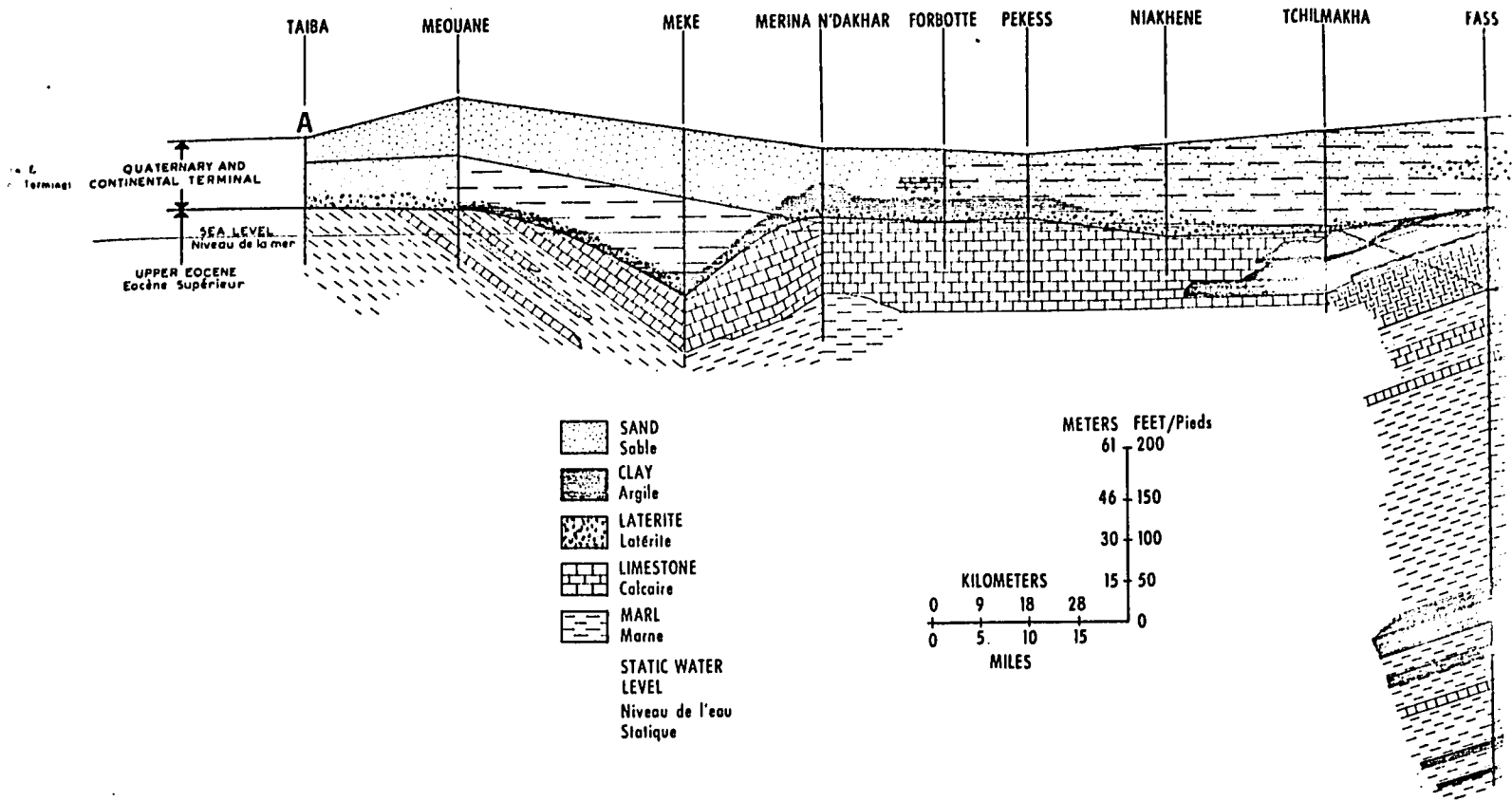
## Hydrogéologie

### MOUVEMENT DE L'EAU SOUTERRAINE

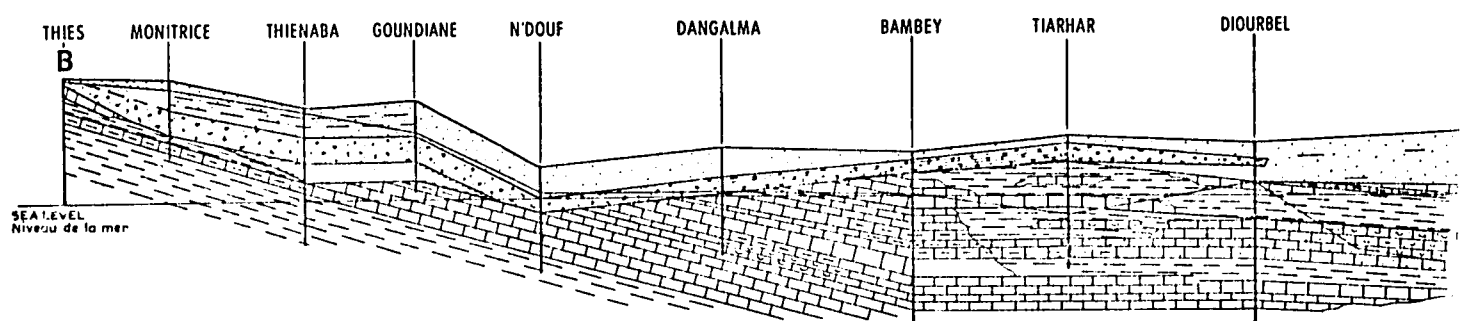
Le contour sur la carte de profil de la nappe d'eau (figure 16) sont basés sur les élévations de la nappe d'eau obtenues des résultats du programme des puits forés et de ceux de l'étude des puits foncés existants. Les contours furent dessinés sur la nappe d'eau régionale plutôt que sur les eaux perchées. Des différences d'élévations notables entre les eaux perchées et la nappe d'eau régionale furent relevées seulement dans la région Nord-Est.

Des lignes d'écoulement coupant les lignes de contour en angles droits ont été ajoutées sur cette carte qui montre le mouvement de l'eau souterraine s'éloignant dans toutes les directions de la ligne de partage des eaux souterraines. La pente de la nappe d'eau vers l'Est à partir de la ligne de partage des eaux souterraines est d'environ 3 mètres par kilomètre pendant à peu près 24,14 kilomètre puis décroît à 0,5 mètres par kilomètre pour les 40,23 autres kilomètres. A l'Ouest de la ligne de partage des eaux, la moyenne de dénivellation s'inclinant vers l'Ouest est de 4,3 mètres par kilomètre. Les barrières imperméables dans les zones de marne de Gouane et Darou Mousty, ainsi que les niveaux d'eau abaissés dans ces régions vers l'Est il est visible dans le coupe en travers (figure 18). Une barrière à l'écoulement des eaux souterraines existe aussi au Nord et au Nord-Est de Kaolack.

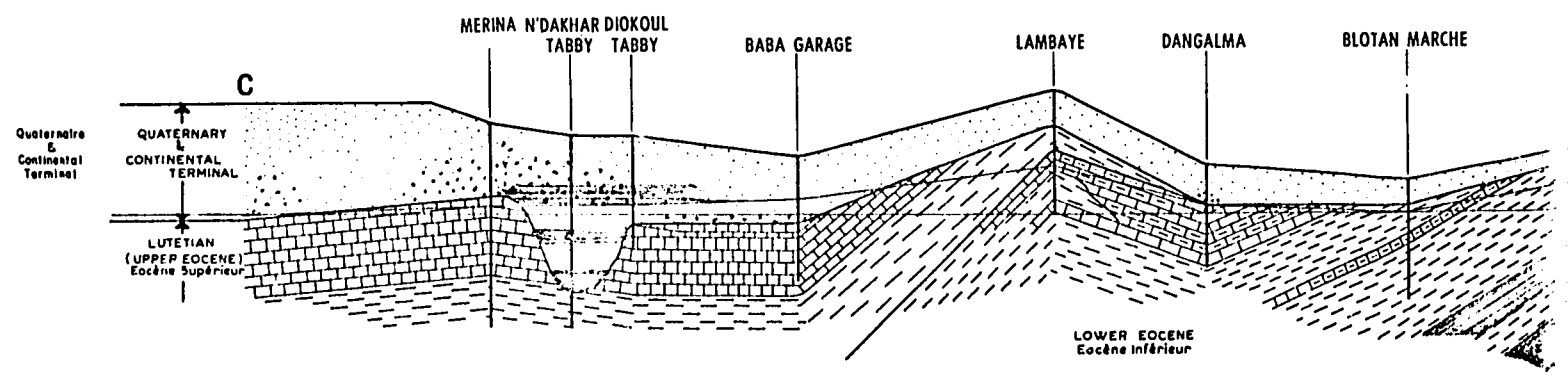




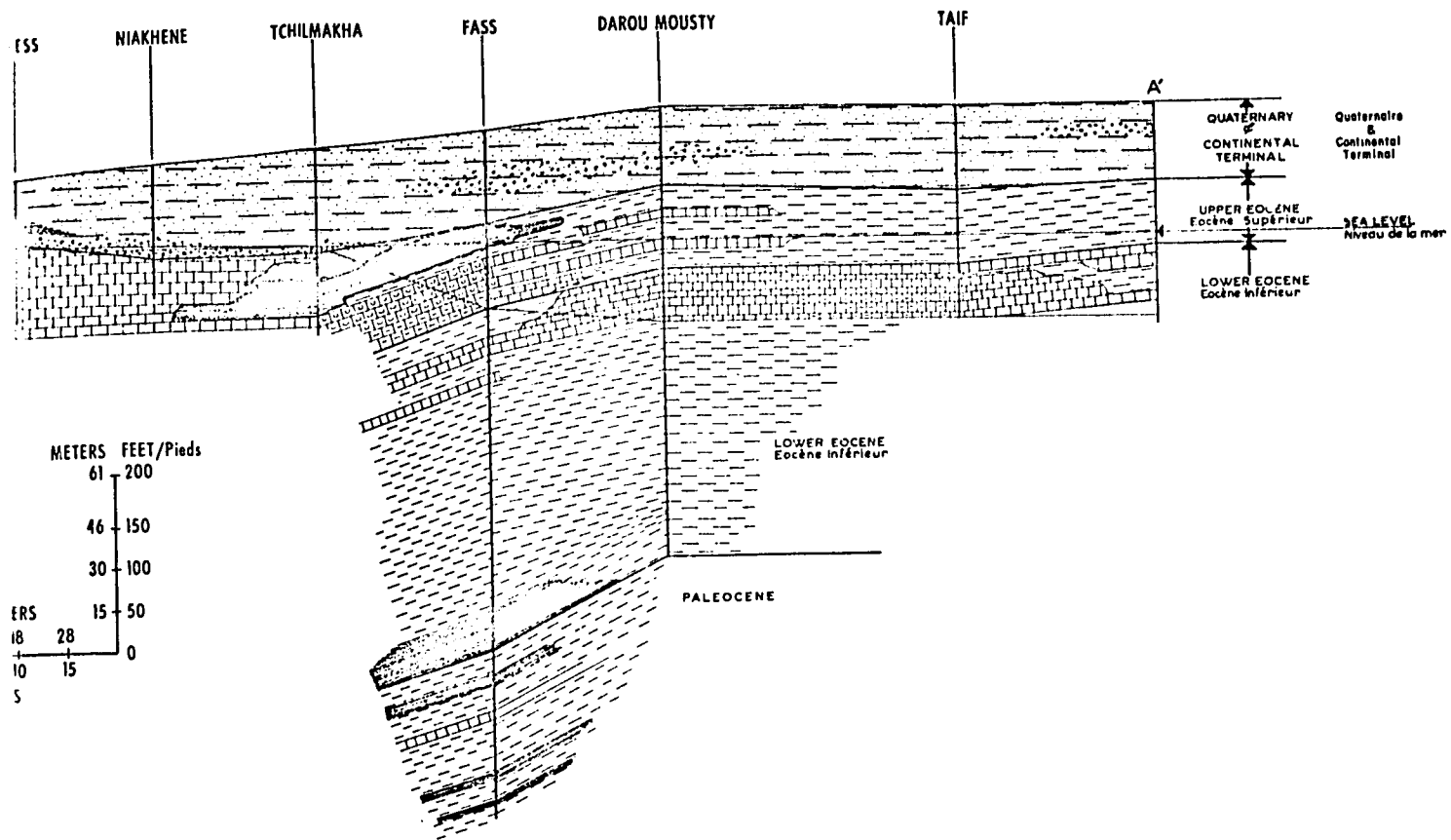
SECTION A-A'  
Coupe A-A'



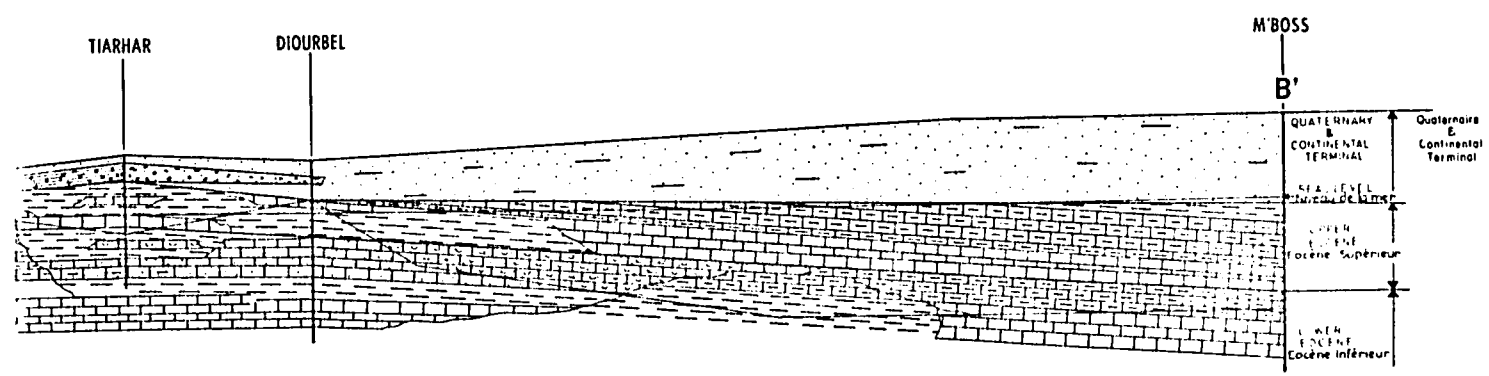
SECTION B-B'  
Coupe B-B'



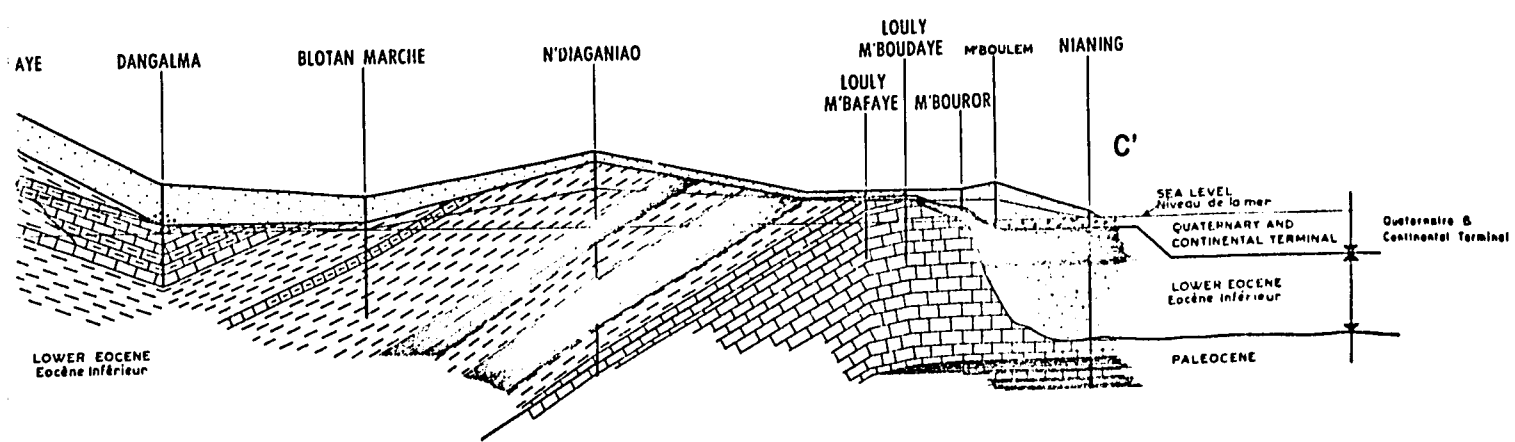
SECTION C-C'  
Coupe C-C'



SECTION A-A'  
Coupe A-A'



SECTION B-B'  
Coupe B-B'



SECTION C-C'  
Coupe C-C'

Figure 18 - Stratigraphic Cross Sections/  
Coupes Transversales Stratigraphiques



## Hydrogeology

### STORAGE CAPACITY

Of the seven sub-areas, five receive recharge directly from rainfall. Based on the calculation of the amount shown on table 2, a rough estimate of the annual safe, or dynamic yield has been made in the chapter on hydrology. The figure of  $53,600 \times 10^6$  cubic feet of water represents a maximum pumpage that should be observed annually until data has been collected for several years to test the long-term validity of this estimate.

In addition to the *dynamic yield* of the aquifers, which is considered to be that amount of water that is annually replenishing the aquifers from rainfall, there is another considerable amount of water that is permanently filling the void spaces of the aquifer material and is known as the water in *static storage*.

For current supplies it is important to maintain proper control of the development of groundwater at that level where annual withdrawals are replaced by annual rainfall. But a better understanding of the total water resources availability is also important for future planning and development as use increases.

To attain this, knowledge of the amount of water in static storage is needed. This can be estimated by multiplying the areal extent of the aquifers by the average saturated thickness of the material containing the water and its specific yield, which is the unit percentage of void space that can be filled with water. The product of this is the total volume of water in storage.

To obtain values of saturated thickness of the aquifers, an average of the thickness of eleven wells in Area 1 was taken of the Eocene limestone and a specific yield of 0.18 was estimated based upon the type of material and productivity of the individual wells on test. For the east section of Area 3, seventeen wells were used for the Continental Terminal aquifer and a specific yield of 0.14 was estimated. For Area 4, eight wells in the Paleocene limestone and a specific yield of 0.14, and Area 5, six wells and a specific yield of 0.17 for the transitional zone of the Eocene limestone.

## Hydrogéologie

### CAPACITE D'EMMAGASINAGE

De ces sept régions, cinq reçoivent directement une recharge des eaux de pluies, et, basée sur le calcul de la quantité comme indiqué sur le Tableau N°. 2, une évaluation en gros de la charge annuelle ou débit dynamique a été effectuée pour cette chapitre, dans la partie hydrologie. Le chiffre de  $1.518,5 \times 10^6$  mètres cubes d'eau par an, représente le pompage maximum qui devrait être respecté annuellement en attendant d'avoir recueilli pendant quelques années, des renseignements permettant de vérifier la validité à long terme de cette estimation.

En plus du débit dynamique des aquifères, qui est considéré être la quantité d'eau réapprovisionnant annuellement les aquifères des chutes de pluies, il y a une autre quantité d'eau considérable qui remplit continuellement les espaces vides des aquifères et qui est connue comme étant l'eau en emmagasinement statique.

Il est important de maintenir un contrôle attentif sur l'exploitation des réserves d'eaux souterraines, au point où les retraits annuels sont remplacés par les chutes d'eaux annuelles. Mais un discernement plus précis de la disponibilité totale des ressources en eau est important pour les dispositions et le développement futurs.

Pour atteindre ce résultat, il est nécessaire de connaître la quantité d'eau en emmagasinement statique. Celle-ci peut être évaluée en multipliant la superficie régionale des nappes d'eau par l'épaisseur moyenne saturée des matériaux contenant l'eau et leur débit spécifique, qui est le seul pourcentage d'espace vide pouvant être rempli d'eau. Le produit de cette opération est le volume total d'eau en emmagasinement.

Pour obtenir les valeurs des épaisseurs saturées des nappes d'eau, une moyenne de l'épaisseur de onze puits, dans le calcaire de l'Eocène de la Région 1 fut prise et un débit spécifique de 0,18 fut évalué, basé sur le genre du matériau et sur le rendement, à l'essai, des forages individuels; pour la section Est de la Région 3, dix-sept forages furent employés pour la nappe aquifère du Continental Terminal et un débit spécifique de 0,14; pour la Région 4, huit forages et un débit spécifique de 0,14 furent utilisés pour le calcaire du Paléocène; et pour la Région 5, six forages et un débit spécifique de 0,17 furent utilisés pour la zone de transition du calcaire de l'Eocène.



## Hydrogeology

If the quality of the water in static storage is at desirable levels of mineral content, this resource can be drawn upon in periods of great need, as a temporary expedient, but continual pumpage would deplete this resource and might permanently affect the water balance in the area.

Sufficient drilling has been done on this Project to make estimates of the volume of water in static storage in Areas 1, 3, 4, and 5. These estimates are summarized in the following table.

TABLE 2  
Static Storage Capacity of Aquifers

Area No	Aquifers	Size Miles <sup>2</sup>	Specific Yield (est)	Average Saturated Thickness Feet	Static Storage Capacity Feet <sup>3</sup>
1	Eocene Limestone	825	0.18	459	$1.905 \times 10^8$
3 (East) (Est)	Continental Terminals	316	0.14	262	$3.240 \times 10^7$
4	Paleocene Limestone	127	0.16	360	$2.110 \times 10^7$
5	Eocene Limestone	241	0.17	328	$3.740 \times 10^7$
Total					$2.814 \times 10^8$

## Hydrogéologie

Si la qualité de l'eau se trouvant en emmagasinement statique est à des niveaux satisfaisants quant à la teneur minérale, on peut avoir recours à cette ressource en périodes d'importants besoins, comme expédient temporaire, mais un pompage continu épuiserait cette ressource et pourrait affecter de façon définitive l'équilibre de l'eau dans cette région.

Au cours de ce Projet, suffisamment de forages furent effectués pour permettre les évaluations du volume de l'eau en emmagasinement statique des Régions 1, 3, 4 et 5. Les résultats de ces calculs sont résumés sur le Tableau ci-après.

TABLEAU 2A  
Capacité d'emmagasinement statique des nappes aquifères

N de la Région	Aquifères	Dimension (Km <sup>2</sup> )	Débit Spécifique (évalué)	Epaisseur (m)	Capacité d'Emmagasinement Statique (m <sup>3</sup> )
1	Eocene Limestone (Eocène Calcaire)	2,144	0.18	14	$5.403 \times 10^7$
3 (Est)	Continental Terminals (Continental Terminal)	820	0.14	8	$918 \times 10^6$
4	Paleocene Limestone (Paléocène Calcaire)	339	0.16	11	$697 \times 10^6$
5	Eocene Limestone (Eocène Calcaire)	623	0.17	10	$1.060 \times 10^6$
Total					$7.978 \times 10^6$



## Hydrogeology

*The following pages contain separate descriptions of the characteristics of each of the seven hydrogeological areas that have been identified as a result of the work accomplished during the course of the Project.*

### AREA 1 – LIMESTONE AQUIFERS

This is an area of 825 square miles in the northern part of the Project. Area 1 is typified by good quality water in thick and highly productive Eocene limestone. The top of the limestone lies at a depth of 85 to 148 feet, depth to the static water level from 52 to 98 feet, and the total solids contents in most of the area range from 300 to 700 milligrams per liter.

Ten-inch diameter wells<sup>1</sup> in the aquifer can have maximum capacities as high as 3,500 gallons per minute and specific capacities of 150 gallons per minute per foot of drawdown at a pumping rate of 450 gallons per minute. Aquifer transmissibilities calculated from project test data range upwards to 98,000 gallons per day per foot.

The limestone underlies the entire area except locally where it was eroded away by streams and subsequently filled with fine-grained continental deposits. Such a buried valley runs through the Tabby and Diak So area. To the east, and southeast, of Area 1, the limestone aquifer grades into marls and clays and thin limestone interbeds of low permeability. In the far southern end of the area the limestone aquifer extends into Area 5 where brackish to saline water conditions predominate.

Direct recharge occurs from percolating rainwater in the area and from the recharge that enters as underground flow from Area 2, the Coastal Dun Area to the west.

Gradients of the water table are low and the flow direction is generally eastward throughout the area. In the north, the aquifer is in direct hydraulic communication with the overlying Continental Terminal formation and water table conditions exist at Merina N'Dakhar, Diompy and Forbotte. To the east and south at Niakhene, Tabby and Baba Garage the aquifer becomes sub-artesian. The estimated dynamic yield for this aquifer is  $1615 \times 10^8$  gallons per year. The saturated thickness of aquifer based upon the average of 11 wells is 46 feet. The static storage is estimated to be  $1,432 \times 10^9$  gallons of water.

Three test wells and six development wells were completed in Area 1 and one additional development well was drilled but abandoned.

<sup>1</sup> Nominal diameter American Standards Association, metric value is numerical equivalent.

## Hydrogéologie

*Les paragraphes qui suivent contiennent des descriptions séparées des caractéristiques de chacune des sept régions hydrogéologiques qui ont été identifiées comme résultat du travail accompli au cours du Projet.*

### REGION 1 – AQUIFERES CALCAIRES

C'est une région de 2.144 kilomètres carrés dans la partie Nord du Projet. La Région 1 est caractérisée par une eau de bonne qualité située dans du calcaire de l'Eocène épais et très productif. Le haut du calcaire se trouve à une profondeur de 26 à 45 mètres, la profondeur du niveau statique de l'eau se situe entre 15,8 à 29,8 mètres et dans la plus grande partie de la région, le total des extraits secs s'échelonne de 300 à 700 milligrammes par litre.

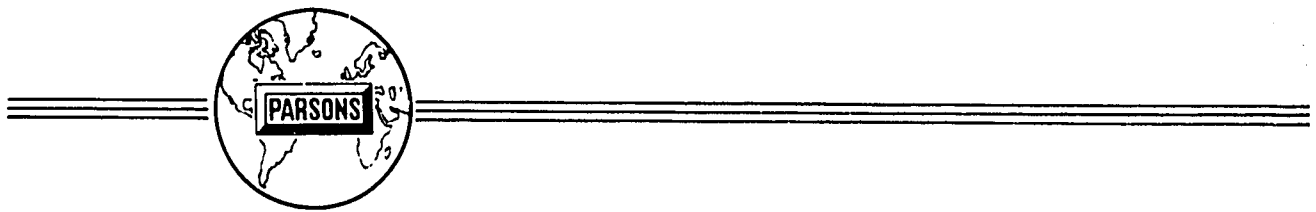
Dans la formation, des forages de 152 millimètres de diamètre, peuvent avoir des capacités maximum aussi élevées que 220,78 litres par seconde et des capacités spécifiques de 9,46 litres par seconde par mètre de rabattement à un rythme de pompage de 28,38 litres par seconde. Les transmissibilités des aquifères calculées à partir des données des tests du projet, sont supérieures à 1.240 mètres cubes par jour par mètre.

Le calcaire est sous-jacent dans toute la région, sauf aux endroits où il fut érodé par les fleuves et par conséquent, remplacé par des dépôts continentaux très fins. Une pareille vallée enterrée s'étale à travers la région de Tabby et de Diak So. Vers l'Est et le Sud-Est de la Région 1, les couches aquifères calcaires se dégradent en intercalations de marne, d'argile et de fines intercalations de calcaire peu perméables. A l'extrémité méridionale de la région, l'aquifère calcaire empiète sur la Région 5 où prédominent des eaux saumâtres à salines.

Dans la région, la recharge s'effectue directement par l'infiltration des eaux de pluie en plus de la recharge qui pénètre comme écoulement souterrain de la Région 2, la Région des Dunes Côtières à l'Ouest.

Les dénivellations de la nappe d'eau sont faibles et la direction de l'écoulement s'effectue en général vers l'Est dans toute la région. Dans le Nord, l'aquifère est en communication hydraulique directe avec la formation du Continental Terminal la recouvrant, et des conditions de nappes d'eau existent à Merina N'Dakhar, Diompy et Forbotte. Vers l'Est et le Sud, à Niakhene, Tabby et Baba Garage, l'aquifère devient subartésienne. Le débit dynamique évalué, de cette couche aquifère, est de  $611,5 \times 10^6$  mètres cubes par an. L'épaisseur saturée de

<sup>1</sup> Diamètre nominal American Standards Association, la valeur métrique est l'équivalent numérique.



## Hydrogeology

### AREA 2 – THE COASTAL DUNE AQUIFER

Area 2 encompasses 374 square miles of the coastal dune zone and is characterized by a thick section of saturated sand overlying Eocene marl and lesser amounts of limestone and sandstone.

The area has a high recharge rate because of a low evaporation rate and rapid percolation rate of rainfall into the sandy terrain. Total solids contents of groundwater in the area is less than 500 milligrams per liter and is often in the 200 - 300 milligrams per liter range. Depths to water levels do not exceed 85 feet along the crest of the dune area and are at shallower depths west of the crest. Near the coast the water table is close to the surface and in places, above the land surface forming ponds, or niayas in the low areas between dunes.

A ground water divide runs longitudinally through the eastern part of the area. West of the divide the groundwater flow is westward through the region of niayas toward the sea. East of the divide, the flow is into the limestone aquifer of Area 1.

One project well was completed and tested in the area. Transmissibility of the limestone sandstone aquifer in which the well was completed is 4,200 gallons per day per foot, and the coefficient of storage is  $1.2 \times 10^{-3}$ .

Future wells in the area should be completed in the limestone or sandstone underlying the sand, or in the sand, should the rock aquifers be absent. The sand and underlying rock aquifers are hydraulically connected. Well yields depend upon the amount of aquifer screened and developed; however, maximum yields in the range of 200 to 300 gallons per minute can be expected. Estimated dynamic yield for Area 2 is  $7,710 \times 10^7$  gallons per year.

### AREA 3 – CONTINENTAL TERMINAL LATERITE AQUIFERS

Area 3 has an areal extent of 381 square miles and is characterized by Continental Terminal laterite aquifers of low to moderate permeability containing water of excellent quality at relatively shallow depths. The top of the laterite lies at depths ranging from surface exposure to 65 feet, with the greater depths being in the eastern part of the area.

Static water levels in the western part of the area are at depths of 22 feet or less while in the eastern part of the area they tend to be between 40 and 50 feet. The

## Hydrogéologie

l'aquifère basée sur la moyenne de onze forages, est de 14 mètres. L'emmagasinement statique est évalué à  $5.420 \times 10^6$  mètres cubes d'eau.

Trois forages d'exploration et six forages de développement furent exécutés dans la Région 1 et un autre forage de production y fut foré et abondonné.

### REGION 2 – AQUIFERE DES DUNES COTIERES

La Région 2 comprend 973 kilomètres carrés de la zone de dunes côtières et elle est caractérisée par une épaisse section de sable saturé surmontant les marnes de l'Eocène et par de moindres quantités de calcaire et de grès.

La région a un taux de recharge élevé dû à la faible évaporation et au taux d'infiltration rapide des eaux de pluie dans ce terrain sablonneux. Le total des extraits secs de l'eau souterraine de la région est inférieur à 500 milligrammes par litre et est souvent de l'ordre de 200 à 300 milligrammes par litre. Les profondeurs du niveau de l'eau ne dépassent pas 25,8 mètres le long de la crête de la région de dunes et sont à des profondeurs moindres à l'Ouest de la crête. Près de la côte, la nappe d'eau est peu profonde et se trouve en certains endroits au-dessus du niveau du sol, formant des marigots ou niayas entre les dunes, dans les basses régions.

Une ligne souterraine de partage des eaux s'écoule longitudinalement à travers la partie orientale de la région. A l'Ouest de la ligne de partage des eaux, l'écoulement souterrain est dirigé vers l'Ouest à travers la région de niayas, proche de la mer. A l'Est de la ligne de partage des eaux, l'écoulement s'effectue dans la couche calcaire de la Région 1.

Un forage du projet fut achevé et testé dans la région. La transmissibilité de la couche calcaire grès, dans laquelle ce forage fut complété, est de 52,1 mètres cubes par jour par mètre et le coefficient d'emmagasinement est de  $1,2 \times 10^{-3}$ .

Les puits de la région devraient être terminés dans le calcaire ou le grès sous-jacents au sable ou alors dans le sable, si les roches aquifères n'existent pas. Le sable et les roches aquifères sous-jacents sont reliés hydrauliquement. Les débits du forage dépendent de la quantité d'eau tamisée et exploitée, néanmoins, on peut s'attendre à des débits maximum de l'ordre de 12,62 à 18,9 litres par seconde. Le débit dynamique évalué pour la Région 2, est de  $291,9 \times 10^6$  mètres cubes par an.



## Hydrogeology

character of the laterite varies considerably from moderately hard to very hard and clean; and from moderately permeable to clayey and impermeable. The laterite is often confined by clayey beds above and marl below, and is thus under artesian head.

Dug wells frequently exploit perched water in the fine grained continental sand overlying the confining clay. Aquifer transmissibility calculated from one pump test was 23,000 gallons per day per foot. Wells completed in the area have maximum capacities ranging from 10 gallons per minute to over 250 gallons per minute. Recharge in the area is by direct infiltration of rainwater.

The average saturated thickness of the laterite aquifer is 26 feet based upon data from seventeen wells. Using an estimated value of 0.14 for specific yield and considering only the area east of the divide, since no project wells were drilled on the west side, a static storage value is obtained in the amount of  $2,425 \times 10^8$  gallons for the east portion.

Dynamic yield was estimated to be no larger than  $7,800 \times 10^7$  gallons per year for the east, and  $1,570 \times 10^7$  gallons for the west. One test well and 11 development wells were constructed in the area and one additional development well was abandoned.

Conditions in Area 3-A which is a narrow strip of land 207 square miles in extent, south of Kaolack, appear to be similar to those in that part of Area 3 near Thiès, based upon information gained in an inventory of dug wells in the area. No project wells were drilled here.

## AREA 4 – PALEOCENE LIMESTONE AQUIFERS

Area 4 is 131 square miles in areal extent with Paleocene limestone and sandstone aquifers occurring at relatively shallow depths. The top of the Paleocene lies at depths of 13 to 45 feet, the static water levels are at depths of 11 to 23 feet.

Water quality varies from about 600 to 1100 milligrams per liter total dissolved solids. Overlying the Paleocene formation, sands and lateritic gravels of the Continental Terminal are frequently found that are in direct hydraulic communication with the limestones of the Paleocene.

In a few drilled wells the water levels are in the lateritic gravels while in the others the levels are at or slightly below the top of the Paleocene. Recharge is by local infiltration of rainwater. Some of the deeper water in the Paleocene is of inferior quality and similar to that found in Area 7.

## Hydrogéologie

### REGION 3 – AQUIFERES LATÉRIQUES DU CONTINENTAL TERMINAL

La Région 3 a une superficie de 985 kilomètres carrés. Elle est caractérisée par des couches aquifères latéritiques du Continental Terminal, de basse à moyenne perméabilité contenant une eau d'excellente qualité à des profondeurs relativement superficielles. Le sommet de la latérite se situe à des profondeurs allant de la surface du sol à 19,8 mètres, avec dans la partie orientale de la région, des profondeurs plus importantes.

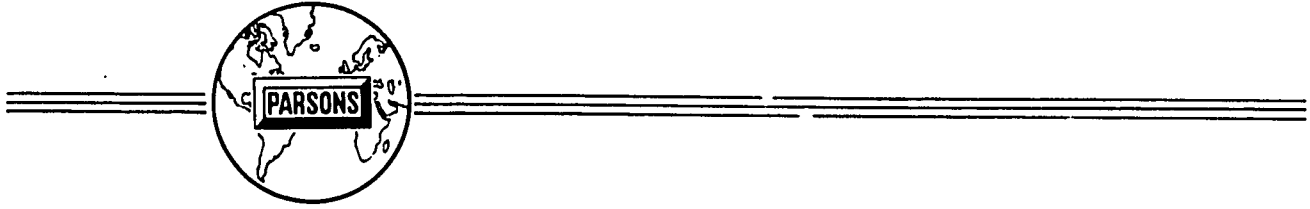
Dans la partie occidentale de la région, les niveaux statiques de l'eau sont à des profondeurs de 6,70 mètres ou moins, tandis que dans la partie orientale de la région, ils ont tendance à se situer entre 12,19 et 15,24 mètres. Le genre de latérite varie considérablement, de moyennement dur à très dur et net; et de moyennement perméable, à arbiaux et imperméable. La latérite est souvent limitée par des couches argileuses au-dessus d'elle et de la marne en-dessous, et se trouve de cette façon en-dessous de la source artésienne.

Les puits foncés exploitent souvent l'eau perchée du sable continental fin et granulé, recouvrant l'argile. La transmissibilité de la couche aquifère calculée à partir d'un test de pompage, était de 285 litres cubes par jour par mètre. Les forages complétés dans cette région ont des capacités maximum allant de 0,628 à 15,7 litres par seconde. Dans cette région, la recharge s'effectue directement à partir de l'infiltration des eaux de pluie.

La moyenne d'épaisseur saturée de la latérite aquifère est de 7,97 mètres dans la Région 3, moyenne basée sur les renseignements fournis par dix-sept puits. Utilisant une valeur estimée de 0,14 pour le débit spécifique, et considérant seulement la partie Est de la ligne de partage des eaux, aucun forage n'ayant été effectué par le projet dans la partie Ouest, une valeur d'emmagasinement statique de  $918 \times 10^6$  mètres cubes par an est obtenue pour la portion Est de la Région 3.

Le débit spécifique ne fut pas évalué à plus de  $295,2 \times 10^6$  mètres cubes par an pour l'Est, et à  $59,4 \times 10^6$  pour l'Ouest. Un forage d'exploration et onze forages de production furent construits dans la région et un autre forage de production y fut abandonné.

Dans la Région 3-A qui est une étroite bande de terrain de 538 kilomètres carrés de superficie au Sud de Kaolack, les conditions semblent être semblables à celles de la partie non loin de Thiès de la Région 3, d'après les renseignements recueillis d'un inventaire des puits foncés de la région. Il n'y eut pas de forages construits par le projet dans cette région.



## Hydrogeology

Laterally, the shallow aquifers grade into impermeable marls, limestones, and sandstones. Wells completed in the upper limestone aquifers may have maximum capacities ranging to over 400 gallons per minute while those in the laterite will be below 100 gallons per minute.

Six development wells were completed in the area. The estimated maximum dynamic yield of the aquifer is  $135.9 \times 10^6$  cubic meters per year. Average saturated thickness of aquifer obtained from data on eight wells is 35 feet (11 m). Using an estimated specific yield of 0.16 the Paleocene aquifer is found to have a static storage capacity of  $597 \times 10^6$  cubic meters.

### AREA 5 – TRANSITION ZONE (EOCENE)

Area 5 occupies 623 square kilometers of the central part of the Project and is characterized by thick beds of Eocene marl and thin interbeds of marly limestone of generally low permeability.

The area is a transitional zone between the brackish to saline area to the south and the marly zone with negative water level elevations to the north and east. Water quality is variable, becoming brackish to the south toward Area 7, and also deteriorating in quality to the north toward the marl zone of Area 6. In general the water quality deteriorates with depth.

Perched water of better quality exists in parts of the area and is exploited by dug wells. Wells drilled in the Eocene aquifers below the perched water zone will have capacities generally less than 100 gallons per minute.

The estimated maximum dynamic yield of Area 5 is  $124.6 \times 10^6$  cubic meters of water per year. Average saturated thickness of aquifer based upon data from six wells is 33 feet (10 m). Using an estimated specific yield of 0.17 a static storage capacity of  $1,060 \times 10^6$  cubic meters was calculated.

### AREA 6 – EOCENE MARL AND CLAY AREA

Area 6 is an area of 5,432 square kilometers in the east and northeast section of the Project and is characterized by a preponderance of impermeable Eocene marl and clay, and negative water level elevations. Little, or no, recharge from either the surface or the subsurface occurs. Static water levels in localities where water-bearing sediments do exist are in excess of 100 feet below sea level, sometimes giving total depths below ground level of more than 250 feet.

## Hydrogéologie

### REGION 4 – COUCHES CALCAIRES DU PALEOCENE

La Région 4 a une superficie de 339 kilomètres carrés avec des couches de calcaire et de grès du Paléocène se présentant à des profondeurs relativement faibles. Le sommet du Paléocène se situe à des profondeurs allant de 3,96 à 13,7 mètres, les niveaux statiques des profondeurs de 3,35 à 7,01 mètres.

La qualité de l'eau varie de 600 à 1.100 milligrammes par litre d'extraits secs dissouts. Surmontant la formation du Paléocène, des sables et des gravillons latéritiques du Continental Terminal sont fréquemment présents et ils sont en communication hydraulique directe avec les calcaires du Paléocène.

Dans quelques forages, les niveaux de l'eau sont dans les gravillons latéritiques et dans d'autres, ils se trouvent dans le sommet du Paléocène ou alors, légèrement en dessous. La recharge se fait par infiltration des eaux de pluie. Les eaux profondes du Paléocène sont parfois de qualité inférieure mais néanmoins similaires aux eaux rencontrées dans la Région 7.

Les couches aquifères peu profondes se dégradent latéralement dans les marnes imperméables, les calcaires et les grès. Les forages achevés dans les aquifères calcaires supérieures peuvent avoir des capacités maximum de plus de 25,3 litres par seconde, tandis que dans ceux achevés dans la latérite, les capacités seront inférieures à 6,31 litres par seconde.

Six forages de production furent construits dans cette région. Le débit dynamique maximum évalué pour l'aquifère est de  $135,9 \times 10^6$  mètres cubes par an. La moyenne d'épaisseur saturée de l'aquifère obtenue à partir de renseignements fournis par huit forages, est de 11 mètres. Utilisant un débit spécifique estimé à 0,16 l'aquifère du Paléocène de la Région 4 s'avère avoir une capacité d'emménagement statique de  $597 \times 10^6$  mètres cubes.

### REGION 5 – ZONE DE TRANSITION (EOCENE)

La Région 5 s'étend sur 623 kilomètres carrés dans la partie centrale du Projet. Elle est caractérisée par d'épaisses intercalations de marne de l'Eocène et par de fines intercalations de calcaire marneux de faible perméabilité en général.

C'est une zone de transition entre la région d'eau saumâtre à saline au Sud, et la zone marneuse dont les élévations du niveau de l'eau sont négatives au Nord et à l'Est. La qualité de l'eau est variable, devenant saumâtre vers l'Est, à proximité de la Région 7, et se détériorant aussi en qualité, non loin de la zone de marne de la Région 6. La qualité de l'eau se détériore en général en profondeur aussi.





## Hydrogeology

Permeable sediments are practically nonexistent in the Gouane and Darou Mousty marl zones where small amounts of poor quality water are found at great depths. The water exists in thin limy strata within great thickness of marl and clay. A hand dug well at Darou Mousty attained a depth of 590 feet before an appreciable quantity of water was located in Paleocene limestone. One well was drilled in the area by Project personnel to a depth of 832 feet. A small amount of poor quality water of 3036 milligrams per liter total dissolved solids was developed. Limited amounts of better quality perched water occur in a few areas of the marl zone in the overlying Continental Terminal deposits.

Considerable deep drilling and research beyond the scope of the present project contract will be needed to more fully outline the groundwater potential of the water that may be present in the Paleocene formation which occurs between the Cretaceous Maestrician and the Eocene.

### AREA 7 – SINE SALOUM ESTUARY SALINE AREA

Area 7 encompasses the Sine Saloum Estuary, a sizable margin of land around the estuary, and a western extension in the M'Bour area, a total of 2,282 square miles. Water quality was the sole criteria used in setting boundaries to this area, and the 2000 milligrams per liter total dissolved solids contour line, (figure 19), generally defines the outer limits of the area.

Aquifers are Paleocene limestone in the M'Bour extension and Eocene limestone and Continental Terminal deposits in the remainder of the area. The saline quality of the Eocene and Continental Terminal aquifers results from residual chemicals left by a geologically recent incursion of the sea into the area, and from the almost flat gradient of the water table which produces a very low rate of regional water movement. In addition, a high nitrate content is present and appears to result from chemical fertilizers used in Senegalese peanut agriculture. Transmissibilities of the Eocene limestone aquifers are generally high, and in one instance was tested to be in excess of 300,000 gallons per day per foot. Eleven wells were drilled in the area and two of these were abandoned.

The water quality in the Project wells that were drilled ranged from 516 to 2168 milligrams per liter total dissolved solids in some wells tapping the perched waters and up to 5000 - 6000 milligrams per liter for wells testing the more regional water table.

## Hydrogéologie

Une eau perchée de meilleure qualité existe dans certaines parties de la région et elle est exploitée par des puits foncés. Les puits forés dans les aquifères de l'Eocène, en dessous de la zone d'eau perchée, auront des capacités généralement inférieures à 6,3 litres par seconde.

Le débit dynamique maximum évalué pour la Région 5 est de  $124,6 \times 10^6$  mètres cubes d'eau par an. La moyenne d'épaisseur saturée de l'aquifère, calculée à partir de renseignements fournis par six forages est de 33 pieds (10 m). Utilisant un débit spécifique évalué à 0,17, une capacité d'emmagasinement statique de  $1.060 \times 10^6$  mètres cubes fut calculée.

### REGION 6 – REGION MARNES ET ARGILES DE L'EOCENE

La Région 6 est une portion de 5.432 kilomètres carrés à l'Est et au Nord-Est du Projet. Elle est caractérisée par une prépondérance de marnes et argiles imperméables de l'Eocène, et des élévations négatives des niveaux de l'eau. Il ne s'y effectue pas, ou alors très faible, de recharge, soit de la surface ou alors de la sub-surface. Dans les localités où des sédiments contenant de l'eau existent, les niveaux statiques de l'eau sont à plus de 30,48 mètres en dessous du niveau de la mer, et dont quelquefois, les profondeurs totales en dessous du niveau du sol sont supérieures à 76,20 mètres.

Il n'existe pratiquement pas de couches perméables dans les zones de marne de Gouane et Darou Mousty, où de faibles quantités d'une eau de pauvre qualité, se trouvent à des profondeurs considérables. L'eau se rencontre dans de minces couches calcaires à l'intérieur de couches de marne et d'argile d'importante épaisseur. Un puits foncé à Darou Mousty dut atteindre une profondeur de 180 mètres avant qu'une appréciable quantité d'eau ne soit trouvée dans le calcaire du Paléocène. Un forage fut exécuté dans la région, par le personnel du Projet, à une profondeur de 254 mètres. Une faible quantité d'eau de pauvre qualité, qui avait 3.025 milligrammes d'extraits secs par litre, fut exploitée. Dans quelques parties de la zone de marne, dans les dépôts superposés du Continental Terminal, surgit, en quantités limitées, une eau perchée de meilleure qualité.

Des forages à des profondeurs considérables et des recherches qui n'entrent pas dans le plan de travail du présent projet, seront nécessaires pour indiquer de façon plus complète, le potentiel d'eau souterraine qui pourrait se trouver dans la formation du Paléocène située entre le Maestricien Crétacé et l'Eocène.



## Hydrogeology

Due to the existence of widespread brackish to saline conditions, care must be exercised in selecting future drilling sites. In general, in the phreatic zones water of good quality occurs as perched water above the waters of inferior quality. Drilling too deep, or overpumping will bring the poorer waters into the well and greatly decrease its usefulness.

Estimates of dynamic yield and static storage have little validity in the Sine Saloum Estuary Saline Area because of the brackish to saline conditions, the almost flat water table gradients, and the random nature of the occurrence of the limited amounts of good quality perched waters. Deep test drilling to the Maestrician, which is beyond the scope of the present project, will be needed to outline this deeper and potentially good water resource.

## Hydrogéologie

### REGION 7 – REGION SALINE DE L'ESTUAIRE DU SINE-SALOUM

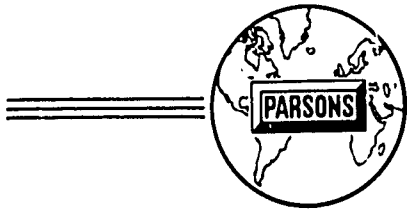
La Région 7 comprend l'Estuaire du Sine-Saloum, un important morceau de terrain autour de l'estuaire, et une extension occidentale dans la région de M'Bour, soit un total de 5.914 kilomètres carrés. La qualité de l'eau fut le seul critère utilisé pour la délimitation de cette région, et la ligne de profil de 2.000 milligrammes d'extraits secs dissouts par litre, Planche N° 19, limite en général extérieurement, cette région.

Dans l'extension de M'Bour, les aquifères sont dans le calcaire du Paléocène, et dans le reste de la région, elles se trouvent dans le calcaire de l'Eocène et dans les sédiments du Continental Terminal. La qualité saline des aquifères de l'Eocène et de celles du Continental Terminal, résulte des résidus chimiques laissés par une incursion géologiquement récente de la mer, à l'intérieur de la région, et de la très faible dénivellation de la nappe d'eau qui produit un taux très bas de mouvement de l'eau régionale. Une teneur très élevée en nitrate s'ajoute à ceci, elle semble être due aux fertilisants chimiques employés dans l'agriculture Sénégalaise de l'arachide. Les transmissibilités des aquifères calcaires de l'Eocène sont généralement élevées et une fois, cette transmissibilité fut testée à 3725 mètres cubes par jour par mètre. Onze forages furent construits dans la région parmi lesquels deux furent abandonnés.

La qualité de l'eau dans les puits forés par le personnel du Projet s'échelonnait de 516 – 2.168 milligrammes d'extraits secs dissouts par litre, et dans quelques forages pénétrant les eaux perchées, la qualité de l'eau s'échelonnait à plus de 5.000 à 6.000 milligrammes par litre pour les forages testant la nappe d'eau la plus régionale.

On doit choisir avec soin les sites futurs des forages, à cause de l'existence d'eaux saumâtres à salines, largement étalées. En général, une eau peu profonde et de bonne qualité, surgit dans les zones phréatiques au-dessus d'eaux d'une qualité moins bonne. Des forages trop profonds et des propages inutiles amèneront les eaux de pauvre qualité dans le puits et amoindriront énormément l'utilité du forage.

Les estimations du débit dynamique et de l'emmagasinement statique ont peu de valeur dans la Région Saline de l'Estuaire du Sine-Saloum à cause de la qualité saumâtre à saline de l'eau, des très faibles dénivellations de la nappe d'eau et de la présence rare, et en quantités limitées, d'une eau peu profonde et de bonne qualité. Des forages d'essais profonds dans le Maestricien, qui n'entrent pas dans le plan du projet actuel, seront nécessaires pour déterminer le potentiel de cette ressource d'eau profonde et de bonne qualité.



## Hydrogeology

### WATER QUALITY

Water quality is variable in the Project area with the best waters occurring in the western part of the Project where direct recharge is the greatest. This ranges from 200 to 6000 milligrams per liter total solids. There is a general deterioration in phreatic quality in an eastward and southeastward direction terminating in Area 7 where analyses show total solids up to 6200 milligrams per liter. Some of the deterioration in quality is due to chemical contamination derived from phosphate deposits in the Eocene limestone and from chemical fertilizers widely used in peanut agriculture. An important polluting factor appears to be residual salinity deposited during a marine intrusion into the southern part of the project area during the recent geological past.

A quality contour map (figure 19) has been prepared from data obtained from a field survey of dug wells and from data obtained from Project test and development wells. The contours on the map represent total solids concentrations of the shallowest water exploitable by drilled wells.

Discrepancies will be noted on the map between some individual dug well total solids concentrations and the quality contours. This is intentional since perched water in the Project area was largely ignored in drawing the contours, for it usually has a limited vertical thickness and sits directly upon water of inferior quality. Such perched water qualities that differ markedly from the quality of the regional waters below are underlined on the map.

Quantitative data on the mineral content of the waters can be used to gain a fuller understanding of the history and movements of the ground waters, and to plan the best uses for present consumption and for future agricultural developments. The state of development of the groundwater resource at present is at the basic level, i.e., trying to satisfy domestic and animal minimum, daily needs.

The chemical nature of the waters in the Project area varies widely. Two methods were employed to determine the composition and concentration of the salts found in the natural waters. Electrical conductivity readings were made of the waters in all the hand dug wells visited during the survey and inventory. Electrical conductivity readings were also made of the water in the drilled wells during the course of drilling. After the wells were completed water samples were then sent to the Government laboratory in Dakar for complete chemical analyses of the total dissolved mineral content.

Results of the analyses are summarized in table A-2 contained in appendix of this report.

## Hydrogéologie

### QUALITE DE L'EAU

Dans la région du Projet, la qualité de l'eau est variable. Les eaux de meilleure qualité se trouvent dans la partie occidentale du Projet, là où la recharge est la plus importante. Les qualités de l'eau s'échelonnent de 200 à 600 milligrammes par litre. Dans la direction Est et Sud-Est terminant la Région 7, on constate une détérioration générale dans la qualité de l'eau phréatique, là où les analyses révèlent un total d'extraits secs supérieur à 6.200 milligrammes par litre. Une partie de la détérioration dans la qualité est due à une contamination chimique provenant des sédiments de phosphate dans le calcaire Eocène et des fertilisants chimiques fréquemment utilisés dans la culture de l'arachide. Un important facteur de pollution semble être la salinité résiduelle déposée lors d'une intrusion marine récente du point de vue géologique, dans la partie méridionale de la région du projet.

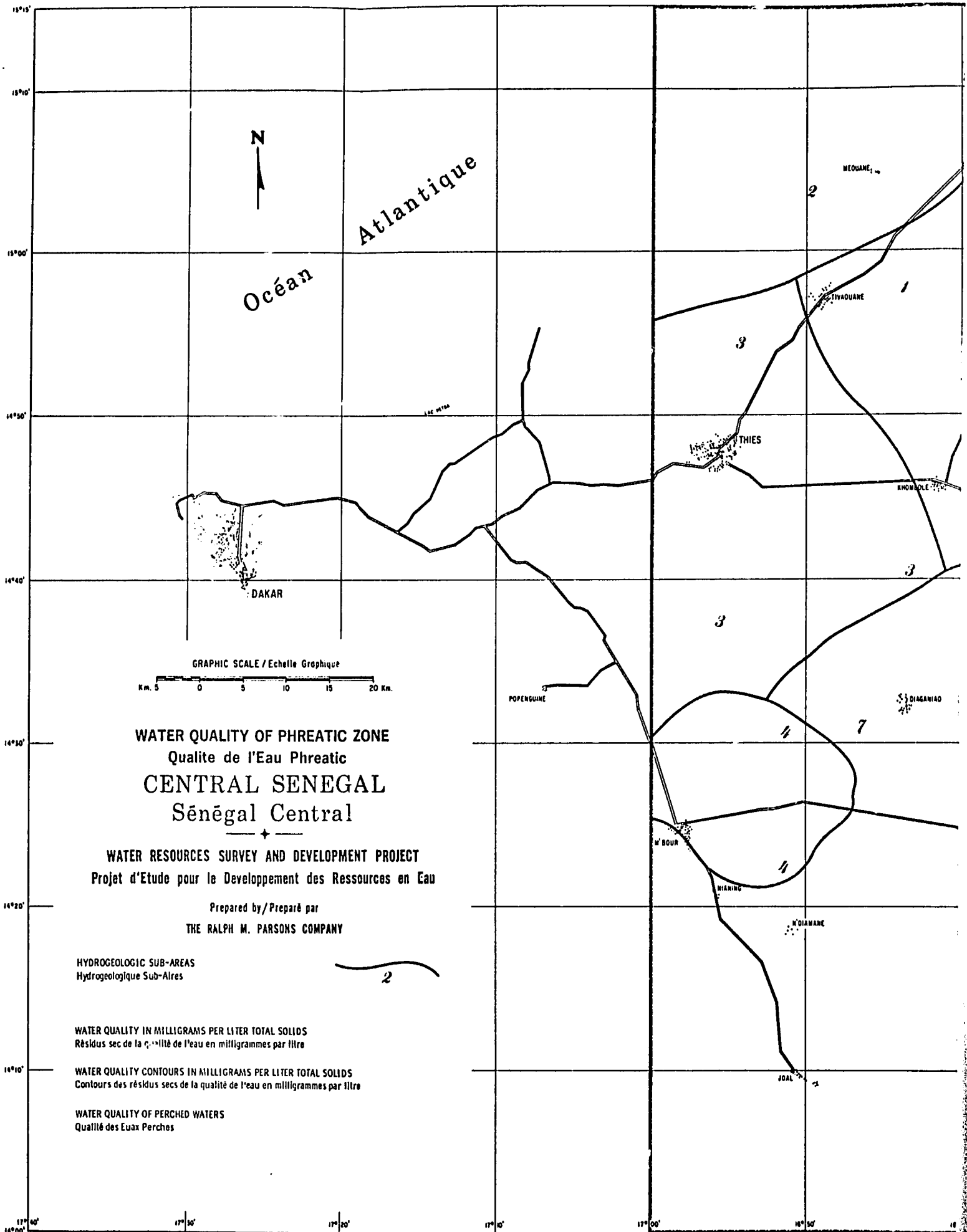
Une carte de contours de qualité (figure 19) a été préparée à partir des renseignements obtenus d'une étude sur le chantier, des puits forés et des résultats recueillis des forages d'exploration et de production du Projet. Les contours sur la carte représentent les concentrations totales d'extraits secs dans l'eau la moins profonde, exploitable par puits forés.

Des écarts sur la carte seront relevés entre les concentrations totales d'extraits secs dans quelques puits forés, et les contours de qualité. Ceci est volontaire, l'eau perchée ayant été en grande partie ignorée dans la région du Projet pour le dessin des contours car elle a, en général, une épaisseur verticale relative, et elle se trouve directement au-dessus d'une eau de qualité inférieure. De pareilles qualités d'eau perchée qui diffèrent sensiblement de la qualité des eaux régionales sous-jacentes, sont soulignées sur la carte.

Les données quantitatives sur la teneur minérale des eaux peuvent être utilisées pour avoir une meilleure compréhension de l'histoire et des mouvements des eaux souterraines, et pour prévoir des utilisations meilleures pour la consommation actuelle et pour les développements futurs de l'agriculture. L'état actuel du développement de la ressource d'eau souterraine est au niveau de base d'essai pour satisfaire les besoins domestiques et animaux minimum journaliers.

La nature chimique des eaux dans la région du Projet varie énormément. Deux méthodes furent employées pour déterminer la composition et la concentration des sels trouvés dans les eaux naturelles. Des lectures de conductivité électrique furent effectuées sur les eaux de tous les puits forés étudiés lors de l'étude et de l'inventaire des puits existants, et des lectures de conductivité électrique furent aussi effectuées sur l'eau des puits forés au cours du programme de forage. Quand les forages eurent été achevés, des échantillons d'eau furent envoyés au laboratoire du Gouvernement à Dakar, et des analyses chimiques complètes, furent effectuées sur la teneur totale des minéraux dissous.

Les résultats des analyses sont résumés dans le tableau A-2 de l'appendice de ce rapport.



Océan Atlantique

DAKAR

GRAPHIC SCALE / Echelle Graphique  
 Km. 5 0 5 10 15 20 Km.

**WATER QUALITY OF PHREATIC ZONE**  
 Qualité de l'Eau Phreatic  
**CENTRAL SENEGAL**  
 Sênégâl Central

**WATER RESOURCES SURVEY AND DEVELOPMENT PROJECT**  
 Projet d'Etude pour le Développement des Ressources en Eau

Prepared by / Préparé par  
**THE RALPH M. PARSONS COMPANY**

HYDROGEOLOGIC SUB-AREAS  
 Hydrogéologique Sub-Aires

2

WATER QUALITY IN MILLIGRAMS PER LITER TOTAL SOLIDS  
 Résidus sec de la qualité de l'eau en milligrammes par litre

WATER QUALITY CONTOURS IN MILLIGRAMS PER LITER TOTAL SOLIDS  
 Contours des résidus secs de la qualité de l'eau en milligrammes par litre

WATER QUALITY OF PERCHED WATERS  
 Qualité des Eaux Perchos

17° 00' 17° 30' 18° 00' 17° 00' 18° 00'

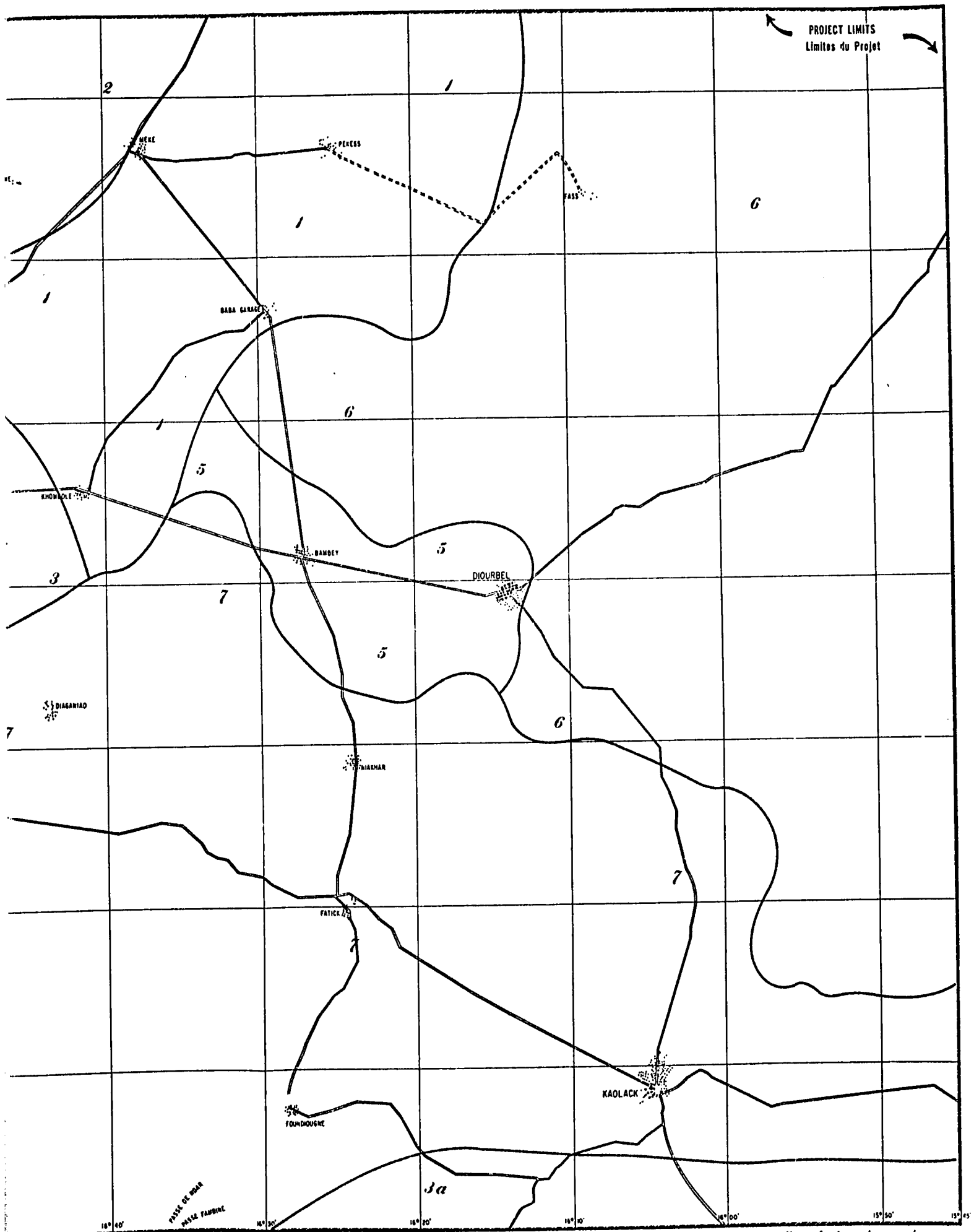
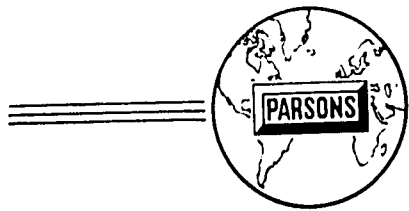


Figure 19 - Water quality of phreatic zone/  
Carte de contour de la qualite de l'eau



## Water Quality

### WATER FOR IRRIGATION

Use of water for irrigation is practiced on a very limited scale. Power-driven pumps are scarce and hard to maintain. Only the Government is able to underwrite the use of expensive pumping equipment. The major number of consumers draw water from open wells with pulley and bucket with a small number now utilizing hand pumps provided by foreign aid in one form or another.

The use of water for irrigation has not been done to any significant degree in Central Senegal in the past, but the quality of the water from all but three of the completed wells was sufficiently good to be used as irrigation water should techniques of irrigated agriculture be adopted.

Water for irrigation should be of such quality that it will neither adversely affect plant growth by its high salinity nor damage the soil in which the crops grow by changing the basic soil structure.

The first condition is caused by high concentrations of salts in the water which may accumulate in the soil and be toxic to the plant. The tolerable limits vary among plants; however, good drainage practices which carry away excess salts from the root zone permit the use of waters with total dissolved solids concentrations in excess of 2000 milligrams per liter. This tendency of irrigation water to cause an accumulation of salts in the soil is called the *salinity hazard* of the water.

The second condition, a deterioration of the soil structure, is caused by high concentration of sodium in the water relative to its calcium and magnesium content. Calcium and magnesium tend to cause soil particles to flocculate while sodium tends to deflocculate them. Flocculation gives the soil looseness while deflocculation causes packing and prevents free air and water movement. The adverse effects of a concentration of sodium in the water is termed the *sodium hazard*.

An index of the measure of the sodium hazard is called the sodium adsorption ratio (SAR) and can be defined by the equation:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

where Na, Ca and Mg are in equivalents per million.

For a classification of irrigation waters the United States Salinity Laboratory staff has adopted a diagram on which can be plotted the sodium hazard (SAR) on the vertical axis against the salinity hazard on the horizontal

## Qualité de l'Eau

### EAU POUR L'IRRIGATION

L'usage de l'eau pour l'irrigation, est utilisé sur une très petite échelle. Les pompes entraînées par la puissance sont rares et difficiles à maintenir. Seul, le Gouvernement est en mesure de souscrire à l'emploi d'un équipement de pompage onéreux. La majorité des consommateurs puisent l'eau des puits foncés avec des poulies et des seaux, et un petit nombre d'entre eux utilisent maintenant des pompes à balanciers fournies d'une manière ou d'une autre, par une aide étrangère.

L'emploi de l'eau pour l'irrigation n'a pas été pratiqué, dans le passé, à un degré de quelque importance, dans le Sénégal Central, mais la qualité de l'eau dans tous les puits achevés, à l'exception de trois d'entre eux, fut suffisamment bonne pour être utilisée comme eau d'irrigation pour le cas où une technique de culture irriguée devait être adoptée.

L'eau d'irrigation devrait être d'une qualité telle, qu'elle ne devrait pas affecter défavorablement la croissance de la plante par sa grande salinité, ni détériorer la terre dans laquelle les récoltes poussent en changeant la structure de base de la terre.

La première condition est motivée par des concentrations élevées de sels dans l'eau, qui pourraient s'accumuler dans la terre et être toxiques à la récolte. Les limites tolérables varient avec les plantes; néanmoins, de bonnes pratiques d'écoulement des eaux, qui charieraient au loin les excès de sels de la zone d'enracinement, permettent l'emploi d'eaux dont les concentrations totales d'extraits secs dissouts sont supérieures à 2.000 milligrammes par litre. Cette tendance qu'a l'eau d'irrigation de causer une accumulation de sels dans la terre, est appelée le *hasard de salinité* de l'eau.

La seconde condition, la détérioration de la structure du sol, est causée par la forte concentration du sodium dans l'eau par rapport à sa teneur en calcium et en magnésium. Le calcium et le magnésium tendent à rendre les particules du sol floconneuses, tandis que le sodium tend à les défloculer. Des particules floconneuses rendent le sol inconsistant tandis que la défloculation rend le sol consistant et empêche l'air de pénétrer et l'eau de se mouvoir. Les effets contraires à une concentration de sodium dans l'eau sont appelés le *hasard du sodium*.

Une table de mesure du *hasard du sodium* est ainsi nommée: rapport d'absorption du sodium (RAS), qui peut être défini par l'équation:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

dans laquelle Na, Ca et Mg sont en équivalents par million.



axis. Results of the plot then give a classification of the waters based upon the following scale:

<u>Salinity Hazard</u>		<u>Sodium Hazard</u>	
C-1	Low	S-1	
C-2	Medium	S-2	
C-3	High	S-3	
C-4	Very High	S-4	

After arriving at a classification of the water for irrigation purposes it must then be related to local conditions of soil, drainage, and types of crops to be grown.

The major portion of the waters tested in West Central Senegal appear to be usable for irrigation as shown by the plot of the water samples in figure 20.

Pour une classification des eaux d'irrigation, le personnel du Laboratoire de Sainité des Etats-Unis a adopté un graphique sur lequel peuvent être rapportés le hasard du sodium (RAS) sur les axes verticaux, contre le hasard de salinité sur les axes horizontaux. Les résultats du tracé donnent alors une classification des eaux, basée sur l'échelle suivante:

<u>Hasard de Salinité</u>		<u>Hasard de Sodium</u>	
C-1	Bas	S-1	
C-2	Moyen	S-2	
C-3	Elevé	S-3	
C-4	Très élevé	S-4	

Après être arrivé à une classification des eaux d'irrigation, il faut alors se référer aux conditions locales du sol, à l'écoulement des eaux et aux genres de récoltes devant être plantées.

La majeure portion des eaux testées dans l'Ouest du Sénégal Central, semble être utilisable pour l'irrigation comme montré par le tracé des échantillons de l'eau, du figure suivant:

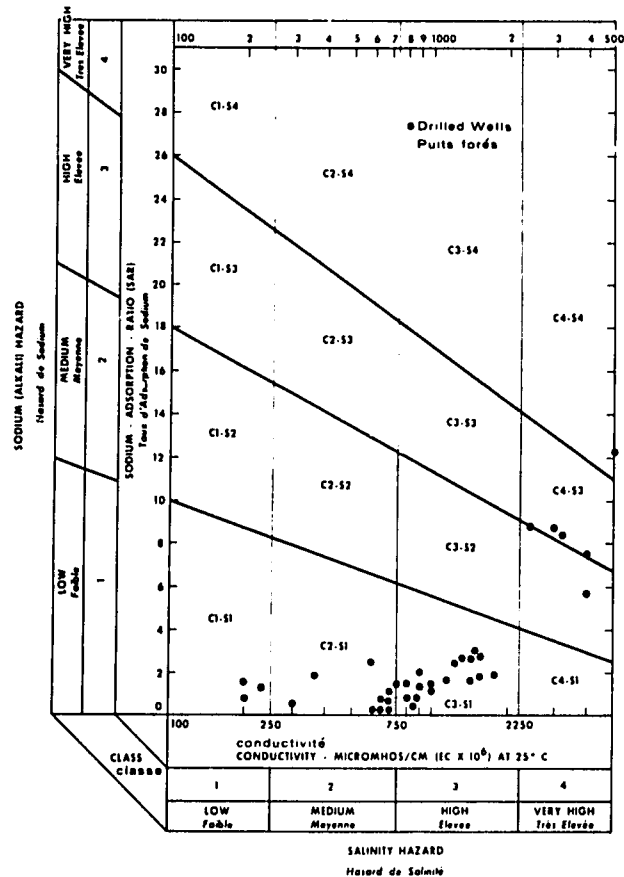


Figure 20 – Classification of waters for irrigation/  
Classification des eaux pour irrigation



## CHAPTER VIII CHAPITRE RECOMMENDATIONS/RECOMMANDATIONS

An evaluation of the results of the accomplishments and principal findings of the Central Senegal Water Resources Survey and Development Project reveals both the extent of a valuable natural resource and the need for continued planning and positive action in developing this vital asset.

Though it is true that the present state of knowledge regarding the phreatic aquifers needs to be extended, it is adequate and not a limiting factor for planning and implementing new programs of development. However, the resources of trained manpower and equipment to continue the work of water resource development is limited, and should be enlarged.

A program for future development and research should include, but not necessarily be limited to, the following recommendations:

### *1. Program of Well Maintenance*

Proper maintenance is essential to prolonging the useful life of a well and its appurtenant equipment. This can only be done effectively by a local well-staffed organization, on a long-term basis, which can give prompt attention and regular service to the mechanical parts of the pumps and maintain good well records.

Declines in the productivity of a well should be noted and, if necessary, remedial well work-over should be performed by either this maintenance crew, or the regular well drilling crew, depending upon the nature of the task involved. The maintenance crew should be able to pull and repair the pump, chlorinate the well and clean the screen by pumping and backwashing, surge the well, and deal with corrosion and encrustation problems if these should occur by chemical treatment or explosives. Pulling the screen or casing, or deepening of a well is the business of the regular drilling crew. The wells constructed by the Project should be visited on a monthly basis by a member of the maintenance crew to keep the moving parts properly lubricated and adjusted. Efforts should also be made to assure the maintenance of sanitary conditions in the area surrounding each well.

### *2. Program of Phreatic Water Development Drilling*

The present production of water for human and animal needs is small compared with the estimated basic requirements which account for some improvement in the standard of living. The most economical means of increasing the production to reduce this gap is a program of further development of shallow aquifers by drilling additional wells at or near points of consumption. A second stage program of drilling should be adopted by the Government of Senegal keeping the

Une évaluation des résultats des travaux accomplis et des résultats principaux du Projet d'Etude pour le Développement des Ressources en Eau du Sénégal Central, révèle l'étendue d'une ressource naturelle de valeur et la nécessité de prévisions soigneuses et d'actions positives pour l'exploitation future de cet actif vital. Bien qu'il soit vrais que l'état actuel des connaissances concernant les aquifères phréatiques aurait besoin d'être approfondi, cet état est suffisant et n'est point facteur limitatif pour la prévision et l'exécution de nouveaux programmes d'exploitation. Les ressources d'une main-d'oeuvre entraînée et d'un équipement pour continuer le travail de développement des ressources en eau sont néanmoins limitées et devraient être agrandies.

Un programme pour l'exploitation future devrait comprendre les recommandations suivantes, sans pour cela s'en tenir à elles seulement:

### *1. Programme d'Entretien des Puits*

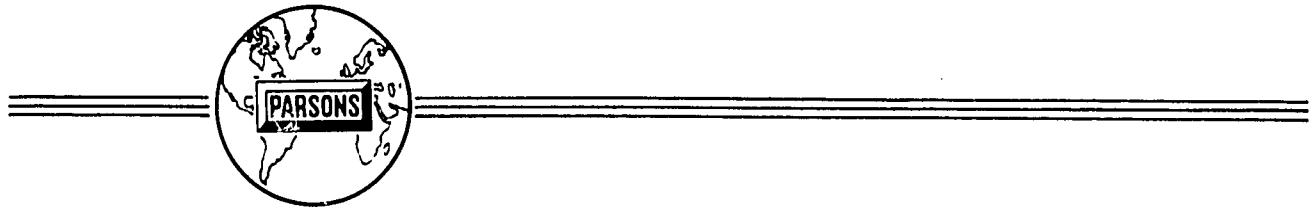
Un entretien convenable est essentiel pour prolonger la durée d'utilité d'un puits et de son équipement. Ceci ne peut être effectué de manière satisfaisante que par une organisation bien agencée, sur une base à longs termes, et qui pourrait prêter une attention rapide et un service régulier aux parties mécaniques des pompes et maintenir des renseignements exacts sur les puits.

Une baisse de la productivité d'un forage devrait être rapportée et, si nécessaire, un remaniement du forage qui remédierait à cet état de choses devrait être effectué, soit par cette équipe d'entretien, soit par l'équipe régulière des foreurs, dépendant de la nature du travail en jeu. L'équipe d'entretien devrait être capable de démonter et de réparer la pompe, de chlorurer le puits et de nettoyer les filtres en pompant et lavant, et de traiter les problèmes de corrosion de d'incrustation, s'il y en avait, par des traitements chimiques ou des explosifs. Le retrait du filtre ou du tubage ou l'augmentation de profondeur d'un puits est le travail de l'équipe de foreurs. Les forages exécutés par le Projet devraient être visités mensuellement par un membre de l'équipe d'entretien à fin de conserver les parties mouvantes de la pompe correctement lubrifiées et ajustées. Des efforts devraient aussi être entrepris pour assurer la permanence des conditions sanitaires dans la région entourant chaque puits.

### *2. Programme d'Exploitation des Forages de l'Eau Phréatique*

La production actuelle d'eau pour les besoins humains et animaux est minime en fonction des nécessités de base, responsables de l'amélioration du standard de vie. Le moyen le plus économique pour enrichir la production





## Recommendations

domestic human and animal needs foremost with the utilization of wells for irrigated agriculture as a later goal.

Results of this Project's development drilling program have effectively shown that relatively shallow wells can be drilled efficiently and economically in the phreatic aquifers of Central Senegal. With the drilling equipment now on hand, and with the large stock of bits, tools, casing, spare parts, and transportation equipment remaining from this program great strides can be made toward the initiation of a new development drilling program of enlarged scope requiring a minimal amount of additional capital investment.

The need for continued efforts in the direction of further utilization of the shallow water resources cannot be over-stressed. The deep and expensive development of the Maestrician aquifer is difficult to justify economically while opportunity remains in large areas for 1) further exploitation of these shallow, low cost waters and 2) the need to finance a well drilling training program.

Time is also of an essence, as well as the cost factors, and it has been demonstrated over a period of one year's drilling by this Project that shallow wells can be drilled and completed on an average of one per week, while the past record shows that most of the deep wells have each required many months and sometimes years to drill and complete.

### *3. Program of Phreatic and Deep Aquifer Exploratory Drilling, Pump Testing, and Research*

A broad program of exploratory and test drilling should be run concurrently with development drilling in Senegal and need not be limited to the boundaries of the present Project. It should include:

- 1) Drilling of a network of permanent observation holes to monitor groundwater changes in the present area of development wells.
- 2) Drilling of deep test wells in Areas 6 and 7 (in area 6 to test the Paleocene and in Area 7 to drill through the saline aquifers casing and cementing them off for tests of the better quality water below).
- 3) Geological well sampling and electric and gamma ray logging of all test wells, and gamma ray logging of selected old cased wells.
- 4) Drilling and testing of shallow perched waters to study their relationship to adjacent bodies of brackish and saline waters.
- 5) Geophysical surveys using portable seismic and electrical resistivity equipment, the effectiveness of

## Recommandations

et réduire cette lacune est un programme de développement d'aquifères peu profonds par forage supplémentaire de puits au points de consommation, ou près d'eux. Un autre programme de forage devrait être adopté par le Gouvernement du Sénégal gardant les besoins domestiques humains et animaux au premier plan avec, comme but futur, l'utilisation des puits pour l'agriculture irriguée.

Les résultats du programme de développement des forages de ce projet ont clairement démontré que des puits relativement profonds peuvent être forés efficacement et économiquement dans les aquifères phréatiques du Sénégal Central. De grands progrès devraient pouvoir se faire nécessitant l'apport d'une quantité minime de capitaux supplémentaires, vers le commencement d'un nouveau programme de développement de forages, avec l'équipement de forage actuellement en main, le grand stock de trépan, d'outils, de tubages et les moyens de transport laissés par ce projet.

On ne peut pas trop appuyer sur la nécessité d'efforts continus dans la direction de l'utilisation future des ressources en eau peu profonde. Il est difficile d'expliquer du point de vue économique, l'exploitation intensive et profonde des aquifères du Maestricien, alors que de grandes perspectives s'ouvrent dans d'importantes régions pour (1) l'exploitation intensive de ces eaux peu profondes et peu onéreuses et (2) la nécessité de financer un programme de formation de foreurs.

Le temps, autant que les frais, est aussi un facteur important, et les forages effectués par ce Projet pendant plus d'un an, ont démontré que des forages peu profonds peuvent être construits et achevés à une moyenne d'un forage par semaine, tandis que les renseignements antérieurs montrent que la plupart des forages profonds ont chacun nécessité plusieurs mois et parfois des années pour être construits et achevés.

### *3. Programme de Forages d'Exploration des Aquifères Profondes et Phréatiques, Essais de Pompage et Recherche.*

Un important programme d'exploration et de forages d'essais devrait être poursuivi parallèlement au développement des forages dans le Sénégal et ne devrait pas se limiter aux objectifs du présent Projet. Il devrait comprendre:

- 1) Le forage d'un réseau permanent d'excavations d'observation pour contrôler les changements de l'eau souterraine dans la région actuelle des forages d'exploitation.



## Recommendations

these techniques being enhanced by good coordination of this work with the test drilling program.

- 6) Sampling and testing the waters for age determinations by the radioactive method of measuring tritium contained in the water. (This should be very important in Area 6 to help reveal the history of the water in an effort to better understand the reasons for the large areas having negative water level elevations.)
- 7) Conducting pump tests in existing and new water wells.
- 8) Continuing research in hydrogeology of the aquifers to obtain more quantitative data related to total ground water availability.
- 9) Initiating studies of the uses for which these waters are best suited.

### 4. Training Program

A program of training in all phases of water resources exploration and development is urgently needed and should be integrated into the operational programs previously outlined. At first, major attention should be paid to training in the practical aspects of well location, well drilling, and pump installation. Secondly, theoretical courses in basic hydrology and hydrogeology, along with applications of geophysical techniques, would be offered in classroom instruction to trainees with technical school or university backgrounds. These courses could be set up by the Ministry of Planning and Development under the direction of the Department of Hydraulics and Energy (a) in conjunction with Public Works, (b) as an extension course at the University of Dakar, or (c) in coordination with more regional projects of a water resources training institute involving multi-country programs. Qualified students could be sent abroad for specialized courses, but the student must earn this privilege by a record of his past performance and aptitude in the water resources field. A requirement of all trainees would be periods of on-the-job training in the bush with the water well drilling and exploratory drilling crews.

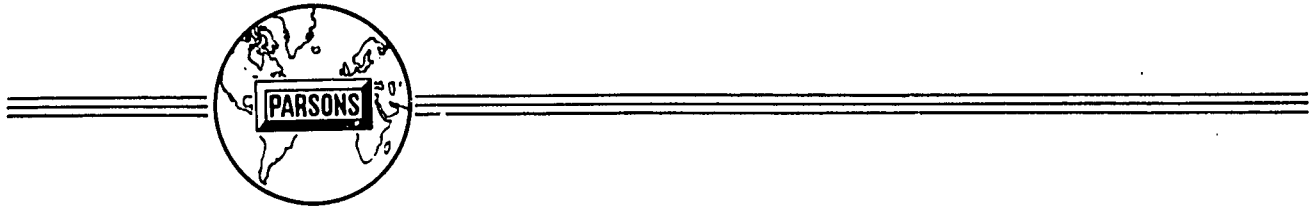
We realize the objectives of the training program are ambitious. These would involve training practical people in the operational aspects of drilling wells and setting pumps and engineers and technicians in the areas of applied hydrogeology, hydrology and related fields, so that they can set up water exploration and development programs, supervise implementation and be capable in the management of long-range, productive, groundwater districts. A minimum program of two years for both types of

## Recommandations

- 2) La construction de forages d'exploration profonds dans les Région 6 et 7 (dans la Région 6 pour tester le Paléocène et dans la Région 7 pour forer dans les aquifères salines, les tuber et les cimenter pour les tests de l'eau sous-jacente de meilleure qualité).
- 3) L'échantillonnage géologique et électrique et par rayons Gamma de tous les forages d'essais et de quelques puits foncés choisis.
- 4) Le forage et le test des eaux perchées peu profondes, pour étudier leur relation avec les eaux saumâtres et salines adjacentes.
- 5) Des études géophysiques employant un équipement sismique portatif, et un matériel de résistivité électrique, l'efficacité de ces techniques étant rehaussée par la bonne coordination de ce travail avec le programme des forages d'exploration.
- 6) L'échantillonnage et le test des eaux pour la détermination de leur âge par la méthode radioactive de calcul du tritium contenu dans l'eau. (Ceci est très important dans la Région 6, pour aider à éclaircir l'histoire de l'eau dans un effort pour mieux comprendre les raisons de l'existence d'importantes régions ayant des élévations négatives du niveau de l'eau.)
- 7) Effectuer des essais de pompage dans les puits existants et dans ceux nouvellement réalisés.
- 8) Continuer les recherches sur l'hydrogéologie des aquifères pour obtenir des données quantitatives concernant le total d'eau souterraine disponible.
- 9) Entreprise d'études des emplois pour lesquels ces eaux sont les plus qualifiées.

### 4. Programme de Formation

Un programme de formation de toutes les phases d'exploration et de développement des ressources en eau, est d'un besoin urgent et comme souligné précédemment, il devrait être intégré dans les programmes opérationnels. On devrait prêter attention premièrement et essentiellement à la formation sous les aspects pratiques de localisation de sites de forages, de forage et d'installation de pompes. Deuxièmement, des cours de théorie sur l'hydrologie et l'hydrogéologie avec des applications des techniques géophysiques devraient être donnés dans des classes d'instruction aux stagiaires d'un niveau universitaire et à ceux sortants d'écoles techniques. Ces cours devraient être préparés par le Ministère du Plan et du Développement sous la direction du Département de l'Énergie et de l'Hydraulique (a) en accord avec les



### Recommendations

trainees in classroom work, on-the-job training, and field trips, visiting and studying foreign water projects, will be needed in order to orient the trainees. Most of the basic material can be learned in this two year period if a careful selection of personnel has been made to take advantage of those persons with the best aptitude and background of schooling and experience. Continued projects in this field will then be needed, following the training program, for a number of years to produce thoroughly experienced and competent drillers, engineers, and technicians.

### Recommandations

Travaux Publics (b) comme cours à l'Université de Dakar, ou (c) en coordination avec des projets plus régionaux d'un institut de formation comprenant des programmes multi-nationaux pour le développement des ressources en eau. Les étudiants qualifiés pourraient être envoyés à l'étranger pour des cours de spécialisation, mais ils doivent mériter ce privilège par un bon dossier sur leurs performances passées et par leur aptitude quant aux ressources en eau. Il serait demandé de tous les stagiaires, des périodes de formation "sur-le-tas" en brousse avec les équipes de forages de puits et celles des forages d'exploration.

Nous réalisons que les objectifs du programme de formation sont ambitieux. Ceux-ci comprendraient la formation pratique dans les aspects manuels de forage et d'installation de pompes; et les techniciens et ingénieurs dans les formations d'hydrogéologie appliquée, d'hydrologie, et autres matières relatives, pour qu'ils puissent organiser des programme d'exploration et de développement des ressources en eau, superviser l'exécution de ces programmes et pour être capable dans la direction à longue échelle des districts produisant beaucoup d'eau souterraine. Pour orienter les stagiaires, un programme de deux ans aux minimum, tant pour la formation théorique que pour la formation "sur-le-tas," est nécessaire comprenant des tournées de chantier et l'étude des projets étrangers sur l'exploitation de l'eau. La plus grande partie des éléments de base peuvent être acquis au cours de cette période de deux ans, si un choix minutieux du personnel a été effectué pour profiter des personnes ayant les meilleurs antécédents scolaires et étant le plus expérimentées. Un effort continu devra être fourni pendant plusieurs années après l'achèvement de ce programme de formation pour obtenir des foreurs, des ingénieurs et des techniciens pleinement expérimentés et compétents.



## Recommendations

Further details regarding the programs of research, exploration and development drilling, recommended under Items 2 and 3 of the previous paragraphs, will need to be worked out with the Government of Senegal; i.e., availability of funds, current cost factors, and specific area needs. However, some additional details and a cost estimate for second stage programs can be suggested at this time.

### Item 2 – Development Drilling Program (Phreatic Aquifers)

**Location:** West Central Senegal, Areas 1,2,3,4 and northwest sector of 7.

**Purpose:** To drill village water supply wells for human and animal needs. A limited number of these to be for minor irrigation purposes.

#### **Project**

**Duration:** Two years.

**Number of Wells:** 150 wells (approximately 20,250 feet total).

**Average Well Depth:** 135 feet.

**Tested Well Capacities:** 30 to 500 gpm.

**Equipment Required:**  
1 – Bucyrus – Erie 60 L Cable tool drilling rig (on hand).  
1 – Rotary drilling rig (Portadrill 501, Failing 1500, Mayhew, or equivalent).

#### **Supporting Equipment:**

Camp facilities, transportation, welding units, generators, test pumps, hand and engine-driven pumps, accessories, spare parts, and office equipment.

#### **Manpower**

##### **Requirements:**

##### *Local*

6 Drivers	4 Watchmen
2 Welders	1 Warehouseman
2 Mechanics	1 Warehouseman
2 Drillers	Assistant
4 Drillers	1 Bilingual
Helpers	Secretary
4 Laborers	1 Translator
1 Geologist	1 Draftsman

##### *Foreign*

1 Project Manager  
1 Office Manager/Accountant  
1 Geologist  
1 Drilling Superintendent/Tool Pusher  
1 Cable Tool Driller  
1 Rotary Driller  
1 Heavy Equipment Mechanic

## Recommandations

Les détails concernant l'exécution des programmes de recherches, les forages d'exploration et d'exploitation, soulignés dans les Points 2 et 3 des paragraphes précédents, devront être discutés avec le Gouvernement du Sénégal, ne perdant pas de vue, la disponibilité des fonds, les frais courants et les besoins spécifiques de la région. Néanmoins, quelques détails supplémentaires qui peuvent être suggérés dès maintenant sont comme suit:

### 2 – Programme de Développement de Forages

**Situation:** Ouest du Sénégal Central, Régions 1, 2, 3, 4 et le secteur nord-ouest de la Région 7;

**But:** Forer des puits de village pour les besoins humains et animaux. Un nombre limité de puits devant servir pour des buts, moins importants, d'irrigation.

**Durée du Projet:** Deux ans.

**Nombre de Forages:** 150 forages (un total de 6,170 mètres environ).

**Profondeur Moyenne d'un Forage:** 41,41 mètres.

**Capacités Testées des Forages:** 1,89 à 31,61 litres par seconde.

**Débit Attendu:** 26,0 x 10<sup>6</sup> mètres cubes par an.

**Matériel Nécessaire:** 1-Bucyrus-Erie 60L Foreuse par battage (en main).

1-Foreuse par Rotary (Portadrill 501, Failing 1500, Mayhew, ou équivalent).

#### **Matériel de Support:**

Matériel de campement, moyens de transport, matériel de soudage, génératrices, pompes d'essais, pompes à main ou entraînées par moteurs, accessoires, pièces détachées, et matériel de bureau.

#### **Main-d'Oeuvre Requite:**

##### *Locale*

6 Chauffeurs	4 Gardiens
2 Soudeurs	1 Magasinier
2 Mécaniciens	1 Aide-Magasinier
2 Foreurs	1 Secrétaire
4 Aide-Foreurs	Bilingue
4 Manoeuvres	1 Traducteur
1 Géologue	1 Dessinateur

##### *Etrangère*

1 Chef de Mission (Hydrogéologue)  
1 Chef de Bureau/Comptable  
1 Géologue  
1 Superintendant des Forages/Tool Pusher  
1 Foreur par Battage  
1 Foreur sur Rotary  
1 Mécanicien d'Équipement Lourd



## Recommendations

### Item 3 – Exploratory Drilling and Research Program

**Location:** West Central Senegal and adjacent areas with special emphasis on Areas 6 and 7 of this Project.

**Purpose:** Shallow and deep drilling and testing of aquifers to extend the hydrogeological knowledge of Senegal for ultimate production drilling in these areas; at same time, conducting research and training programs that will develop a well-trained cadre of manpower for future expanding activity in the water resources field.

**Duration:** Two years.

**Test Drilling:** 30,000 feet.

**Pump Testing:** Some of the exploratory wells, and selected production wells.

**Equipment Required:**

- 1 – Rotary drilling rig (Portadrill 501, Failing 1500, Mayhew, or equivalent – to be used on both programs).
- 1 – Electric and gamma ray logging unit (Widco or equivalent, for depths of 1000 feet)
- 1 – Portable seismograph unit (Soiltest Eqpt. or equivalent)
- 1 – Electrical resistivity unit (Soiltest Eqpt. or equivalent)

**Supporting Equipment:** Camp facilities, transportation, generators, test pumps, accessories, spare parts, drafting equipment, surveying equipment, and water analyses equipment.

**Manpower:** The programs should be run concurrently, in which event certain duties on both programs could be assumed by one man. Additional manpower required for the exploratory drilling program 2 would be as follows:

#### *Local*

1 Geologist  
2 Geophysicist Assistants  
4 Junior Engineers

#### *Foreign*

2 Hydrogeologists  
1 Geophysicist  
1 Agronomist

## Recommandations

### 3 – Programme de Forages d'Exploration et de Recherches

**Situation:** Ouest du Sénégal Central et régions adjacentes, avec une intensité particulière sur les Régions 6 et 7 de ce Projet.

**But:** Pour une amélioration de la connaissance hydrogéologique du Sénégal en vue des forages de production dans ces régions. Exécution de forages peu profonds et d'autres profonds, et test des aquifères; en même temps, direction de programmes de recherches et de formation qui fourniront une main-d'oeuvre bien entraînée pour l'expansion future dans le domaine des ressources en eau.

**Durée:** Deux ans.

**Forages d'Essais:** 9144 mètres.

**Essais de Pompage:** Sur quelques forages d'exploration et sur des forages de production sélectionnés.

**Matériel Nécessaire:**

- 1-Foreuse Rotary (Portadrill 501, Failing 1500, Mayhew, ou équivalent), à être utilisée dans les programmes 1 et 2).
- 1-Unité d'échantillonnage électrique et à rayons Gamma (Widco ou équivalent, pour des profondeurs de 1000 pieds).
- 1 Seismographe portatif (Soiltest Eqpt. ou équivalent)
- 1-Unité électrique de résistivité (Soiltest Eqpt. ou équivalent).

**Matériel de Support:** Matériel de campement, moyens de transport, génératrices, pompes d'essais, accessoires, pièces détachées, matériel d'étude, matériel de dessin, et matériel pour les analyses de l'eau.

**Main-d'Oeuvre:** Les Programmes 1 et 2 devraient être conduits en même temps, certains travaux des deux programmes pourraient dans ce cas être effectués par une seule personne. La main-d'oeuvre supplémentaire pour le Programme 2 serait alors comme suit:

#### *Locale*

1 Géologue  
2 Aides-Géophysiciens  
4 Ingénieurs Fraichement Promus

#### *Etrangère*

2 Hydrogéologues  
1 Géophysicien  
1 Ingénieur Agronome



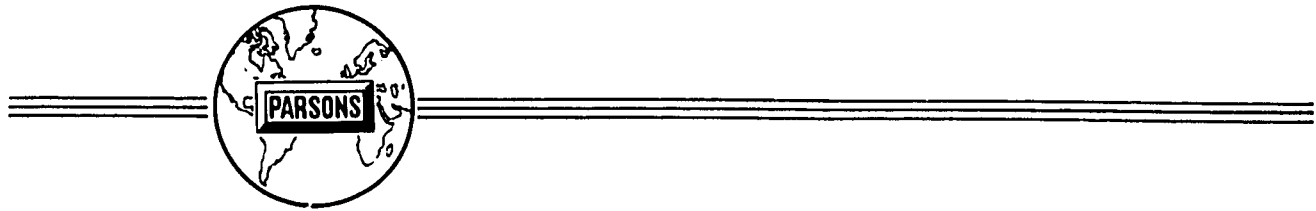
SUMMARY OF ESTIMATED COST / RELEVÉ DES COUTS ESTIMÉS

PROGRAMS 2 AND 3 / PROGRAMME 2 ET 3

	<u>U.S. Dollars</u>	<u>CFA's (expressed in dollars) (exprimés dans U.S. \$)</u>	
1. <u>Payroll Costs - U.S. Staff</u>	\$ 355,437	\$ 46,200	1. <u>Coûts de la Feuille de paie - Personnel des États Unis</u>
Salaries, wages, post differential payroll taxes, insurance, vacations, sick leave, and other fringe benefits, etc.			Salaires, gages, différence de pris, taxe de feuille de paie, assurance, vacances, congé de maladie et autre, bénéfices.
2. <u>International Travel and Transportation - U.S. Staff</u>	42,000	34,175	2. <u>Voyages International et Transportation Personnel des États Unis</u>
Air fares, air and sea freight, per diem (international)			Frais pour avion, transport aérien et naval per diem (international)
3. <u>Other Allowances - U.S. Staff</u>		312,500	3. <u>Autre Bénéfices - Personnel des États Unis</u>
Quarters allowance, post allowance, basic furnishings and appliances, local travel per diem, etc.			Bénéfices pour résidence, bénéfices postaux, meubles appareils, per diem voyage locale, etc.
4. <u>Equipment, Materials, Shipping, Field Operations, Out-of-Pocket, etc.</u>	356,600	50,000	4. <u>Équipement, Matériel, Embarquement, Opérations du Terrain, Débours, etc.</u>
Drilling, transportation, field camp and technical equipment, fuel, lubricants, maintenance, consumable drilling equipment, well construction materials, shipping, insurance, handling local project services, cables, postage, reproduction, office supplies, furniture, etc.			Forage, transportation, terrain et équipement technique, combustible lubrifiant, entretien, consommable, équipement de forage, de construction pour le puits, matériel, embarquement, assurance, contrôle de service de projets locaux, câblogrammes, frais de postale, reproduction bureau, fournitures, etc.
5. <u>Payroll Costs - Local Personnel</u>		251,961	5. <u>Coûts de la Feuille de paie - Personnel Locaux</u>
Salaries, wages, field per diem, payroll taxes, payroll insurance, fringe benefits, etc.			Salaires, gages, différence de pris, taxe de feuille de paie, assurance, vacances, congé de maladie et autre, bénéfices.
6. <u>Overhead</u>	187,126		6. <u>Frais Généraux</u>
7. <u>Contingency and Contractor's Fee (10%)</u>	<u>163,500<sup>1/</sup></u>		7. <u>Faux Frais et Honoraires des Entrepreneurs (10%)</u>
Grand Total (U.S. dollars)	\$1,104,663	\$694,836	Grand Total (U.S. dollars)

<sup>1/</sup>10% of total project cost

<sup>1</sup>10% du coût total du projet



Categories	Monthly Salary (Salaire Mensuel)	Man Months (Homme Mois)		Sub Totals (Sous Total)	Totals
		Senegal	U.S.		
<b>1. Payroll Costs – U.S. Staff</b>					
<b>A. Project Personnel (Field)</b>					
1) Project Manager	\$1600	24	3	\$ 43,200	
2) Hydrogeologist	1200	24		28,800	
3) Hydrogeologist	1200	24		28,800	
4) Geologist	1200	24		28,800	
5) Geophysicist	1100	24		26,400	
6) Agronomist	1000	6		6,000	
7) Office Manager/Accountant	950	24		22,800	
8) Drilling Superintendent/ Tool Pusher	1000	21		21,000	
9) Cable Tool Driller	900	20		18,000	
10) Rotary Driller	900	20		18,000	
11) Heavy Duty Mechanic	800	20		16,000	
		231	3	\$257,800	
Overseas Differential - 25%				64,450	
(Total Dollar Cost = 322,250 less \$200/mm in CFA = \$276,050)					\$322,250
<b>B. Home Office Personnel (Supporting)</b>					
1) Project Coordinator	\$1500	6		\$ 9,000	
2) Administration	1000	4		4,000	
3) Secretarial and Miscellaneous	500	4		2,000	
4) Engineering (Spec. Prep.)	1200	1		1,200	
5) Purchasing and Inspection	1000	3		3,000	
					19,200
<b>C. Payroll Costs and Welfare Benefits</b>					
1) Field Salaries (\$322,250 x 17.7%)				\$57,038	
2) Home Office Salaries (\$19,200 x 16.4%)				3,149	
Total Payroll Costs				60,187	\$401,637
<b>2. Transportation (Round Trip)</b>					
1) 7 Families, 2 Children per Family and 4 Single (32 Fares at \$1100)				\$35,200	
2) Personal Effects (Air Freight): 2700 lbs at \$4/lb				10,800	
3) Household Goods (Ocean Freight) 23,500 lbs at \$1.25				29,375	
4) Per Diem, 100 Days at \$8.00				800	
Total Transportation Costs					76,175

Catégorie	
<b>1. Feuille de Paie - Personnel des Etats Unis</b>	
<b>A. Personnel sur le Terrain</b>	
1) Directeur de Projet	
2) Hydrogéologue	
3) Hydrogéologue	
4) Géologue	
5) Géophysique	
6) Agronome	
7) Directeur de Projet/Comptable	
8) Chef de Forage/Equipe de Forage	
9) Foreur	
10) Foreur Rotative	
11) Mecanicien pour Equipement Lourd	
Differentiel d'Outre-mer 25%	
(Coût Total en U.S. \$ = 322,250 moins \$200/mm dans CFA = \$276,050)	
<b>B. Personnel du Bureau Principal (Support)</b>	
1) Directeur de Projet	
2) Administration	
3) Secrétaire et Autres	
4) Le Génie (Spec. Prep.)	
5) Achat et Contrôle	
<b>C. Coûts de la Feuille de Paie et de Bénéfices Sociaux</b>	
1) Salaires du Personnel sur le Terrain (\$322,250 x 17.7%)	
2) Salaires du Bureau Principal (\$19,200 x 16.4%)	
Coûts de la Feuille de Paie	
<b>2. Transportation (Aller Retour)</b>	
1) 7 Familles avec 2 Enfants par Familles et 4 Passengers Célibataire (32 Frais à \$1100)	
2) Effect Personnels (Avoin) 2700 lbs de Frais à \$4/lb	
3) Effect de Ménage (Bateau) 23,500 Ins. de Frais à \$1.25	
4) Per Diem, 100 Jours à \$8.00	
Coût Total Transports	



<u>Categories</u>	<u>Sub Totals</u> <u>(Sous Total)</u>	<u>Total</u>
<b>3. <u>Other Allowances</u></b>		
<u>Housing and Subsistence</u>		
1) Temporary Per Diem - 25 Individuals at \$13/Day for 40 Days	\$13,000	
2) Quarters, 7 Families at 6,000 4 Single Status at 4,500	84,000 23,400	
3) Utilities, 7 Families at \$100/Mo. 4 Single at 50	16,800 3,200	
4) Subsistence, 7 Families at 4,200 4 Single at 3,000	58,800 24,000	
5) Schooling, 10 Children - 6 at 400 4 at 2,400	4,800 19,600	
6) Furniture, 7 Families at 4,000 4 Single at 3,000	28,000 12,000	
7) Field and Travel, Camp: Camp: \$9.75/Day x 2400 man days Hotel: \$15.00/Day x 100 man days	23,400 1,500	
Total Cost of Other Allowances - Foreign Personnel	<u>\$ 312,500</u>	
<b>4. <u>Equipment, Materials, Supplies, Shipping, etc.</u></b>		
<u>A. Drilling Equipment</u>		
1) Portadrill 501, Failing 1500, or equivalent (truck-mounted)	\$ 38,000	
2) Drill Pipe Tools, Accessories, Spares	25,000	
3) Test Pump for Six-Inch Diameter Wells	<u>4,000</u>	67,000
<u>B. Drilling Materials and Supplies</u>		
1) Bits, Welding Rod, Drilling Mud and Chemicals	<u>\$ 25,000</u>	25 000
<u>C. Transportation</u>		
1) Truck with A-Frame and Winch	\$10,000	
2) Pickup Trucks (3) w/winch (3/4 Ton)	10,000	
3) Pickup Truck (1/2 Ton w/winch) - (4)	8,000	
4) Jeeps CJ-5's (3)	7,500	
5) Station Wagon (4-Wheel Drive) - (1)	<u>3,200</u>	38,700
<u>D. Technical Equipment</u>		
1) Electric Logging Unit w/gamma ray	\$10,000	
2) Portable Seismograph Unit	2,200	
3) Electrical Resistivity Unit	1,500	
4) Surveying Equipment	1,000	
5) Miscellaneous	<u>500</u>	15,200
<u>E. Field Camp Equipment (Imported)</u>		
1) Generator	\$ 1,500	
2) Refrigerators (Kerosene/Gas) - (2)	600	
3) House Trailers (3)	<u>10,000</u>	12,100

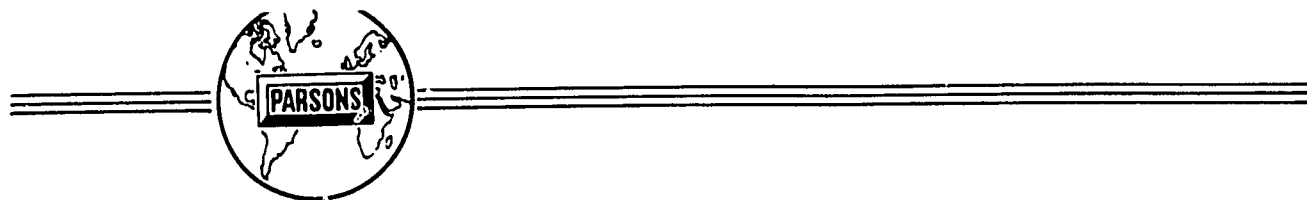
<u>Catégorie</u>	
<b>3. <u>Autre Pension</u></b>	
<u>Logement et Subsistance</u>	
1) Per Diem Temporaire - 25 Personnes à \$13/Jour pour 40 Jours	
2) Logement, 7 Familles à 6,000 4 Céliataires statut à 4,500	6,000 4,500
3) Utilités, 7 Familles à \$100/Mo. 4 Céliataires à 50	\$100/Mo. 50
4) Subsistance, 7 Familles à 4,200 4 Céliataires à 3,000	4,200 3,000
5) Ecole, 10 Enfants - 6 à 400 4 à 2,400	400 2,400
6) Fournitures, 7 Familles à 4,000 4 Céliataires à 3,000	4,000 3,000
7) Terrain et Voyages, Camp: \$9.75/Jour x 2400 homme jour Hotel: \$15.00/Jour x 100 homme jour	
Coût Total et Autre Bénéfices - Pour le Personnel Etranger	
<b>4. <u>Equipment, Matériaux, Entretien, Embarquement, etc.</u></b>	
<u>A. Equipement de Forage</u>	
1) Portadrill 501, Failing 1500, ou equivalent (montée sur camion)	
2) Outils, Accessoire, Pièces de Rechange	
3) Pompe d'épreuve 6 pouces Diamètre pour Forage	
<u>B. Matériel du Forage et Fourniture</u>	
1) Tréfans, Tiges de Soundage, Produits Chimiques et Boues de Forage	
<u>C. Transportation</u>	
1) Camion avec A-Treuil et Treuil	
2) Camionnettes (3) avec/treuil (3/4 ton)	
3) Camionnettes (1/2 ton avec/treuil) - (4)	
4) Jeeps CJ-5's (3)	
5) Station Wagon (4-Roue de Traction)	
<u>D. Equipement Techniques</u>	
1) Carottage Eléctrique avec/rayon gamma	
2) Sismogramme Unité Portatif	
3) Resistivité Eléctrique Unité	
4) Equipement pour la Métrage	
5) Divers	
<u>E. Equipement pour Camp Mobile (Importé)</u>	
1) Générateur	
2) Réfrigérateur (Kérosène/Essence) - (2)	
3) Remorque pour Maison (3)	





<u>Categories</u>	<u>Sub Totals</u> <u>(Sous Total)</u>	<u>Total</u>
<b>F. Well Construction Materials</b>		
1) Well Casing (6 and 10-inch)	\$45,000	
2) Well Screen	5,000	
3) Hand Pumps	15,000	
4) Pumps and Engines	<u>50,000</u>	115,000
<b>G. Shipping Costs</b>		
1) Drilling and Technical Equipment Inland, Ocean and Air (including handling) at 20%	\$26,600	
2) Well Construction Materials -- 45%	<u>52,000</u>	78,600
<b>H. Field Operating Expenses</b>		
1) <u>Dakar Office</u>		
a. Office Space (to be provided by GOS)		
b. Office Utilities (to be provided by GOS)		
c. Warehouse and Yard Storage (to be provided by GOS)		
d. Equipment	\$ 2,000	
e. Air Conditioning Units (3)	1,200	
f. Expendable Supplies	1,800	
g. Cables, Postage, etc.	<u>1,800</u>	6,800
2) <u>Field Camp Equipment and Services</u>		
a. Surveying	\$10,000	
b. Water Analyses	3,000	
c. Tents and Camp Equipment	3,000	
d. Material Transportation and Handling	4,500	
e. Equipment Rental	<u>2,000</u>	22,500
3) <u>Consumables</u>		
a. Fuel and Lubricants (Rigs and Vehicles)	\$9,600	
b. Repairs and Maintenance	5,800	
c. Gravel, Cement, etc.	<u>5,300</u>	20,700
<b>I. Out-of-Pocket Expenses</b>		
1) Miscellaneous Travel and Prepara- tion Expenses; 28 Individuals at \$50	\$ 1,400	
2) Postage and Cables at \$100/Month	2,400	
3) Miscellaneous Supplies at \$50/Month	<u>1,200</u>	5,000
Total Cost Equipment, Materials, Operations Expenses		\$406,600

<u>Catégorie</u>
<b>F. Matériel pour l'Aménagement de Puits</b>
1) Tubage
2) Crépines
3) Pompes à Main
4) Pompe et Engin
<b>G. Frais d'Expédition</b>
1) Intérieur Equipement Technique pour le Forage, Transport Naval Aérien (y compris les manoeuvres) à 20%
2) Matériel pour l'Aménagement de Puits -- 45%
<b>H. Frais d'Operations sur le Terrain</b>
1) <u>Bureau de Dakar</u>
a. Local (fourni par le Gouvernement du Sénégal)
b. Services (fourni par le Gouverne- ment du Sénégal)
c. Magasiner (fourni par le Gouverne- ment du Sénégal)
d. Equipement
e. Dispositifs de Climatisation (3)
f. Fourniture
g. Câblogrammes, Frais Postaux, etc.
2) <u>Equipement pour Camp Mobile</u>
a. Levé
b. Analyses d'Eau
c. Tentes et Equipement pour le Camp
d. Matériel Transportation et Manoeuvres
e. Location de Machinerie Lourde
3) <u>Matériel Consommable</u>
a. Carburants et Lubrifiants (Equipage et Voiture)
b. Reparations et Entretien
c. Gravier et Ciment, etc.
<b>I. Débours</b>
1) Diverses Dépenses de Voyage et de Preparation; 28 Personnes à \$50
2) Câblogramme, Frais Postaux à \$100/Mois
3) Fourniture Diverses à \$50/Mois
Coût Total Frais de Equipement, Materiaux et Operations



<u>Categories</u>	<u>Monthly Salary (Salaire Mensuel)</u>	<u>Man Months (Homme Mois)</u>	<u>Sub Totals (Sous Total)</u>	<u>Total</u>
<b>5. Payroll Costs - Local Personnel</b>				
<b>A. Field Personnel</b>				
1) Drillers (2)	\$ 120.00	44	\$ 5,280	
2) Drillers Helpers (4)	105.00	88	9,240	
3) Welders (2)	110.00	44	4,840	
4) Mechanics (2)	110.00	44	4,840	
5) Drivers (6)	110.00	132	14,520	
6) Laborers (4)	70.00	88	6,160	
7) Watchmen (4)	65.00	88	5,720	
8) Warehousemen (1)	160.00	22	3,520	
9) Warehouseman Asst. (1)	75.00	22	1,650	
10) Geologist (2)	240.00	46	11,040	
11) Geophysical Assts. (2)	200.00	44	8,800	
12) Jr. Engineers (4)	200.00	88	17,600	
13) Cook (2)	75.00	44	3,300	
				\$ 96,510
<b>B. Dakar Office Personnel</b>				
1) Bookkeeper	\$ 325.00	24	\$ 7,800	
2) Bilingual Secretary	300.00	24	7,200	
3) Typist	250.00	24	6,000	
4) Translator	275.00	24	6,600	
5) Draftsman	250.00	22	5,500	
6) Janitor	50.00	24	1,200	
7) Messenger Boy	75.00	24	1,800	
				36,100
<b>C. Welfare Benefits</b>				
1) 47% of Salaries (0.47 x 132,610)			\$ 62,327	
2) Subsistence				
Local Field Personnel			57,024	
(36 men at \$/day x 528 days)				
				119,351
<b>Total Cost of Local Personnel</b>				<b>\$ 251,961</b>
<b>6. Overhead</b>				
1) Field Salaries (257,800 x 67%)			\$ 172,726	
2) Home Office Salaries (19,200 x 75%)			14,400	
				187,126

<u>Catégorie</u>	
<b>5. Coût Salaire - Locaux Personnel</b>	
<b>A. Personnel pour le Terrain</b>	
1) Chef de Forage (2)	
2) Assistants Foreur (4)	
3) Foreur (2)	
4) Mécanicien (2)	
5) Chauffeurs (6)	
6) Manoeuvres (4)	
7) Veilleur (4)	
8) Magasinier (1)	
9) Aide-Magasinier (1)	
10) Géologue (2)	
11) Aide-Geophysique (2)	
12) Ingénieur (4)	
13) Cuisinier (2)	
<b>B. Personnel pour le Bureau de Dakar</b>	
1) Comptable	
2) Secrétaire Bilingue	
3) Dactylo	
4) Traducteur	
5) Dessinateur	
6) Consierge	
7) Messager	
<b>C. Bénéfices Sociaux</b>	
1) 47% des Salaires (0.47 x 132,610)	
2) Subsistance	
Personnel Locale pour le Terrain	
(36 homme à \$/jour x 528 jours)	
<b>Coût Total de Personnel Locale</b>	
<b>6. Frais Généraux</b>	
1) Salaires du Terrain	
2) Salaires du Bureau Principal	



## CHAPTER IX CHAPITRE CONCLUSION

*Through modern drilling techniques more dependable and sanitary water supplies are being provided villages in Central Senegal but current practices of water distribution continue to limit consumptive use.*

*Par l'application des techniques modernes de forage l'eau plus saine et plus tributaire est fournie aux villages du Sénégal Central, mais les présentes méthodes de la distribution sont responsables pour sa consommation limitée.*

It is evident that at the present time the limiting factor controlling the fuller use of the groundwater resource is the cultural pattern of the people, i.e., as long as the chief means of lifting water are by hand pumps and rope-bucket-and-pulley, the amount of water withdrawn from the phreatic aquifers will be insignificant compared to the amounts available in the ground.

The number of wells drilled will not need to be limited or scientifically spaced until withdrawals are increased. Likewise, highly sophisticated methods of analyzing the basic hydrogeological data are not relevant to the immediate needs of the people.

The problem resolves itself into the basic ones of drilling development wells where waters are available and at locations most convenient for the people. At the same time basic research and exploratory drilling should be continued; however, it also should consider the importance of training personnel. Impetus is needed to promote changes in the cultural patterns related to water production and use, and also to form a repository of hydrogeological knowledge that will be available for a time when more refined methods of analysis are needed. When these changes occur and funds are available for engine and motor-driven pumps, technical knowledge held by a cadre of well-trained men will be needed to continue the long-term development programs.

The increasing use of hand pumps in Central Senegal is a step forward for it promotes the use of more sanitary water supplies and offers a convenience over the rope and bucket method. These wells can be drilled rapidly, and can be properly maintained with a minimum of mechanical ability. However, in terms of water quantity, the increase in production is not sufficient to overcome the present water deficit unless a very large and indeterminate number of these wells are drilled. Hand pumps produce water only during a few hours a day and then at rates only up to a few gallons per minute.

To improve the total water supply situation the following needs must be met: (1) a long-term continued program of maintenance and drilling, (2) a well-trained local drilling crew and technical staff, (3) adequate funding for groundwater programs, and (4) a change in the patterns of obtaining water from wells and methods of distributing it.

When these conditions are met Senegal will be on the way to establishing a more viable water economy that will meet the needs of a growing population.

Il est évident qu'à l'heure actuelle, le facteur empêchant l'utilisation totale des ressources en eau souterraine est la conception culturelle des gens. Tant que les principaux moyens de pompages seront ceux à la main et à la poulie, la quantité d'eau extraite des aquifères phréatiques sera insignifiante par rapport aux quantités disponibles dans le sol.

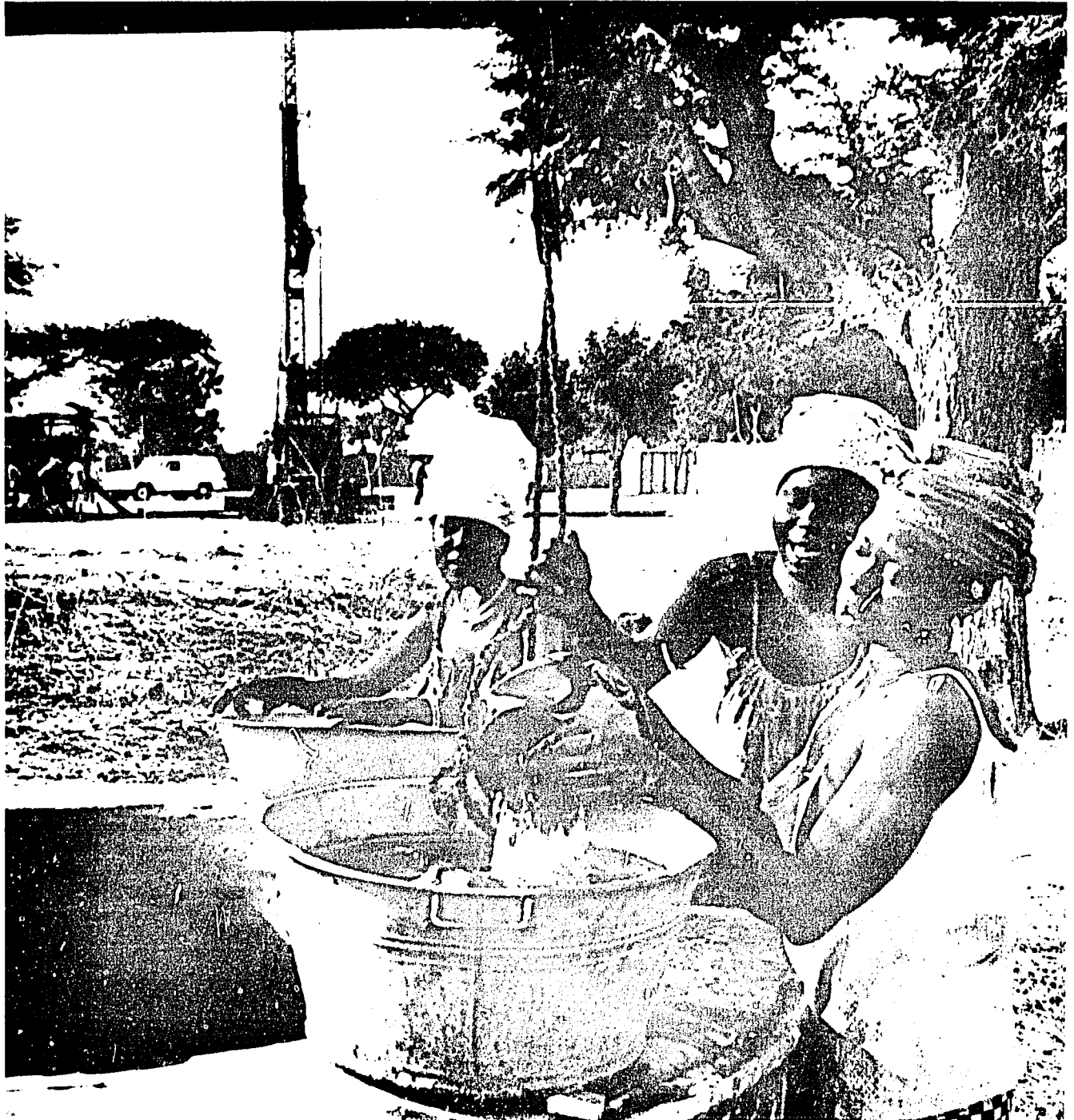
Le nombre de puits forés ne devra pas être limité ou scientifiquement espacé pour que les retraits soient augmentés. De même, les méthodes, très poussées, d'analyse des renseignements hydrogéologique ne sont d'aucun intérêt pour satisfaire les besoins immédiats des gens.

Le problème se résout de lui-même par l'exécution de forages de production dans les endroits où l'eau est disponible et est la plus avantageuse pour les gens. Les forages de recherche et d'exploration devraient en même temps être poursuivis; néanmoins, l'importance de la formation du personnel devrait aussi être considérée. Un élan est nécessaire pour promouvoir aux changements des conceptions culturelles relatives à la production et à l'usage de l'eau et aussi pour former une connaissance hydrogéologique sûre qui pourra être disponible quand viendra le temps où des méthodes d'analyse plus raffinées seront nécessaires. Quand ces changements surviendront, et quand des fonds seront disponibles pour l'achat de pompes entraînées par un moteur, une connaissance technique assurée par un groupe de personnes bien entraînées sera nécessaire pour continuer les programmes de développement à longs termes.

L'usage croissant des pompes à main dans le Sénégal Central est un pas en avant, car il promouvoit à l'emploi d'une eau plus saine et offre des avantages par rapport aux méthodes de pompage par corde et par seau. Ces puits peuvent être forés rapidement et peuvent être convenablement entretenus avec un minimum de connaissances mécaniques. Néanmoins, en termes de quantités d'eau, l'augmentation de la production n'est pas suffisante pour suppléer au déficit actuel, à moins qu'un nombre de ces puits, important et indéterminé ne soit exécuté. Les pompes à main produisent de l'eau pendant seulement quelques heures et alors à des taux seulement de quelques gallons par minute.

Pour améliorer la situation totale de la réserve d'eau, les conditions suivantes devront être remplies: (1) un programme d'entretien et de forage à longs termes, (2) une équipe de foreurs bien entraînés et un personnel technique, (3) financement convenable des programmes d'eau et (4) un changement dans les conceptions de l'obtention et l'usage de l'eau et des méthodes de sa distribution.

Quand ces conditions seront remplies, le Sénégal sera sur la voie d'établir une économie de l'eau plus viable qui pourvoiera aux besoins d'une population grandissante.





## *BIBLIOGRAPHY / BIBLIOGRAPHIE*

1. CARTE GEOLOGIC DU SENEGAL, BRGM, 1962
2. NOTICE EXPLICATIVE DE LA CARTE GEOTECHNIQUE, BRGM, 1964
3. NOTICE EXPLICATIVE DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE DE SENEGAL AU 1/500.000 ET DE LA CARTE HYDROCHEMIQUE AU 1/1.000.000, BRGM 1967
4. ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE PROFONDE DU SENEGAL "Nappe Maestrichtienne" BRGM 1966
5. LA SEDIMENTATION EOCENE AU SENEGAL, BRGM 1966
6. PROGRAMME D'ETUDE DES RESSOURCES EN EAU DE SENEGAL, Comité Inter-Etats d'Etudes Hydrauliques, 1962
7. ALIMENTATION EN EAU DE DAKAR, Etude Hydrogéologique du Horste de Nkiass, DAK 67-A9 BRGM, 1967
8. NOTE SUR L'HYDROGEOLOGIE DE LA REGION DIORBEL-M'BACKE, Marchand, Janvier 1956
9. HYDROGEOLOGIE DU SENEGAL CENTRAL, Haut Commissariat de la République en Afrique Occidentale Française, Avril 1958
10. LE BELIER HYDRAULIQUE, Comité Inter-Etats d'Etudes Hydrauliques, Mars 1962
11. NOTE TECHNIQUE SUR LE FORAGE DE BOBO-DIOULASSO, Comité Inter-Etats d'Etudes Hydrauliques, Decembre 1962
12. NOTE SUCCINTE SUR LE Puits No. 2 DE M'BAYE BAYE, Comité Inter African d'Etudes Hydrauliques, Mars 1964
13. LES NAPES PHREATIQUES DU SENEGAL, Defossez, Fédération du Mali, Service des Mines et de la Geologie, December 1959
14. RAPPORT SUR LE FORAGE DE DIORBEL, République de Sénégal, Ministère des Travaux Publics, Juin 1962
15. RAPPORT SUR LE FORAGE DE DAROUMOSTY, République de Sénégal, Ministère des Travaux Publics, Juin 1962
16. NORMALES CLIMATOLOGIQUES DU SENEGAL, République de Sénégal, Service Météorologique, Juillet 1963
17. DEFINITION D'UN PROGRAMME D'AMENAGEMENTS HYDRO-PASTORAUX DAN LA ZONE SYLVO-PASTORALE, République du Sénégal, Service de l'Elevage, Juin 1965



*CONVERSION TABLE / TABLE DE CONVERSION*

TO CONVERT	MULTIPLY BY	TO OBTAIN
centigrade (degrees)	(°C x 9/5 + 32)	fahrenheit (degrees)
centimeters	$3.281 \times 10^{-2}$	feet
centimeters	$3.937 \times 10^{-1}$	inches
cubic meters	$2.642 \times 10^2$	gallons U.S. (liquid)
days	$8.64 \times 10^4$	seconds
days	$1.44 \times 10^3$	minutes
feet	$3.048 \times 10^1$	centimeters
feet	$3.048 \times 10^{-1}$	meters
gallons	$3.785 \times 10^{-3}$	cubic meters
gallons	3.785	liters
gallons/minute	$6.308 \times 10^{-2}$	liters/second
gallons/minute/foot drawdown	$2.0695 \times 10^{-1}$	liters/second/meter drawdown
gallons/day/foot	$1.2418 \times 10^{-2}$	cubic meters/day/meter
inches	2.540	centimeters
inches	$2.540 \times 10^{-2}$	meters
inches	$2.540 \times 10^1$	millimeters
kilometers	$6.214 \times 10^{-1}$	miles
liters	$2.642 \times 10^{-1}$	gallons U.S. (liquid)
liters/second	$1.5853 \times 10^1$	gallons/minute
meters	3.281	feet
meters	$5.396 \times 10^{-4}$	miles
miles	1.609	kilometers
square feet	$9.29 \times 10^{-2}$	square meters
square kilometers	$3.861 \times 10^{-1}$	square miles
square meters	$3.861 \times 10^{-7}$	square miles
square miles	2.590	square kilometers
temperature (°F) – 32	5/9	temperature (°C)
years	$8.7661 \times 10^3$	hours
cubic meters/year	$2.642 \times 10^2$	gallons/year



APPENDIX

TABLE 3/TABLEAU 3  
Summary of Ground Water Data by Area/Résumé des données de l'eau souterraine

Area	Estimated Available Dynamic Yield (m <sup>3</sup> /yr)	Average Tested Salinity (mg/liter)	Average Measured Well Depth (m)	Average Measured Depth to Water (m)	Average Tested Discharge per Well (liters/sec)
1	611.6 x 10 <sup>6</sup>	577	47	21	11
2	291.9 x 10 <sup>6</sup>	390	65	23	6
3	354.6 x 10 <sup>6</sup>	490	24	22	3
4	136.9 x 10 <sup>6</sup>	1,541	22	5	3
5	124.6 x 10 <sup>6</sup>	911	37	22	1.5
6	-	3,036	254	41	1.9
7	-	2,647	41	6	20.5

1 liter/sec = 1.5853 x 10<sup>1</sup> gallons/minute  
 1 m<sup>3</sup>/year = 2.642 x 10<sup>2</sup> gallons/year

WATER RESOURCES SURVEY AND DEVELOPMENT PROJECT OF CENTRAL SENEGAL

TABLE A-1

AID/Afr CONTRACT NO. 468

Project Wells Drilled - 1968

THE RALPH M. PARSONS COMPANY

1. Index No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2. Well Name	Monitrice	Merina N'Dakhar	Fass	Niakhene	Forbctte	Diompy	Dioukoul Tabby	Tabby	Mecuane Water Well	Mecuane Cbservation
3. Type Well	Development	Test	Test	Test	Development	Development	Development	Development	Test	Observation
4. Coordinates Long. Lat.	15°52'42" 14°45'7"	16°32'50" 15°06'27"	16°08'59" 15°3'40"	16°20'40" 15°4'43"	16°28'25" 15°6'29"	16°25'17" 15°09'47"	16°32'16" 15°03'00"	16°32'16" 15°04'56"	16°45'51" 15°04'37"	16°45'51" 15°04'37"
5. Elevation: ft (m)	132 (40.2)	105 (32.0)	135 (41.2)	108 (33.0)	98 (29.9)	102 (31.1)	92 (28.1)	99 (30.2)	170 (51.8)	169 (51.5)
6. Total Depth: ft (m)	91 (27.7)	238 (69.5)	832 (253.5)	179 (54.6)	141 (43)	143 (43.6)	155 (47.3)	225 (68.7)	212 (64.7)	153 (46.7)
7. Depth to SWL: ft (m)	9 (2.8)	98 (29.9)	134 (40.9)	94 (28.7)	92 (28.1)	92 (28.1)	90 (27.5)	90 (27.5)	75 (22.9)	74 (22.8)
8. Elev. of SWL: ft (m)	+123 (37.5)	+7 (2.1)	+1 (0.3)	+12 (3.7)	+6 (1.8)	+10 (3.0)	+2 (.6)	+9 (2.8)	+95 (29.0)	+95 (29.0)
9. Aquifer Material and Depth: ft (m)	Continental Terminal Laterite	Eocene Limestone 90-184 (27.5 - 50.5)	Paleocene Limestone 709 - 722 (216 - 220)	Eocene Limestone 118 - 166 (36 - 50.6)	Eocene Limestone 90 - 141 (27.5 - 43)	Eocene Limestone 96 - 143 (29.2 - 43.6)	Eocene Limestone 105 - 155 (32 - 47.3)	Continental Terminal Fine Sand	Eocene Sandstone 139 - 156 (42.5 - 47.6)	Eocene Sandstone 139 - 154 (42.5 - 47)
10. *Casing size and Depth: ft (m)	6-inch 0-64(0-19.5)	10-inch 0-186(0-56.7)	10-inch 0-294 (0-89.6) 6-inch 244-737(744-225)	10-inch 0-166(0-50.6)	6-inch 0-141(0-43)	6-inch 0-143(0-43.6)	6-inch 0-155(0-47.2)	none	10-inch 0-168(0-51.2)	6-inch 0-152(0-46.3)
11. *Type screen, size, depth: ft(m)	Slotted 6" casing 44-54' (13.4-16.5)	10-inch slotted casing 100-180 (30.5-54.9)	slotted 6-inch casing 705-725 (215-221)	slotted 10-inch casing 135-165 (41.1-50.2)	slotted casing 120-140 (36.5-42.6)	slotted 6-inch casing 120-140 (36.5-42.6)	6-inch slotted casing 135-155 (41.1-47.2)	Well abandoned	Pre-pack screen .15-.25 gravel 6-5/8" ID 9-5/8" OD; 141-150 (42.9-45.6)	6-inch slotted casing 140-150 (42.6-45.6)
12. Type Pump, model size	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster recip- rocating Model DW 89	Dempster Hand Model 210 F	Dempster recip- rocating Model DW 76	Dempster recip- rocating Model DW 76	Dempster recip- rocating Model DW 76		Dempster Hand Model 210 F	
13. Pumping rate: gpm (lit/sec)	Tested	37(2.33)	300 (18.92)	30 (1.89)	400 (25.23)	(B) 30 (1.89)	(B) 30 (1.89)	(B) 30 (1.89)		100 (6.31)
	Installed									
14. Pump Intake Dpth: ft(m)	22 (6.7)	106 (32.3)	240* (7.32)	106 (32.3)	105* (32)	105* (32.0)	105* (32.0)		85 (25.9)	
15. Total Dynamic Head										
16. Total Dissolved Solids (mg/liter)	250	456	3036	456	450±	300±	700±		390	

\* Nominal Diameter - American Standard

A-0



TABLE A-1 (continued)

1. Index No.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2. Well Name	Dangalma Water Well	Dangalma Obs. Well No. 1	Dangalma Obs. Well No.2	N'Dondol	Goundiane	Diak	Bourvaye	Dingler	N'Douf	N'Dielyene
3. Type Well	Test	Observation	Observation	Test	Test	Development	Development	Development	Development	Development
4. Coordinates Long. Lat.	16°33'56" 14°43'09"	16°33'56" 14°43'09"	16°33'56" 14°43'09"	16°35'30" 14°38'41"	16°43'51" 14°43'05"	16°43'16" 14°41'25"	16°43'16" 14°42'25"	16°40'16" 14°41'25"	16°40'00" 14°43'36"	16°39'20" 14°42'10"
5. Elevation: ft(m)	56 (17.1)	56 (17.1)	56 (17.1)	46 (14.0)	120 (36.6)	164 (50.0)	164 (50.0)	42 (12.8)	42 (12.8)	
6. Total Depth: ft(m)	119(36.2);PB83	60 (18.3)	80 (24.4)	120 (36.6)	105 (32.0)	96 (29.3)	124 (37.8)	95 (29.0)	118 (36.0)	107 (32.7)
7. Depth to SWL:ft(m)	50 (15.2)	50 (15.2)	50 (15.2)	56 (17.1)	42 (12.8)	42 (12.8)	49 (15.0)	29 (8.8)	32 (9.8)	35 (10.7)
8. Elev. of SWL: ft(m)	+6 (+1.8)	+6 (+1.8)	+6 (+1.8)	-10 (-3.0)	+78 (+23.8)	+122 (+37.2)	+115 (+36.1)	+13 (+4.0)	+10 (+3.0)	
9. Aquifer Material and Depth: ft(m)	Eocene Limestone 48-83 (14.7-25.3)	Eocene Limestone 48-60 (14.7-18.3)	Eocene Limestone 48-80 (14.7-24.4)	Eocene Marl-Limestone 97-110 (29.6-33.6)	Continental Laterite 50-67 (15.3-20.4)	Continental Terminal Laterite 60-73(18.3-22.2) 82-94(25.0-28.7)	CT Laterite 48-65(14.7-19.8) Lateritic gravel 65-85(19.8-25.9)	Eocene Limestone 107-115 (19.5-29.0)	Eocene Limestone 107-115 (32.6-36.1)	Eocene Limestone 84-107 (25.6-32.6)
10. Casing size and depth: ft(m)	10-inch 0-83(0-25.3)	6-inch 0-58(0-17.7)	6-inch 0-65(0-19.8)	10-inch 0-66(0-20.1)	10-inch 0-75(0-22.9)	6-inch 0-95(0-29.0)	6-inch 0-100(0-30.5)	6-inch 0-95(0-29.0)	6-inch 0-107(0-32.6)	6-inch 0-106(0-32.4)
11. Type screen, size, depth: ft(m)	10-inch slot- ted casing 58-82(17.7-25.0)	ABANDONED (Pulled CSG)	ABANDONED (Pulled CSG)	WELL ABANDONED	slotted casing 55-67(16.8-20.4)	perforated casing 63-69(19.2-18.0) 85-91(25.9-27.7)	perforated casing 65-87 (19.8 - 26.5)	perforated casing 80-90 (24.4 - 27.4)	open hole 107-115 (32.6 - 36.1)	perforated casing 86-105 (29.3 - 32.0)
12. Type Pump, Model Size	Dempster Hand Model 210 F				Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F
13. Pumping or Bailing Rate: gpm (lit/sec)	Tested	600 (37.85)			125 (7.89)	(B) 30 (1.89)	(B) 10 (0.63)	(B) 30 (1.89)	(B) 45 (2.84)	(B) 30 (1.89)
	Installed									
14. Pump Intake Depth ft(m)	64 (19.5)				64 (19.5)	64 (19.5)	64 (19.5)	43 (13.1)	43 (13.1)	43 (13.1)
15. Total Dynamic Head										
16. Total Dissolved Solids (ppm)	3032			6214	434	142	600	494	750	1080

TABLE A-1 (continued)

1. Index No.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2. Well Name	Becwane N'Doro	Blotan Marche	Tiahar	Baba Garage	BG. Obs. Well	Lambaye	N'Gascope	Niakhar	Niakhar Obs. Well	N'Dieganiao
3. Type Well	Development	Development	Development	Test	Observation	Development	Development	Test	Observation	Development
4. Coordinates Long. Lat.	16°39'13" 14°40'20"	16°39'13" 14°38'48"	16°21'46" 14°41'51"	16°29'33" 14°56'38"	16°29'33" 14°56'38"	16°32'01" 14°49'21"	16°27'27" 14°37'23"	16°24'30" 14°29'12"	16°24'30" 14°29'12"	16°43'20" 14°31'44"
5. Elevation: ft(m)	32 (9.8)	36 (11.0)	72 (21.9)	66 (20.1)	66 (20.1)	142 (43.3)	33 (10.1)	26 (7.9)	26 (7.9)	85 (25.9)
6. Total Depth:ft(m)	78 (23.8)	145(44.2) FB 29 (8.8)	154 (46.9)	146 (44.5)	130 (39.6)	142 (43.3)	70 (21.3)	70 (21.3)	55 (16.7)	252 (76.8)
7. Depth to SWL:ft(m)	13(4.0)	14(4.3)	94(28.7)	52(15.8)	52(15.8)	84(25.6)	42(12.8)	18(5.5)	18(5.5)	40(12.2)
8. Elev. of SWL:ft(m)	+19(5.8)	+22(6.7)	-22(6.7)	+14(4.3)	+14(4.3)	+58(17.7)	-9(2.7)			+35(10.7)
9. Aquifer Material and Depth:ft(m)	Eocene Limestone 68-78(20.7-23.8)	Laterite 24-28 (7.3-8.5)	Eocene Lime- stone 122-142 (37.2-43.3)	Eocene Lime- stone 95-146 (29.0-44.5)	Eocene Lime- stone 95-130 (29.0-39.6)	Eocene Lime- stone 90-106 (27.4-32.3)	Eocene Lime- stone 61-70 (18.6-21.3)	Eocene Lime- stone 43-70 (13.1-21.3)	Eocene Lime- stone 43-55 (13.1-16.8)	Falocene Limestone 235-245 (71.6-74.7)
10. Casing size and depth:ft(m)	6-inch 0-77 (0-23.5)	6-inch 0-24 (0-7.3)	6-inch 0-142 (0-43.3)	10-inch 0-90 (0-27.1) 6-inch 86-146 (26.2-44.5)	10-inch 0-89 (0-27.1) 6-inch 0-100 (0-30.5)	6-inch 0-110 (0-33.5)	6-inch 0-70 (0-21.3)	10-inch 0-70 (0-21.3)	6-inch 0-42 (0-12.8)	10-inch 0-252 (0-76.8)
11. Type screen, size, depth:ft(m)	perforated casing 68-77 (20.7-23.5)	prepacked screen 24-28 (7.3-8.5)	perforated casing 122-142 (37.2-43.3)	6-inch slotted liner 93-145 (28.3-44.2)	open hole 100-130 (30.5-39.6)	6-inch slotted casing 93-105 (28.3-32.0)	slotted 6-inch casing 59-63 (18.0-19.2)	perforated casing 45-64 (13.7-19.5)	open hole 42-55 (12.8-16.8)	perforated casing 235-245 (71.6-74.7)
12. Type Pump Model Size	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Recip- rocating Model DW89	Dempster Hand Model 210 F		Dempster Recip- rocating Model DW76	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F		Dempster Hand Model 210 F
13. Pumping or bailing rate: gpm(lit/sec)	Tested	(B)75(4.73)		(B) 18 (1.14)	725 (45.73)		(B) 25 (1.58)	(B) 25 (1.58)		(B) 40 (2.52)
	Installed									
14. Pump Intake Depth ft(m)	22 (6.7)	28 (8.5)	120* (36.6)	54 (19.5)		105* (32.0)	64.5 (19.7)	22 (6.7)		64 (19.5)
15. Total Dynamic Head										
16. Total Dissolved Solids (ppm)	1392	2168	1284	506		562	888	2100 5426		3994

TABLE A-1 (continued)

1. Index No.	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
2. Well Name	M'Bouror	M'Boulem	N'Diamane	N'Gol	Nianing	Louly M'Boudaye	Louly M'Bafaye	Kibik	Tarhoum	Keur Balla
3. Type Well	Development	Development	Development	Development	Test Well	Development	Development	Development	Development	Development
4. Coordinates Long. Lat.	16°52'35" 14°23'30"	16°53'55" 14°22'55"	16°50'35" 14°18'35"	16°47'00" 14°19'00"	16°55'36" 14°20'32"	16°51'35" 14°25'30"	16°52'00" 14°28'28"	16°54'16" 14°28'47"	16°53'35" 14°28'55"	16°53'42" 14°25'36"
5. Elevation:ft(m)	49 (14.9)	49 (14.9)	75 (22.9)	60 (18.3)	13 (4.0)	33 (10.1)	33 (10.1)	33 (10.1)	39 (11.9)	39 (11.9)
6. Total Depth:ft(m)	50 (15.2)	99 (30.2)	157 PB 42 (47.9) (12.8)	100 (30.5)	207 (63.1)	85 (25.9)	75 (22.9)	52 (15.8)	87 (26.5)	36 (11.0)
7. Depth to SWL:ft(m)	23 (7.0)	21 (6.4)	13 (4.0)	12 (3.7)	12 (3.7)	11 (3.4)	16 (4.9)	18 (5.5)	15 (4.6)	17 (5.2)
8. Elev. of SWL: ft(m)	+26 (7.9)	+28 (8.5)	+62 (18.9)	+48 (14.6)	+1 (0.3)	+22 (6.7)	+17 (5.2)	+15 (4.6)	+24 (7.3)	+22 (6.7)
9. Aquifer Material and Depth: ft(m)	Paleocene Limestone 45-50 (13.7-15.2)	Continental Terminal Lat- erite 39-47 (11.9-14.3)	Eocene Limestone 23-28 (7.0-8.5)	Eocene Limestone 10-40 (30.0-12.2)	Eocene sands	Paleocene Limestone 15-85 (4.6-25.9)	Paleocene Limestone 20-75 (6.7-22.9)	Limestone 13-50 (4.0-15.2)	Limestone and Sandstone	Limestone 17-35 (5.2-11.0)
10. Casing size and Depth:ft(m)	6-inch 0-50 (0-15.2)	6-inch 0-57 (0-17.4)	6-inch 0-42 (0-12.8)	Abandoned	10-inch 119 (36.3) 6-inch 170 (51.8)	6-inch 0-85 (0-25.9)	6-inch 0-75 (0-22.9)	6-inch 0-51 (0-15.5)	6-inch 0-87 (0-26.5)	6-inch 0-36 (0-11.0)
11. Type screen, size, depth:ft(m)	Slotted casing 46-49 (14.0-14.9)	Slotted casing 40-46 (12.2-14.0)	Slotted casing 23-28 (7.0-8.5)			Slotted casing 25-83 (7.6-25.3)	Slotted casing 30-70 (9.1-21.3)	Slotted casing 40-50 (12.2-15.2)	Slotted casing 44 (13.4)	Slotted casing 24-33 (7.3-10.1)
12. Type Pump, Model Size	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F			Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F
13. Pumping rate gpm(lit/sec)	Tested	40 (2.52)	30 (1.89)	20 (1.26)		75 (4.73)	60 (3.78)	40 (2.52)	50 (3.15)	30 (1.89)
	Installed									
14. Pump Intake Depth:ft(m)	33 (10.1)	33 (10.1)	22 (6.7)			22 (6.7)	22 (6.7)	22 (6.7)	22 (6.7)	22 (6.7)
15. Total Dynamic Head										
16. Total Dissolved Solids (ppm)	672	622	516		1200 (±)	1098	920	946	4416	742

TABLE A-1 (continued)

1. Index No.	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
2. Well Name	Keur Samba Ba	Sangue	Diougane	Keur Madiama Wade	Keur Amadou Diogo	Keur Daouda Cisse	Keur Matar Aram	Dambangoye	Keur Mamadou N'Diaye;No. 1&2	Keur Mandaro
3. Type Well	Development	Development	Development	Development	Development	Development	Development	Development	Development	Development
4. Coordinates Long. Lat.	16°57'15" 14°20'55"	16°57'37" 14°42'11"	16°55'10" 14°41'51"	16°53'21" 14°44'16"	16°53'02" 14°44'34"	16°53'05" 14°44'40"	16°52'00" 14°46'45"	16°51'35" 14°57'05"	16°52'00" 14°46'05"	16°51'00" 14°45'50"
5. Elevation: ft(m)	66(20.1)	276 (84.1)	246 (75.0)	190 (57.9)	180 (54.9)	180 (54.9)	164 (50.0)	131 (39.9)	165 (50.6)	157 (47.9)
6. Total Depth: ft(m)	100 (30.5)	47 (14.3)	52 (15.8)	61 (18.6)	57 (17.4)	104 (31.7)	72 (21.9)	95 (29.0)	72 (21.9)#1 35 (10.7)#2	53 (16.2)
7. Depth to SWL:ft(m)	15 (4.6)		22 (6.7)	10 (3.0)	13 (4.0)	23 (7.0)	17.5 (5.3)	13 (4.0)	12.5 (3.8)#2	12.5 (3.8)
8. Elev. of SWL:ft(m)	+51 (15.5)		+224 (68.3)	+180 (54.9)	+167 (50.9)	+157 (47.9)	+146.5 (44.7)	+118 (36.0)	+153.5 (46.8)#2	+114.5 (44.0)
9. Aquifer Material and Depth	Paleocene Limestone 90-100 (27.4-30.5)		Laterite 23-52 (7.0-15.8)	Laterite 50-61 (15.2-18.6)	Laterite 44-57 (13.4-17.4)	Laterite 55-80 (16.8-24.4)	Laterite 55-65 (16.8-19.8)	Eocene Limestone 68-74 (20.7-22.6)	Laterite #2 23-29 (7.0-8.8)	Laterite 47-53 (14.3-16.2)
10. Casing size and depth:ft(m)	6-inch 0-93(0-28.3)	Abandoned	6-inch 0-52(0-15.8)	6-inch 0-56(0-17.1)	6-inch 0-53(0-16.2)	6-inch 0-97(0-29.6)	6-inch 0-72(0-21.9)	6-inch 0-67(0-20.4)	Abandoned #1 10-inch #2 0-27(0-8.2)	6-inch 0-53(0-16.2)
11. Type screen, size, depth:ft(m)	perforated casing 89-91 (27.1-27.7);open hole 93-100 (28.3-30.5)		perforated casing 38-44(11.6-13.4)	open hole 56-61 (17.1-18.6)	open hole 53-57 (16.2-17.4)	perforated casing 55-95 (16.8-29.0) Open 97-104 (29.6-31.7)	perforated casing 55-65 (16.8-19.8)	open hole 67-95 (20.4-29.0)	prepack screen#2 26-35(7.9-10.7)	perforated casing 48-50 (14.6-15.2)
12. Type Pump, model size			Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F	Dempster Hand Model 210 F #2	Dempster Hand Model 210 F
13. Pumping rate gpm(lit/sec)	Tested	60 (3.78)		30 (B) (1.89)	30 (1.89)	50 (3.15)				
	Installed									18 (1.14)
14. Pump Intake Depth: ft(m)			43 (13.1)	22 (6.7)	22 (6.7)	64 (19.5)	43 (13.1)	71 (21.6)	31(9.4) #2	22 (6.7)
15. Total Dynamic Head										
16. Total Dissolved Solids (ppm)	2912		192	696	918	796	112	684	240 #2	808

TABLE A-2  
 CHEMICAL ANALYSES OF WATER - WEST CENTRAL SENEGAL, 1968-1969  
 (In Milligrams per Liter, except as otherwise noted)

Index No.	Well Name	pH	Chloride (Cl)	Sulfate (SO <sub>4</sub> )	Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	Nitrate (NO <sub>3</sub> )	Calcium (Ca)	Magnesium (Mg)	Sodium (Na)	Potassium (K)	Specific Conductance (Micromhos)	Dissolved Solids (Mg/ltr)	Sodium Adsorption Ratio	Remarks
1	Monitrice	6.3	2.32	0.19	0.52	0.22	1.20	0.34	1.64	0.05	340	250	1.9	Fe = .73
2	Merina N'Dakhar	7.4	1.80	0.12	5.75	0.04	5.30	0.78	0.98	0.03	600	456	0.5	
3	Fass	7.8 7.8 8.0	30.50 24.20 31.40	7.28 11.86 9.08	5.00 2.30 7.75	0.58 TR 0.03	10.28 5.86 1.92	12.64 7.60 0.40	19.65 22.78 45.21	0.77 0.83 0.84	4000 3400 4000	2992 2526 3036	5.8 8.8 42.3	247' 358' 705-10'
4	Niakhene	7.5	2.20	0.13	3.70	0.98	4.72	0.72	1.59	0.04	620	464	0.8	
9/10	Mecouane	7.5	1.28	1.55	3.15	TR	3.76	1.03	1.00	0.04	500	390	0.6	
11/13	Dangalma	7.1 7.4	57.00 39.40	4.76 2.08	5.65 6.45	0.81 0.80	16.40 16.72	11.82 5.76	39.65 26.10	0.12 0.10	5700± 4000	4254 3032	10.6 7.8	48-118' 48-82'
14	Dondel	7.0	87.00	4.56	6.00	2.28	36.56	14.00	48.70	0.23	8000±	6214	9.7	97-120'
15	Goundiane	6.0	3.08	0.08	0.34	2.10	1.50	0.90	2.88	0.20	500	434	2.6	Fe = .25
16	Diak	6.5	1.08	0.06	0.55	0.29	0.61	0.20	0.87	0.10	200	142	1.4	Fe = 17
17	Bourvaye	7.1	3.16	0.03	1.65	3.31	3.60	1.66	2.17	0.52	800	600	1.3	NH <sub>4</sub> = 5.4
18	Dingler	7.4	1.68	0.41	4.65	0.96	5.15	0.94	1.30	0.09	700	494	0.7	
19	N'Douf	7.3	3.16	1.98	5.60	1.27	7.24	2.84	1.82	0.06	850	750	0.8	
20	N'Diylene	7.4	9.54	0	4.60	0.23	7.70	0.68	5.74	0.08	1300	1080	2.8	
21	Beouane	7.4	7.30	1.74	4.35	5.55	8.44	4.56	4.78	1.30	1750	1392	1.9	
22	Blotan Marche	7.4	21.10	3.88	4.80	3.54	7.16	4.20	21.04	0.64	2900	2168	8.9	NH <sub>4</sub> = 2
23	Tiarhar	7.5	2.06	11.40	4.75	0.05	8.78	4.72	4.78	0.20	1500	1284	1.7	
24/25	Baba Garage	7.6	2.54	0.84	4.25	0.48	5.34	0.66	1.82	0.03	700	506	1.1	
26	Lambaye	7.6	2.50	0.34	4.65	1.29	5.88	1.46	1.32	0.06	875	562	0.7	Fe = .5
27	N'Gascop	7.4	6.22	0.80	6.45	1.45	6.66	2.72	5.31	0.04	1250	888	2.5	
28/29	Niakhar	7.3	74.80	2.56	6.05	1.65	16.40	13.12	54.46	0.99	7300±	5426	9.2	
30	N'Diaganiao	7.6	39.20	14.44	7.30	0.25	5.82	15.64	40.02	0.21	5000±	3994	12.2	F = 7.0
31	M'Bouror	7.5	2.00	0	2.80	3.55	5.20	1.50	1.47	0.25	800	672	0.8	
32	M'Boulem	5.3	3.18	0	0.14	5.16	2.92	2.84	2.56	0.16	750	622	1.5	Fe = .23
33	N'Diamane	7.4	2.44	0.14	5.10	0.96	4.92	2.12	1.48	0.02	700	516	0.8	F = 1.6
36	Louly M'Boudaye	7.2	9.46	0.80	7.25	0.08	11.40	2.10	4.08	0.03	1400	1098	1.6	F = 1.6
37	Louly M'Bafaye	7.3	8.94	0.02	5.40	0.42	6.84	2.74	5.22	0.11	1250	920	2.4	
38	Kibik	7.1	7.32	0	7.75	0.29	7.58	2.14	5.82	0.04	1300	946	2.6	
39	Tarhoum	7.4	61.80	5.55	0	TR	29.76	5.68	32.00	0.12	6000±	4416	7.6	
40	Keur Bala	7.5	5.24	0	4.20	0.63	6.00	0.32	3.39	0.03	1000	742	1.9	
41	Keur Samba Ba	7.3	37.10	1.72	5.85	0.29	12.28	5.68	26.53	0.29	3900	2912	8.8	

TABLE A-2 (continued)

Index No.	Well Name	pH	Chloride (Cl)	Sulfate (SO <sub>4</sub> )	Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	Nitrate (NO <sub>3</sub> )	Calcium (Ca)	Magnesium (Mg)	Sodium (Na)	Potassium (K)	Specific Conductance (Micromhos)	Total Dissolved Solids (Mg/ltr)	Sodium Adsorption Ratio	Remarks
43	Diougane	8.0	1.32	0	1.45	0.29	1.70	0.28	0.93	0.02	240	192	0.9	
44	K.Madiana Wade	6.4	7.96	0	1.40	0.32	4.36	1.65	3.48	0.04	900	696	2.0	Fe = .6
45	K.Amadou Diogo	6.3	10.98	0.01	2.00	0.42	6.38	1.93	5.00	0.05	1200	918	2.5	Fe = 27
46	K.Daouda Cisse	7.5	5.90	0.76	4.90	0.61	6.24	3.12	2.89	0.05	1000	796	1.3	Fe = .21
47	K.Matar Aram	6.5	0.54	0	0.75	0.08	0.64	0.05	0.44	0.03	150	112	0.8	
48	Dambangoye	7.4	3.40	0.46	7.20	0.23	4.88	3.98	2.99	0.04	900	684	1.4	
49	K.Mamadou N'Diaye	6.7	1.00	0.10	2.25	0.42	1.92	0.59	0.91	0.16	300	240	0.8	
50	K.Mandaro	5.5	5.30	0.02	0.45	5.09	4.30	3.56	2.95	0.08	1100	808	1.5	



TABLE A-3

SUMMARY OF TEST RESULTS

WELL NO.	WELL NAME	SPECIFIC CAPACITY GPM/ft/dd (Liters/Sec/m dd)	PUMPING RATE GPM (Liters/Sec)	TRANSMISSIBILITY GPD/Ft. (m <sup>3</sup> /day/m)	STORAGE COEFFICIENT
2	Merina N'Dakhar	38 ( 7.86) 75 (15.52)	300 (18.92) 100 ( 6.31)	227,000 (2,819) 317,000 (3,937)	- -
3	Fass	0.5 (0.10)	30 ( 1.09)	12,800 ( 159)	-
4	Niakhene	87 (18.00) 200 (41.39)	400 (25.23) 100 ( 6.31)	317,000 (3,937)	-
9	Meonane	10 ( 2.07)	100 ( 6.31)	4,200 (52)	1.2x10 <sup>-3</sup>
11	Dangalma	500 (103.48) 750 (155.21)	300 (18.92) 150 ( 9.46)	615,000 (7,637)	5x10 <sup>-2</sup>
15	Goundiane	22 ( 4.55)	125 ( 7.89)	23,000 (286)	-
24	Baba Garage	150 (31.04) 200 (41.39)	450 (28.39) 150 ( 9.46)	98,000 (1,217)	5x10 <sup>-4</sup>
28	Niakhar	150 (31.04) 100 (20.70) 82 (16.97)	150 ( 9.46) 300 (18.92) 450 (28.39)	70,000 (869)	5x10 <sup>-4</sup>

TABLE A-4

WATER PRODUCTION OF PROJECT WELLS

No.	WELL NAME	TESTED CAPACITY		ESTIMATED MAXIMUM SAFE PUMPING RATE	
		(GPM)	(GPD)	(GPM)	(GPD)
1.	Monitrice	37	53,280	50	72,000
2.	Merina N'Dakhar	300	400,000	750	1,080,000
3.	Fass	30	40,000	100	144,000
4.	Niakhene	400	576,000	2,000	2,880,000
5.	Forbotte	30	43,200	275	396,000
6.	Diompy	30	43,200	275	396,000
7.	Diakoul Tobby	30	43,200	275	396,000
9.	Meouane	100	144,000	275	396,000
11.	Dangalma	600	864,000	2,000	2,880,000
15.	Goundiane	125	180,000	200	288,000
16.	Diak	30	43,200	100	144,000
17.	Bourzaye	10	14,400	10	14,400
18.	Dingler	30	43,200	200	288,000
19.	N'Douf	45	64,800	300	432,000
20.	N'Dieyenne	30	43,200	250	360,000
21.	Beouane N'Doro	75	108,000	300	432,000
22.	Blotan Marche	5	7,200	10	14,400
23.	Tiarhar	18	25,920	35	50,400
24.	Baba Garage	725	1,044,000	2,000	2,880,000
26.	Lambaye	25	36,000	50	72,000
27.	N'Gascope	25	36,000	50	72,000
28.	Niakhar	300	432,000	1,500	2,160,000
30.	Diaganiao	40	57,600	300	432,000



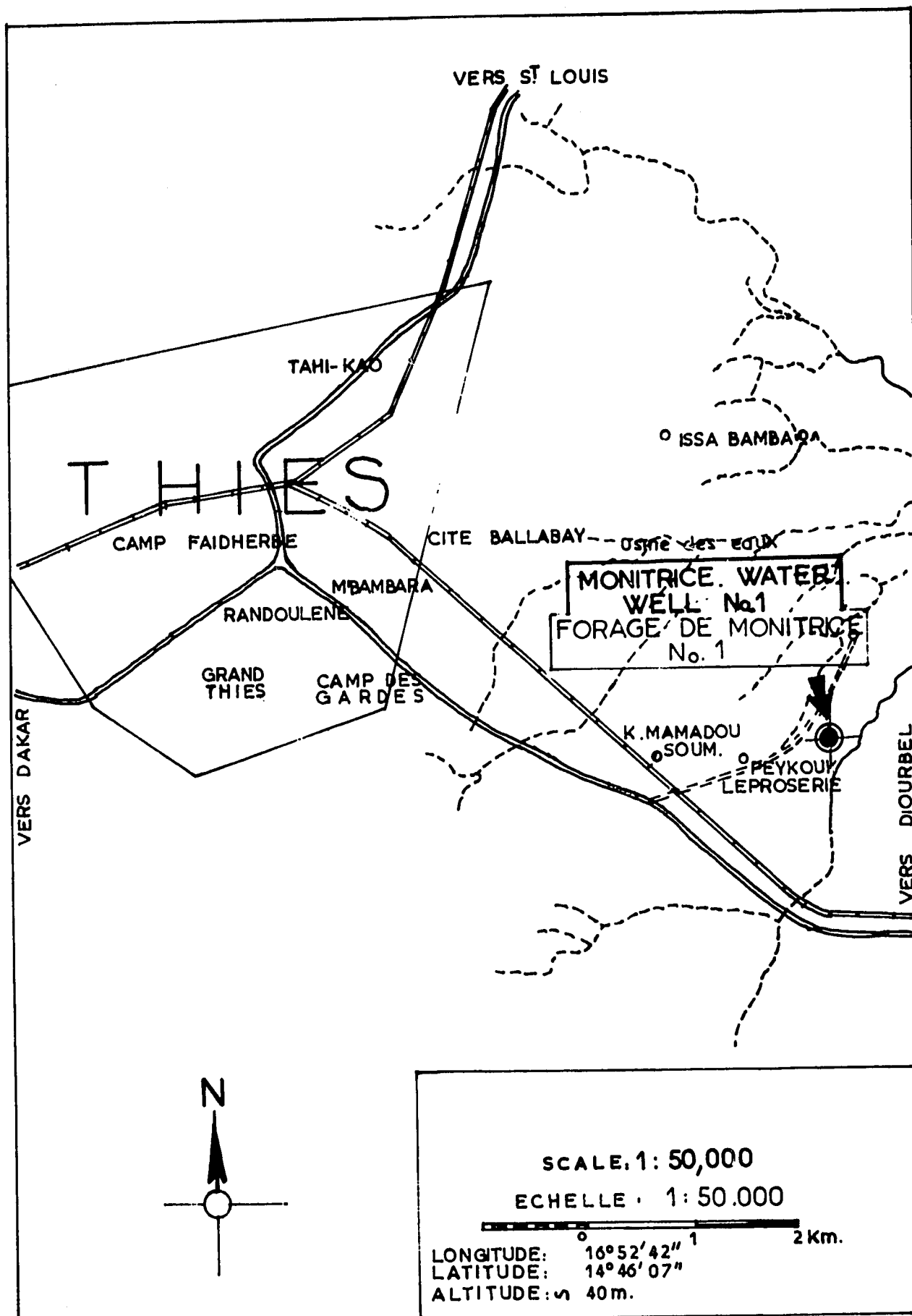
TABLE A-4 (continued)

WATER PRODUCTION OF PROJECT WELLS

No.	WELL NAME	TESTED CAPACITY		ESTIMATED MAXIMUM SAFE PUMPING RATE	
		(GPM)	(GPD)	(GPM)	(GPD)
31.	M'Bouror	40	57,600	300	432,000
32.	M'Boulem	30	43,200	200	288,000
33.	N'Diamane	20	28,800	10	14,400
36.	Louly M'Boudaye	75	108,000	400	576,000
37.	Louly M'Bafaye	60	86,400	300	432,000
38.	Kibik	40	57,600	200	288,000
39.	Tarhoum	50	72,000	200	288,000
40.	Keur Balla	30	43,200	100	144,000
41.	Keur Samba Ba	60	86,400	200	288,000
43.	Diougane	30	43,200	100	144,000
44.	Keur Madiama Wade	30	43,200	50	72,000
45.	Keur Amadou Diogo	50	72,000	60	86,400
46.	Keur Daouda Cisse	30	43,200*	50	72,000
47.	Keur Matar Aram	30	43,200*	50	72,000
48.	Dambangoye	30	43,200*	50	72,000
49.	K. Mamadou N'Diaye	30	43,200*	50	72,000
50.	K. Mandaro	18	25,920	30	43,200

1 GPM =  $6.308 \times 10^{-2}$  liters/sec.  
 1 GPM =  $3.785 \times 10^{-3}$  cubic meters/day

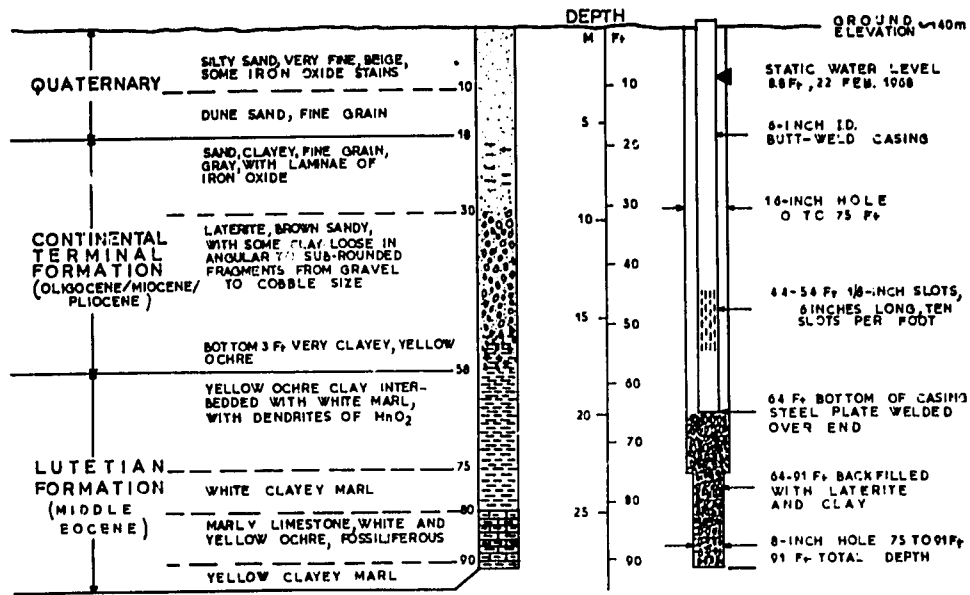
\* estimated



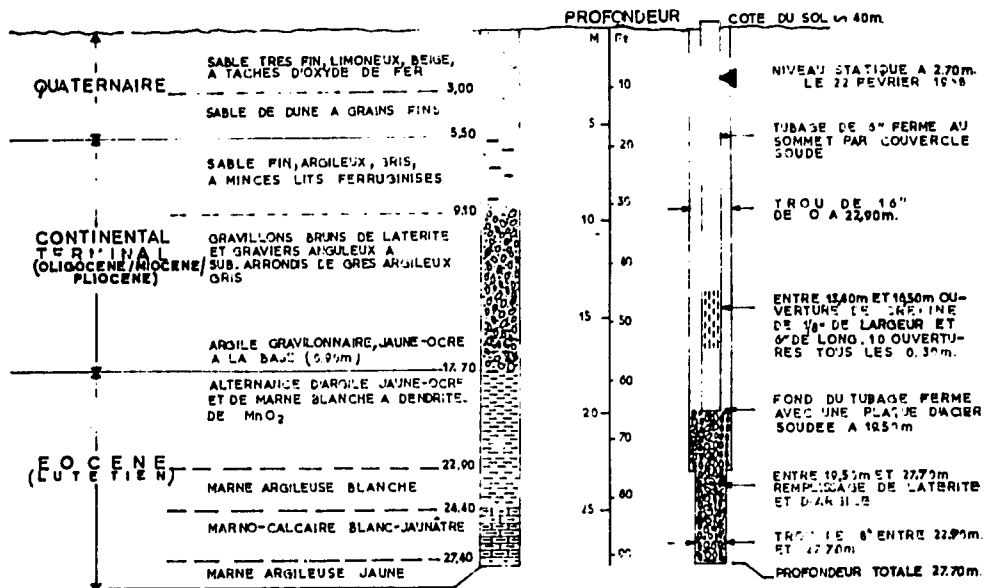
Sketch of Well Location Croquis de Localisation du Forage

MONITRICE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE MONITRICE NO. 1

Well Index No. 1



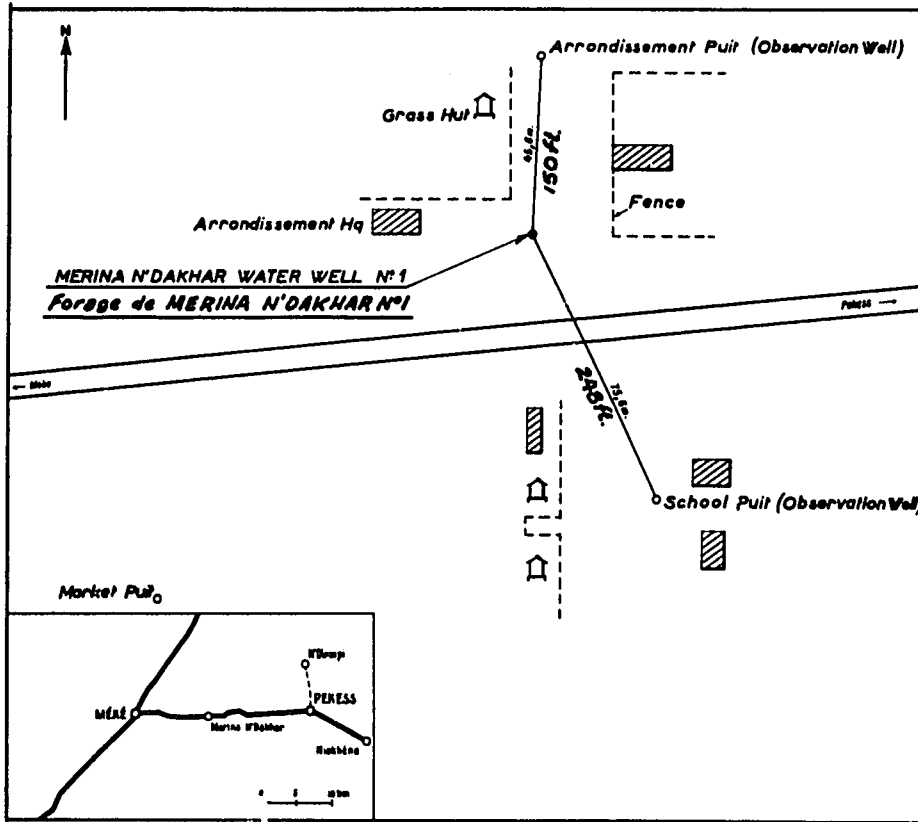
Geologic Log and Construction Diagram



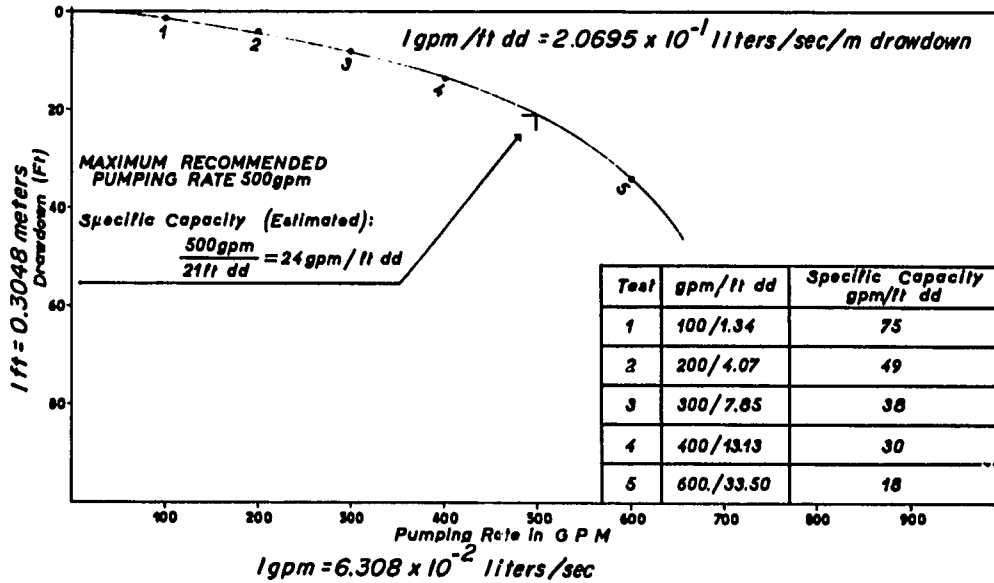
Coupe Géologique et Schéma de Construction

MONITRICE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE MONITRICE NO. 1

Well Index No. 1



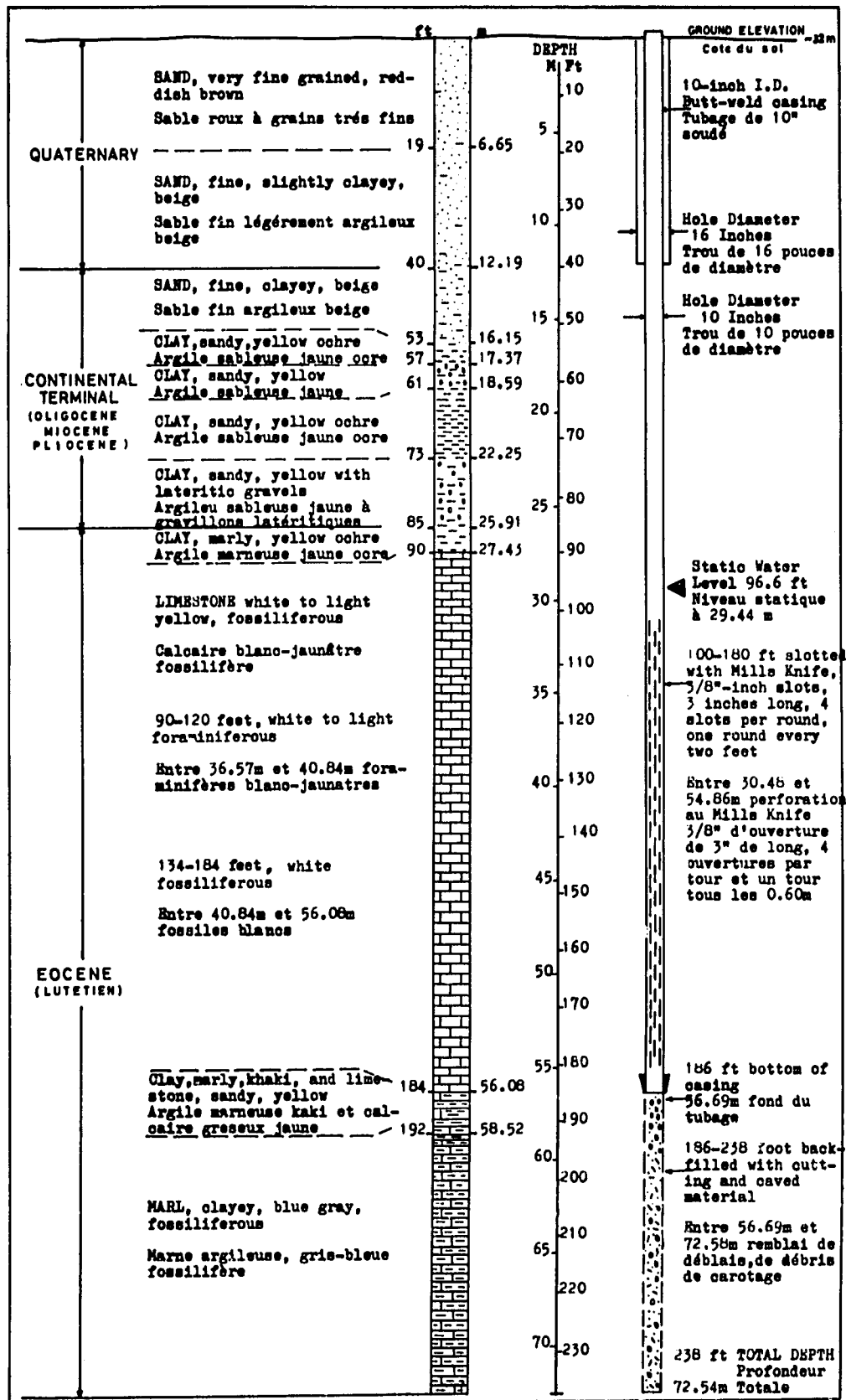
Location of Water Wells and Observation Wells  
 Localisation du Forage et des Forages d'Observation



Specific Capacity Curve  
 Courbe de Capacité Spécifique

MERINA N'DAKHAR WATER WELL NO. 1

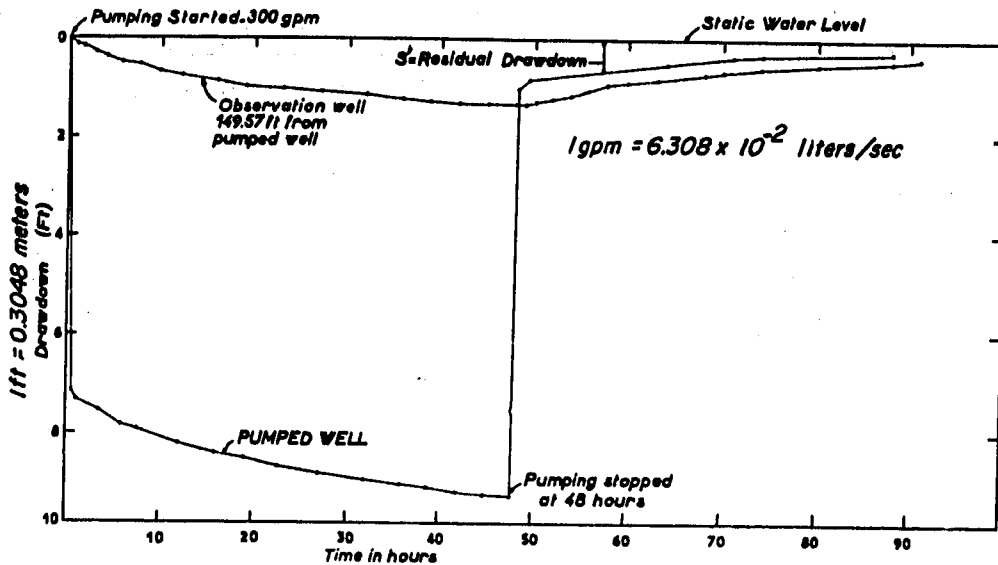
Well Index No. 2



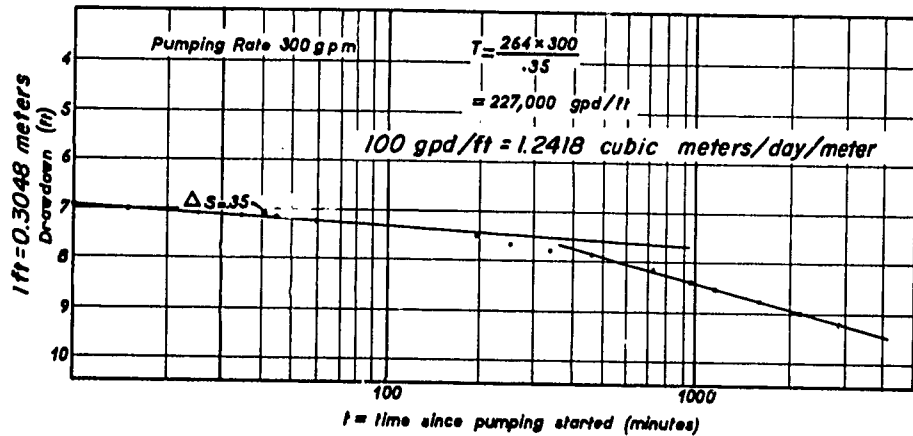
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

MERINA N'DAKHAR WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE MÉRINA N'DAKHAR NO. 1

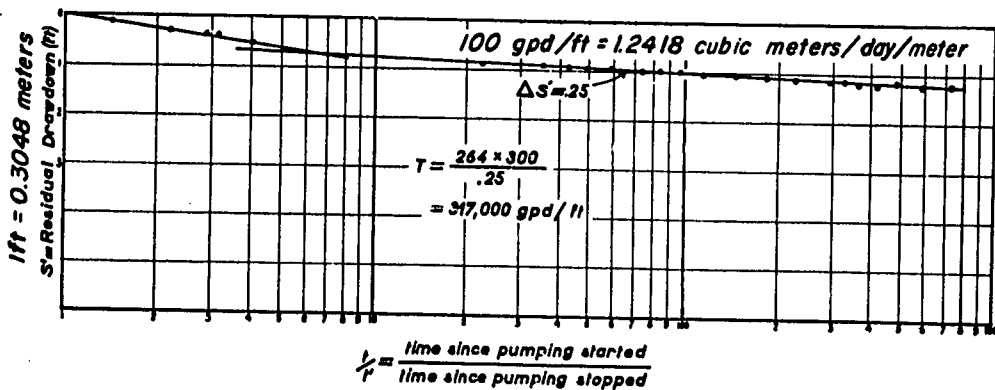
Well Index No. 2



Drawdown and Recovery Curves  
 Pumped Well and Observation Well  
 Courbes de Rabattement et de Recharge  
 Forage exploité et Forage d'Observation



Time - Drawdown Curve  
 Temps - Courbe de Rabattement

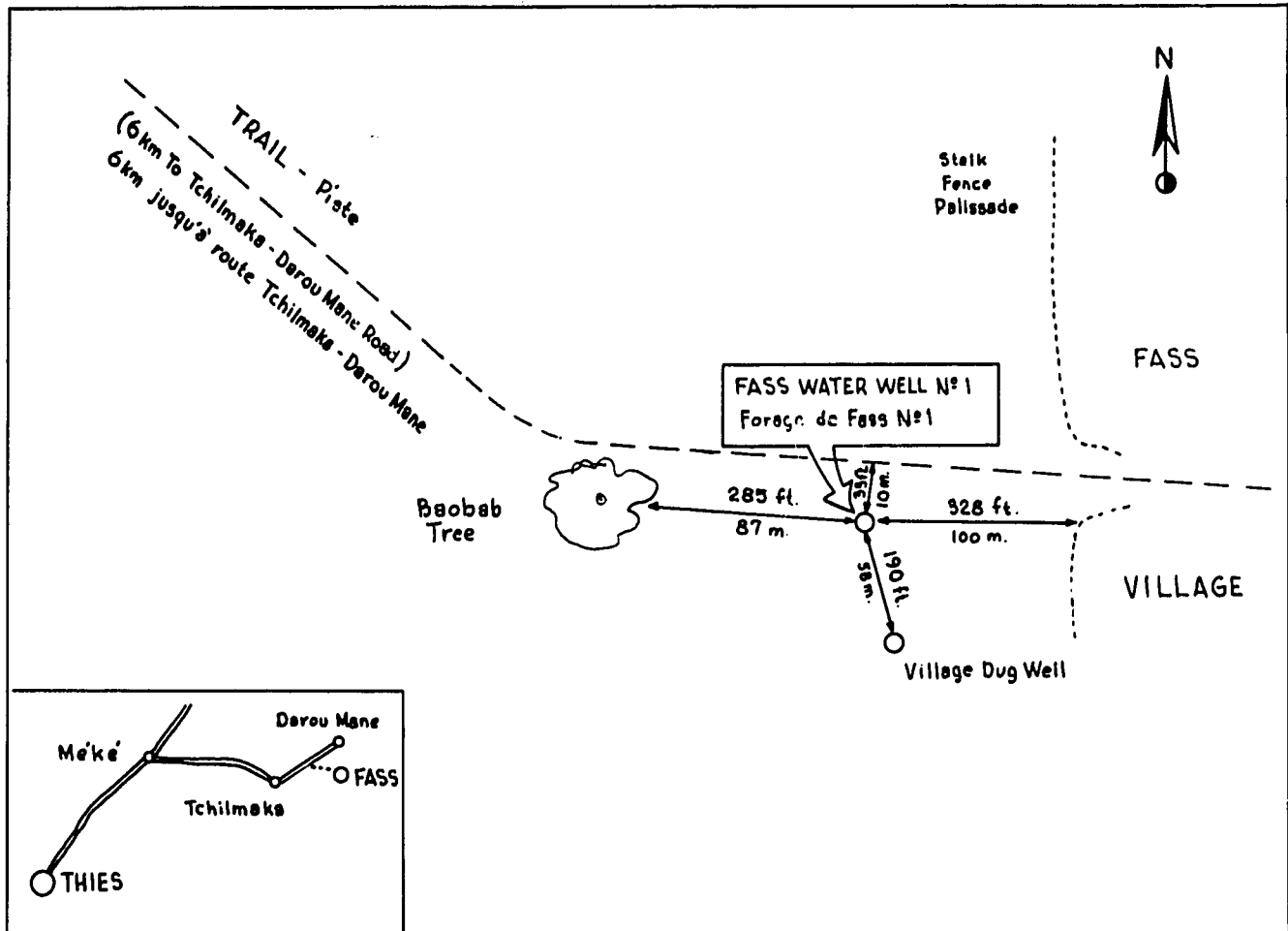


Residual Drawdown Curve  
 Courbe de Rabattement Résiduel

MERINA N'DAKHAR WATER WELL NO. 1

Well Index No. 2



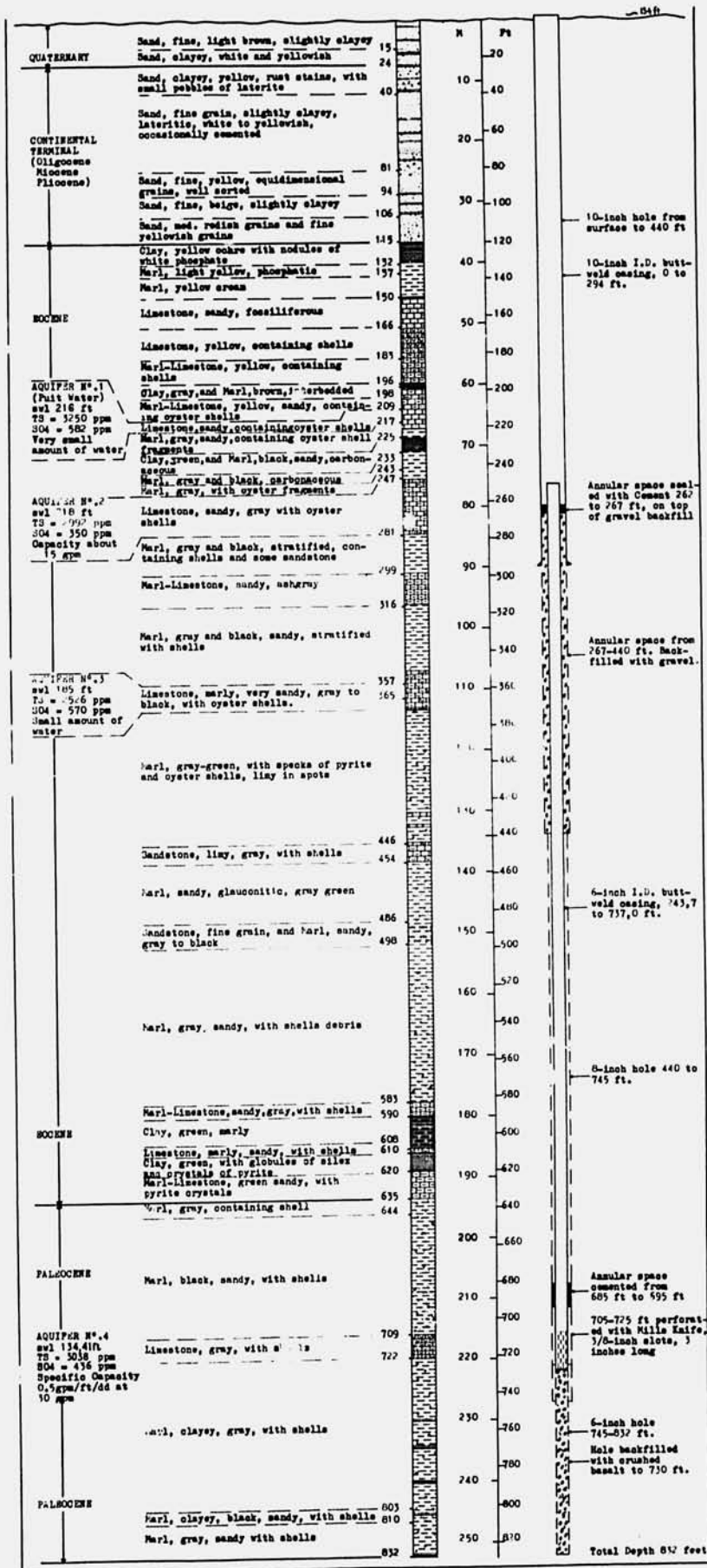


Sketch of Well Location  
 Croquis de Localisation du Forage

FASS WATER WELL NO. 1  
 FORAGE DE FASS NO. 1

Well Index No. 3

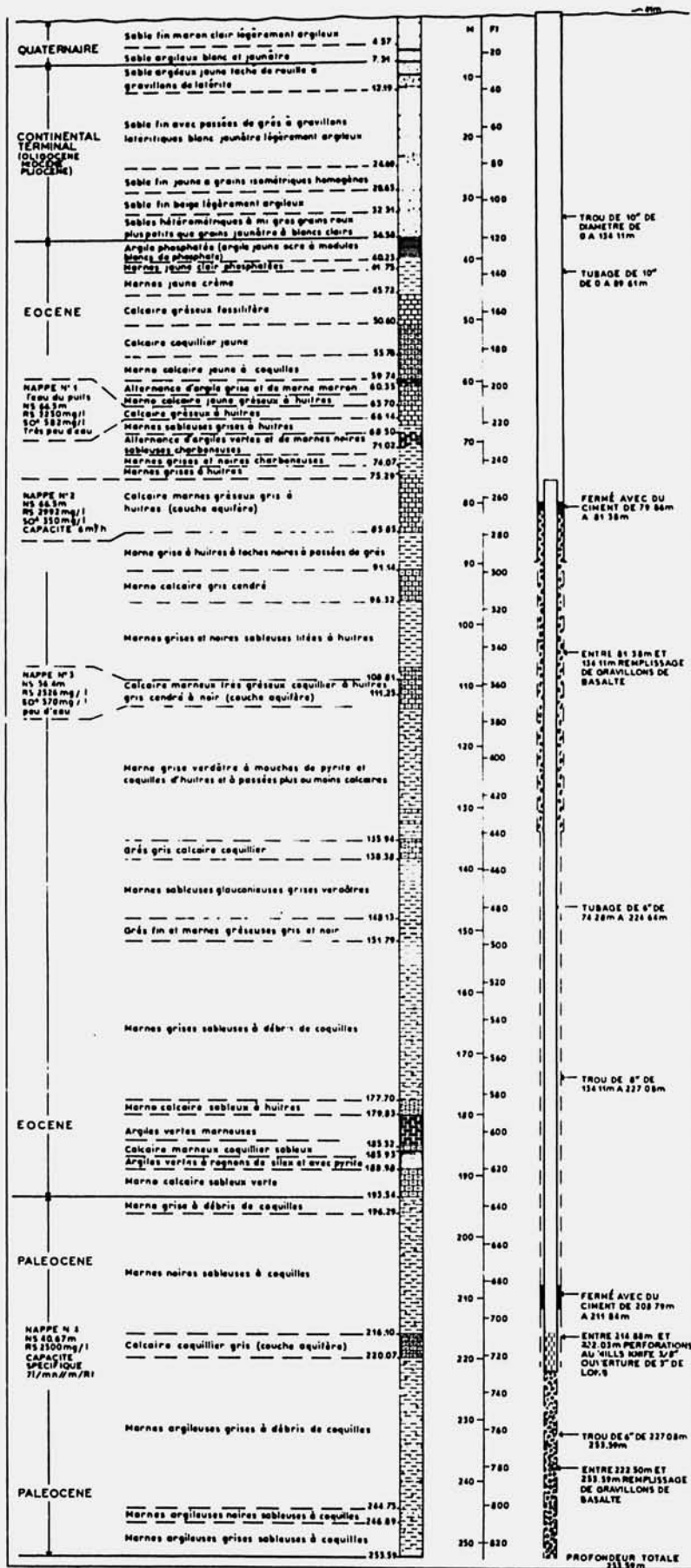




Geologic Log and Construction Diagram

FASS WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE FASS NO. 1

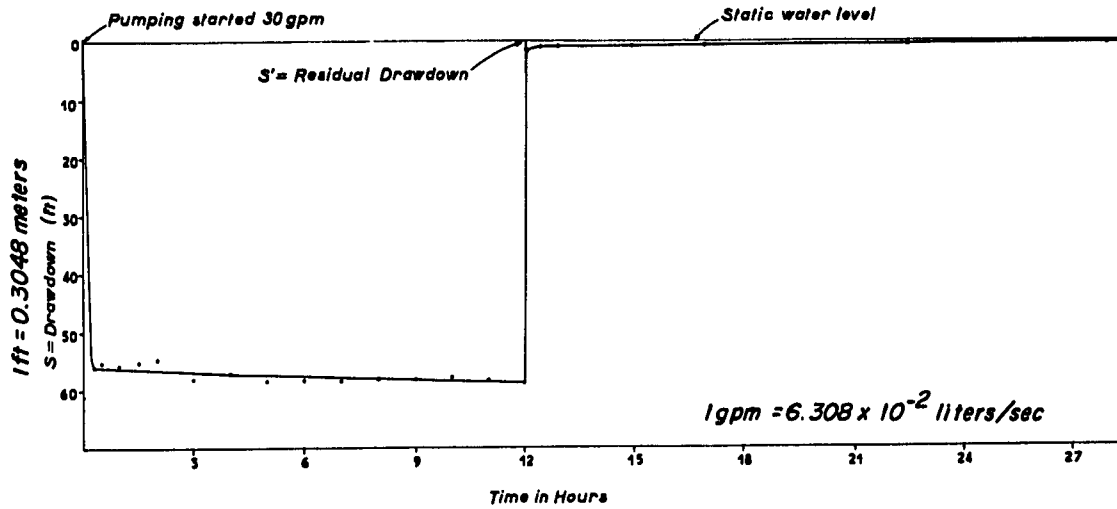
Well Index No. 3



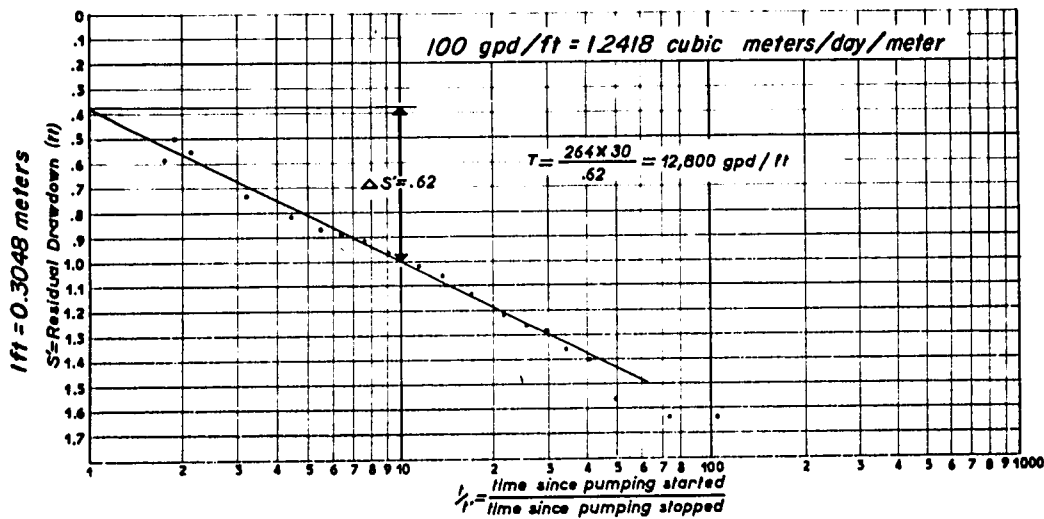
Coupe Géologique et Schéma de Construction

FASS WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE FASS NO. 1

Well Index No. 3



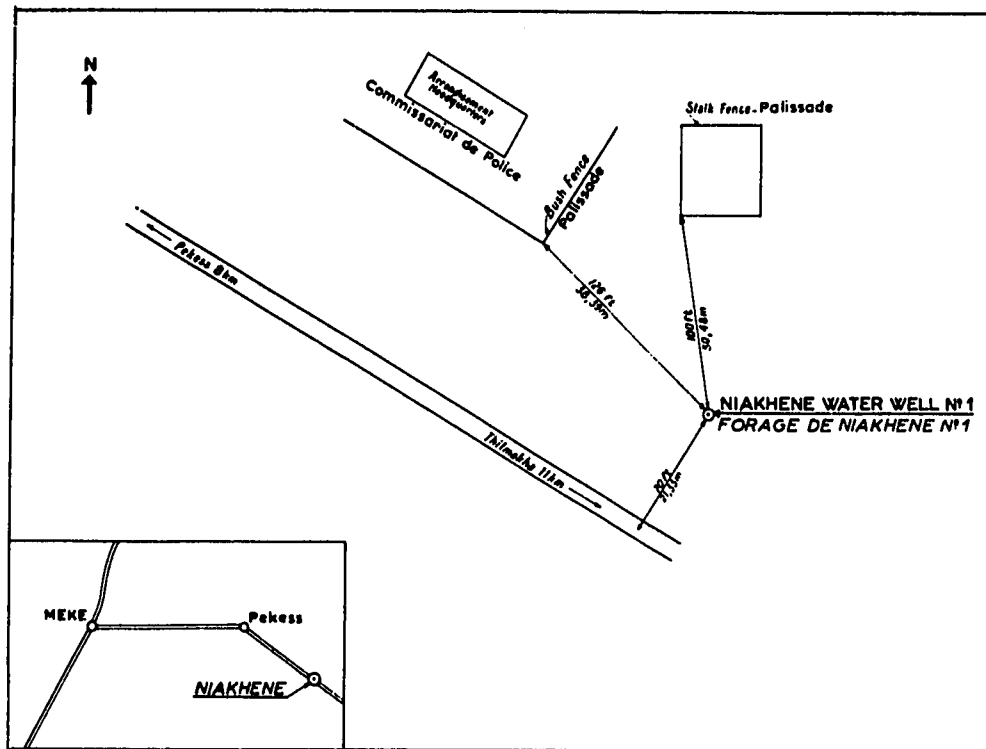
Drawdown/Recovery Curve  
 Courbe de Rabattement/Remontée



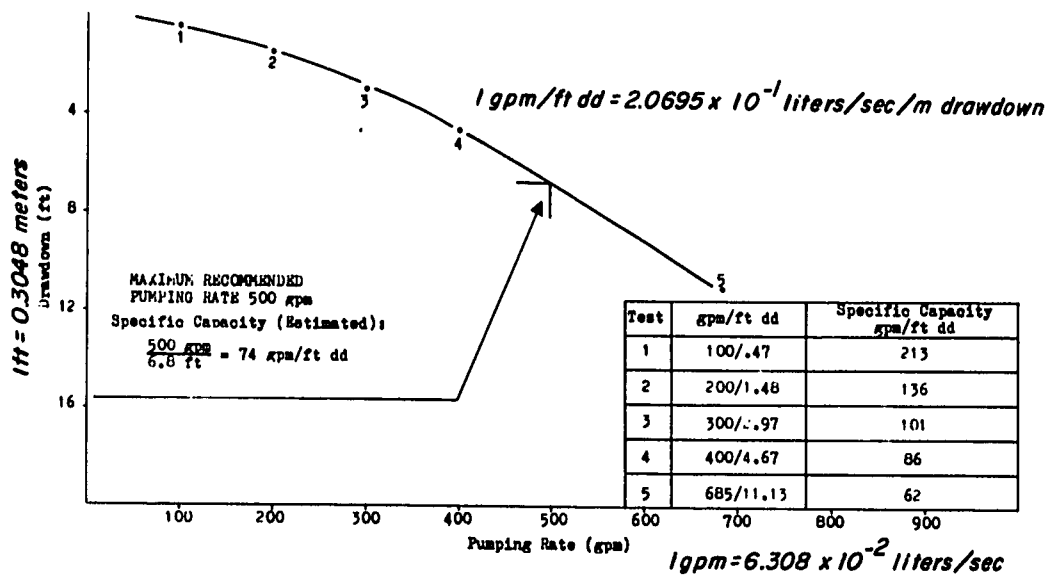
Residual drawdown curve  
 Courbe de Rabattement Résiduel

FASS WATER WELL NO. 1  
 FORAGE DE FASS NO. 1

Well Index No. 3



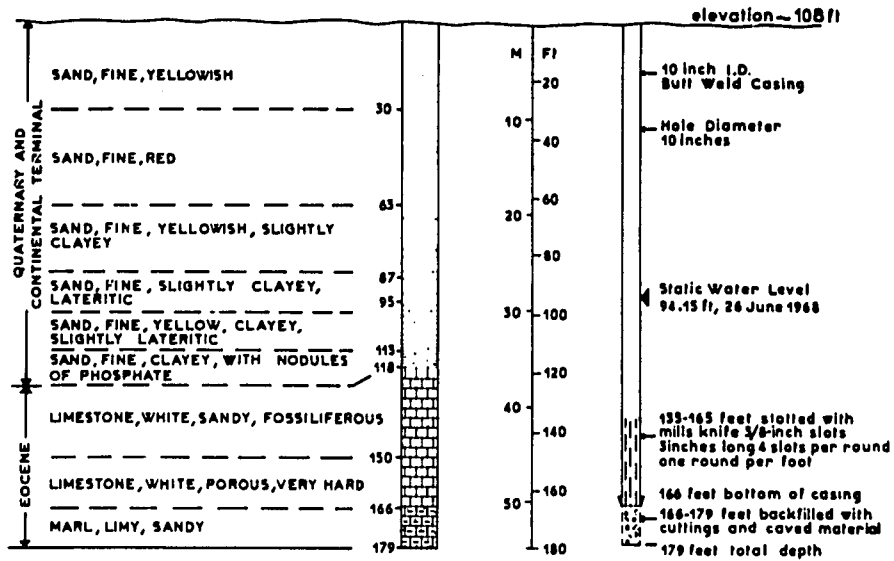
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



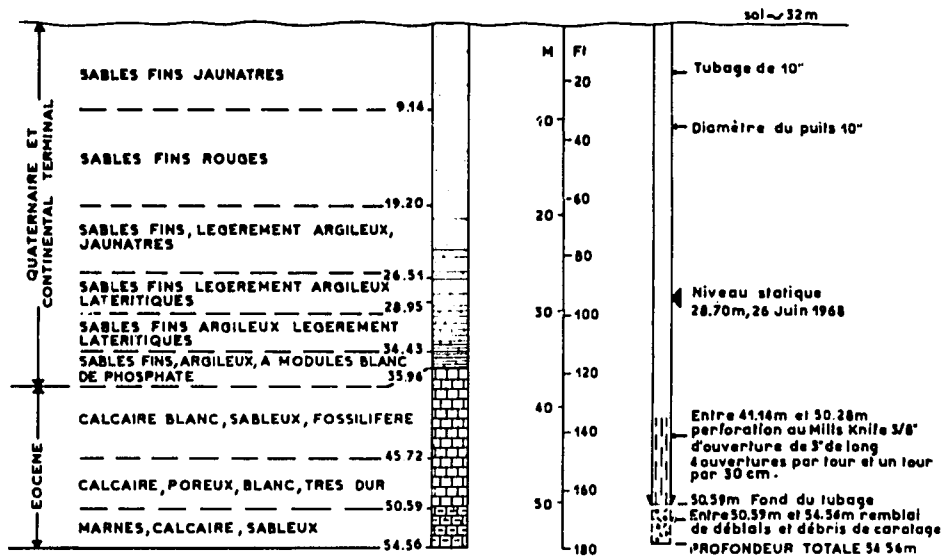
Specific Capacity Curve  
Courbe de Capacité Spécifique

NIAKHENE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE NIAKHENE NO. 1

Well Index No. 4



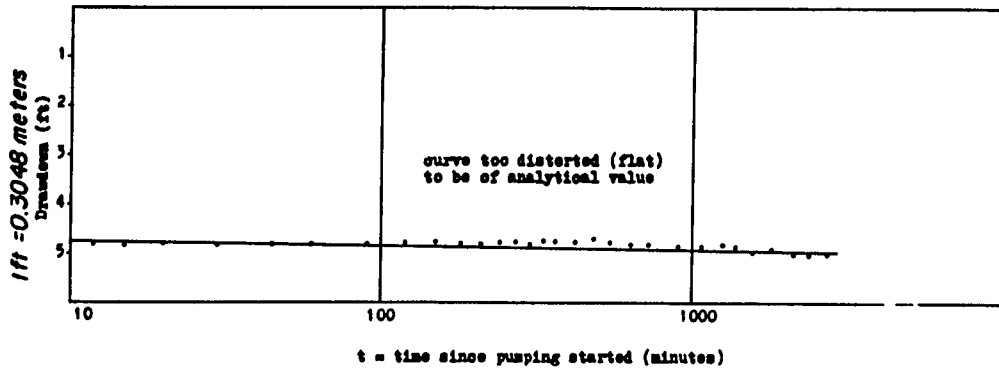
Geologic Log and Construction Diagram



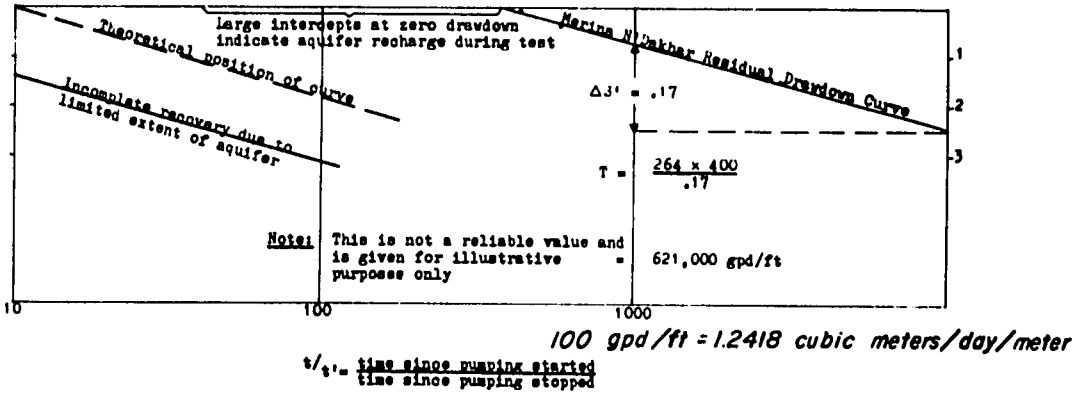
Coupe Géologique et Schéma de Construction

NIAKHENE WATER WELL NO. 1  
 FORAGE DE NIAKHENE NO. 1

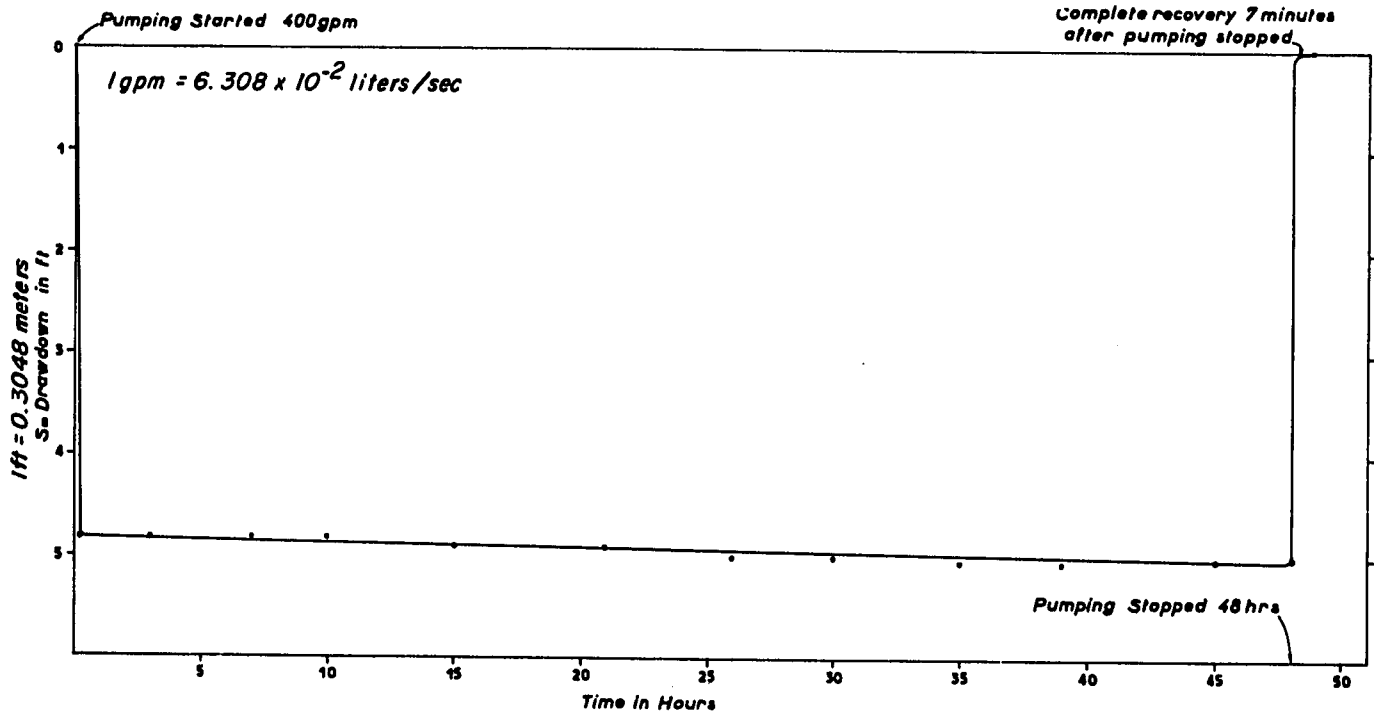
Well Index No. 4



Time - Drawdown Curve  
 Temps - Courbe de Rabattement



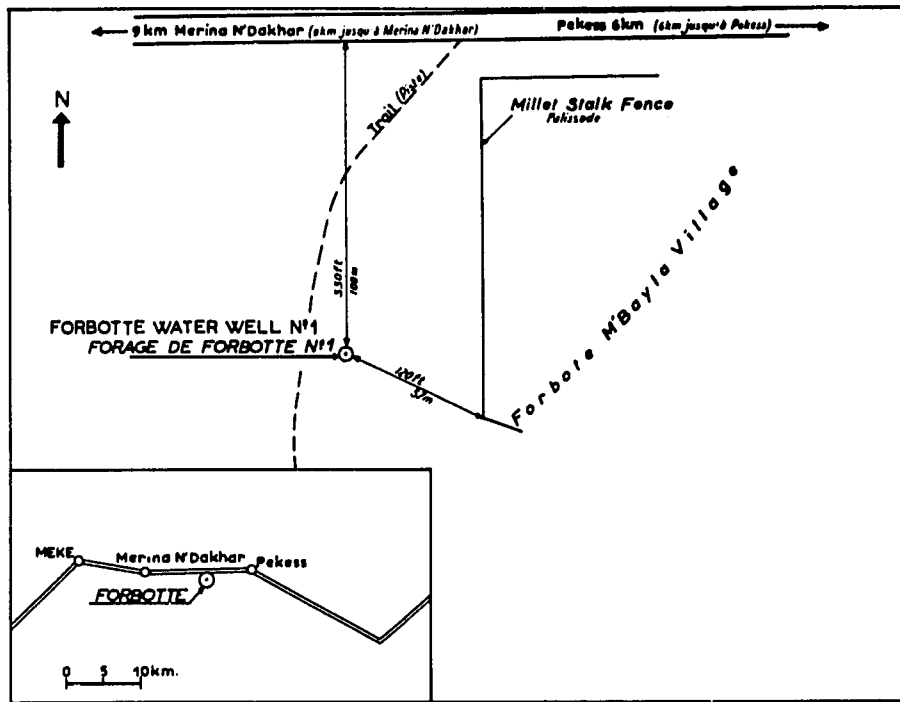
Residual drawdown curve  
 Courbe de Rabattement Résiduel



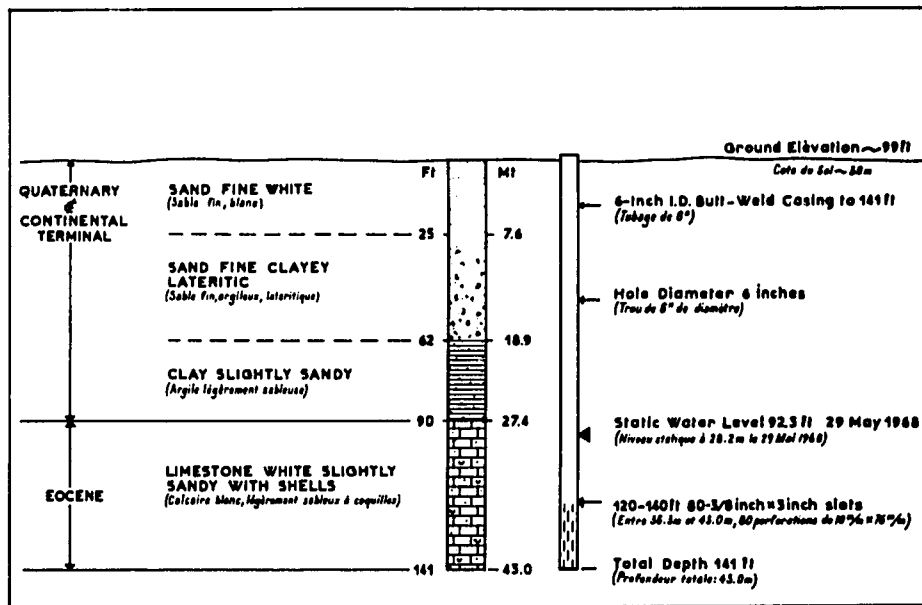
Drawdown/Recovery Curve  
 Courbe de Rabattement/Remontée

NIAKHENE WATER WELL NO. 1  
 FORAGE DE NIAKHENE NO. 1

Well Index No. 4



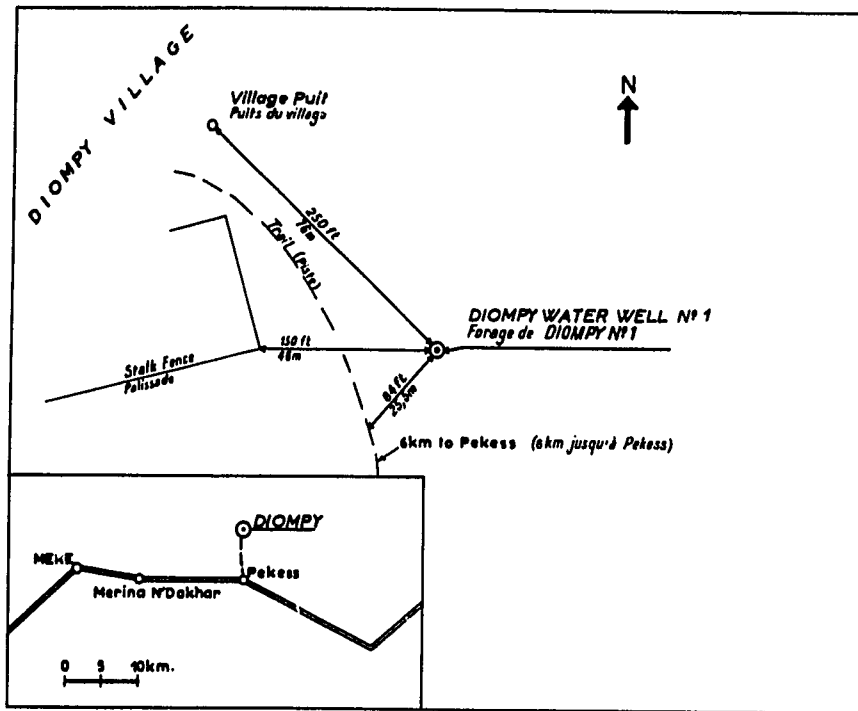
Sketch of Location of Well  
Croquis de Localisation du Forage



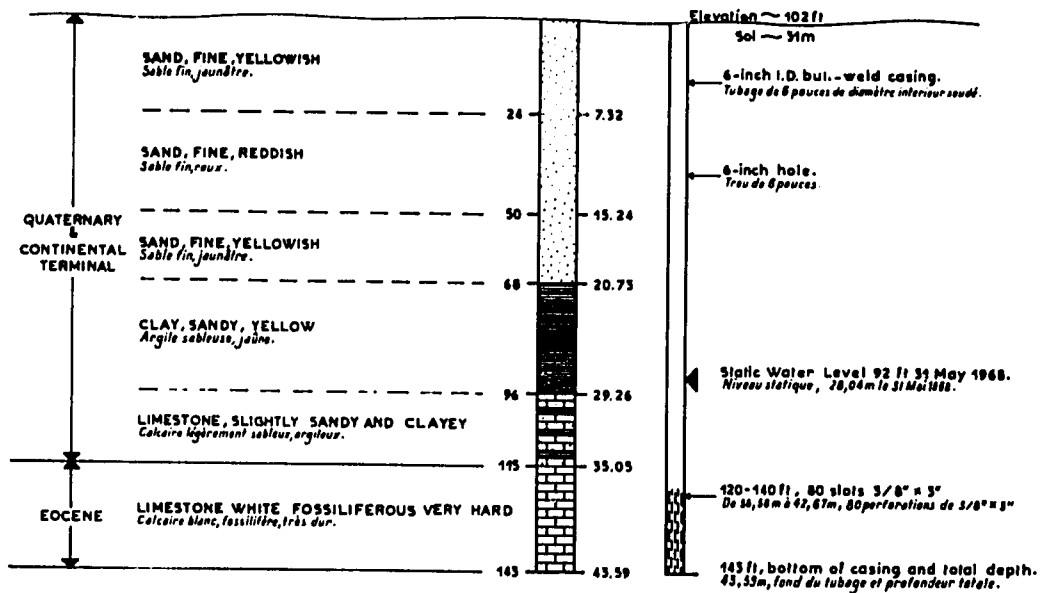
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schema de Construction

FORBOTTE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE FORBOTTE NO. 1

Well Index No. 5



Sketch of Well Location  
Croquis de localisation du Forage

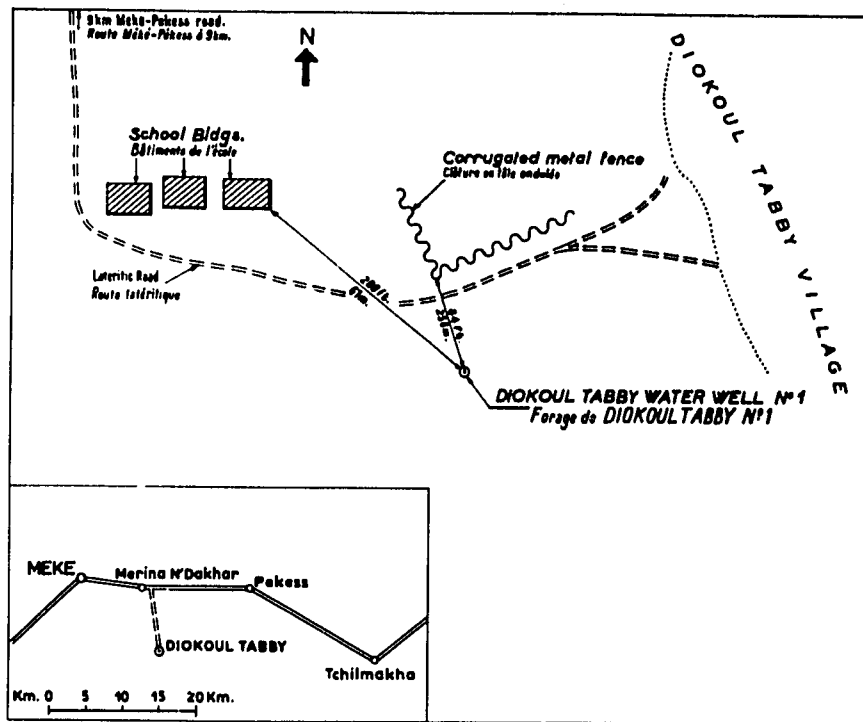


Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe géologique et schéma de Construction

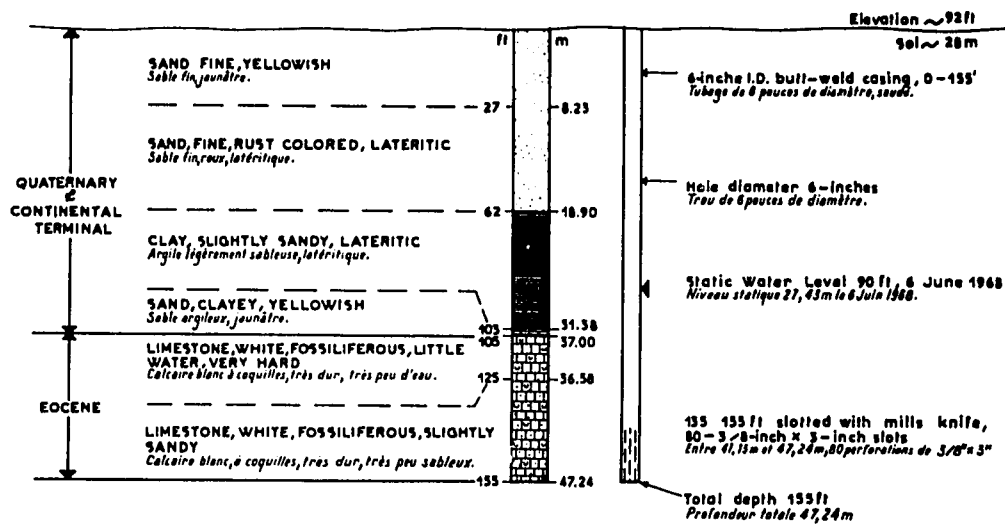
DIOMPY WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE DIOMPY NO. 1

Well Index No. 6





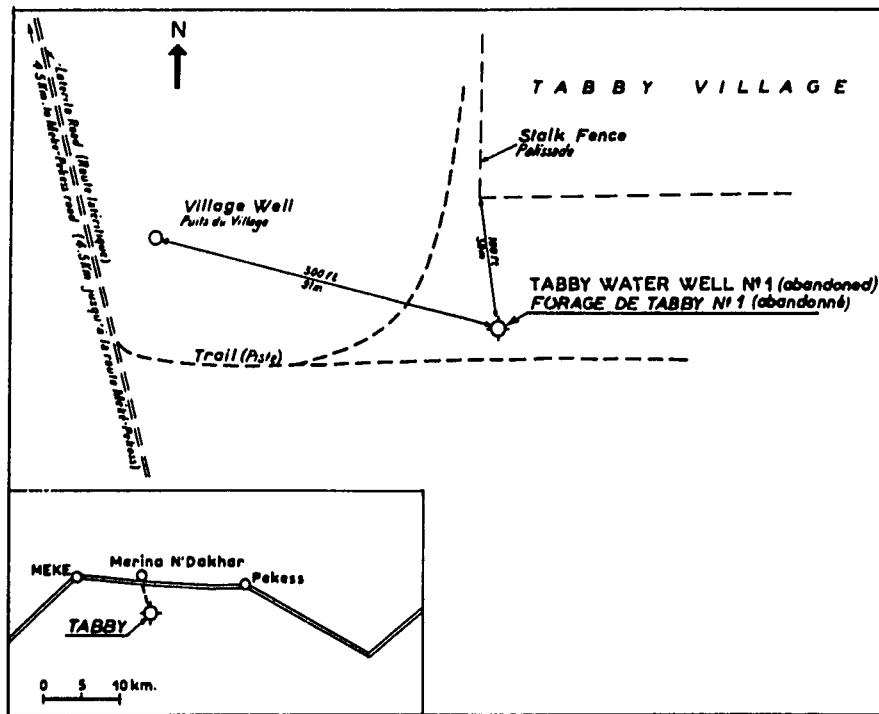
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



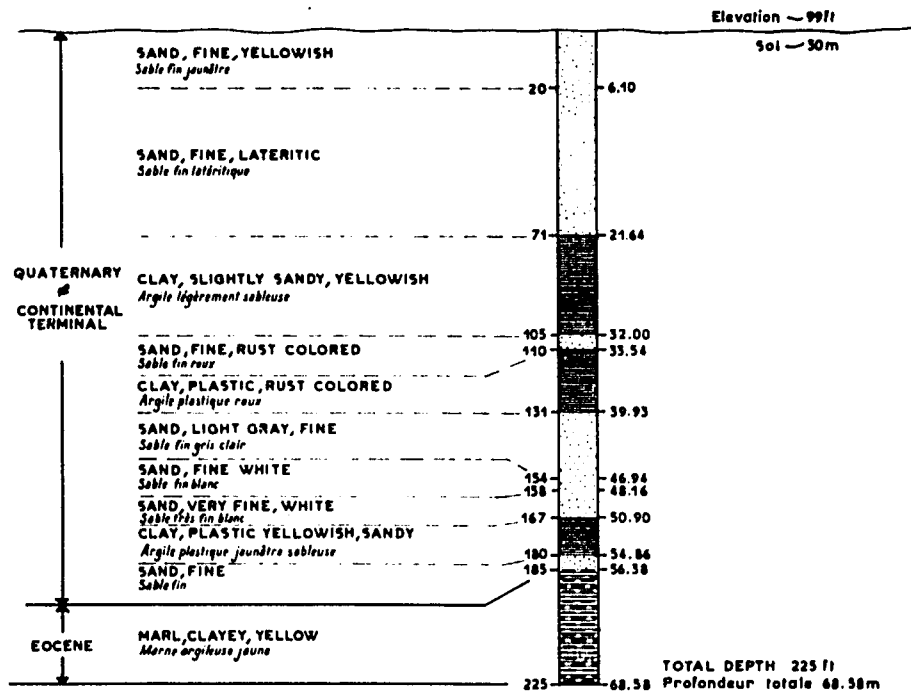
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

DIOKOUL TABBY WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE DIOKOUL TABBY NO. 1

Well Index No. 7



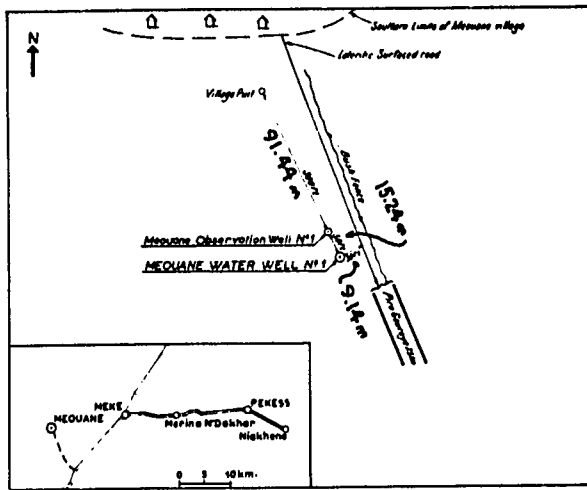
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



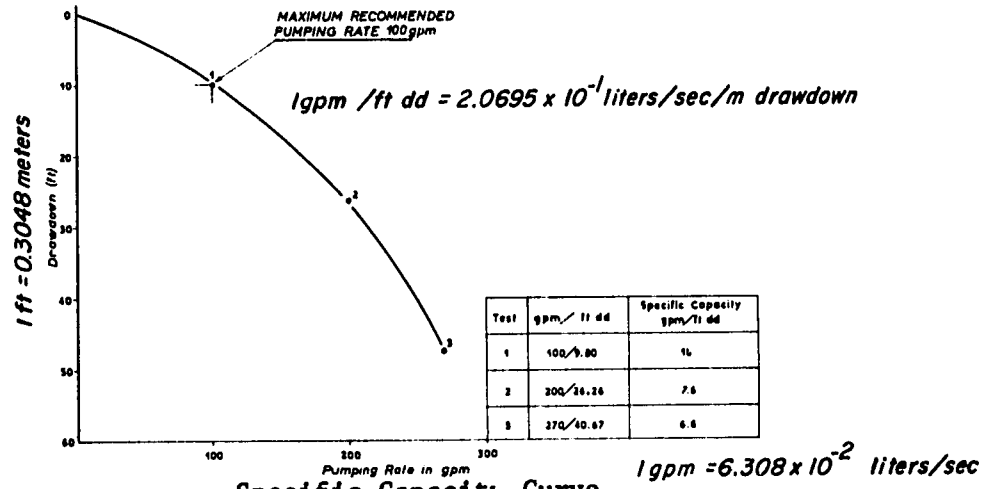
Geologic Log  
Coupe Géologique

TABBY WATER WELL NO. 1 (ABANDONED)  
FORAGE DE TABBY NO. 1 (ABANDONNÉ)

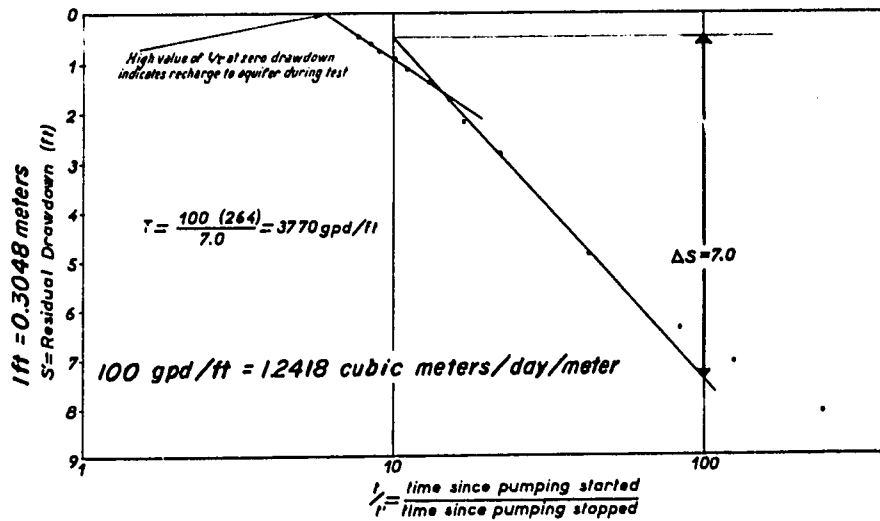
Well Index No. 8



Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



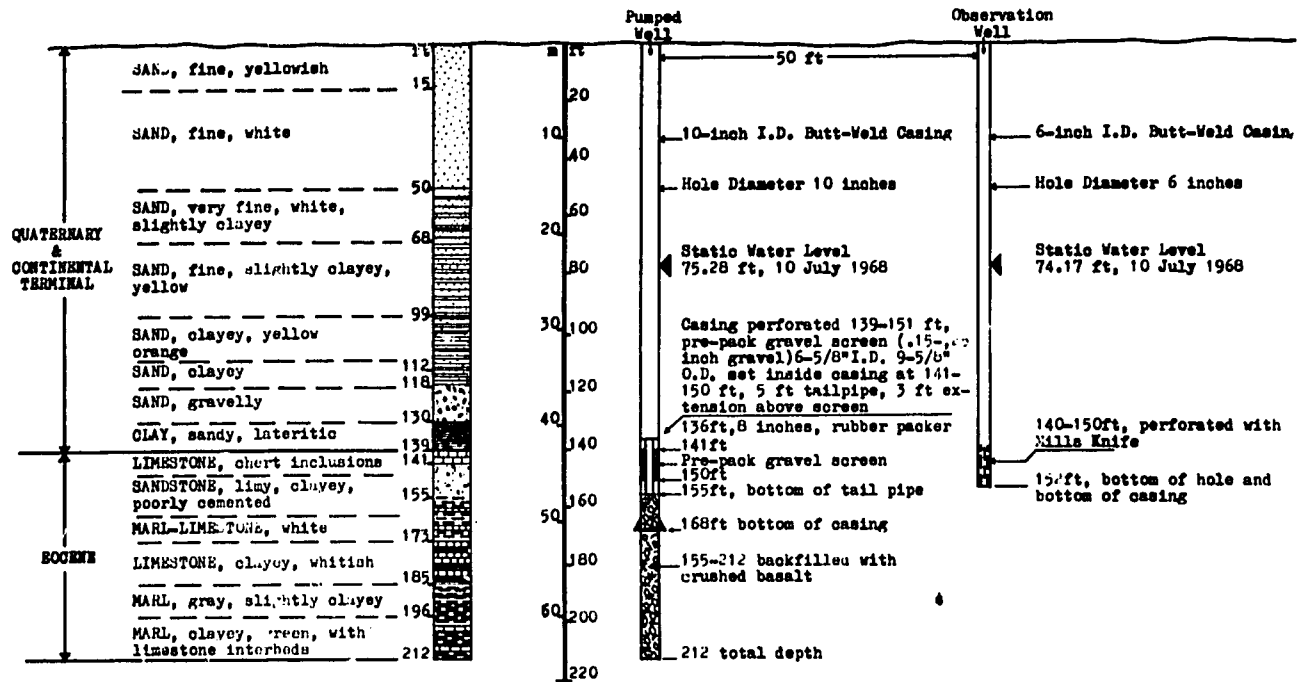
Specific Capacity Curve  
Courbe de Capacité Spécifique



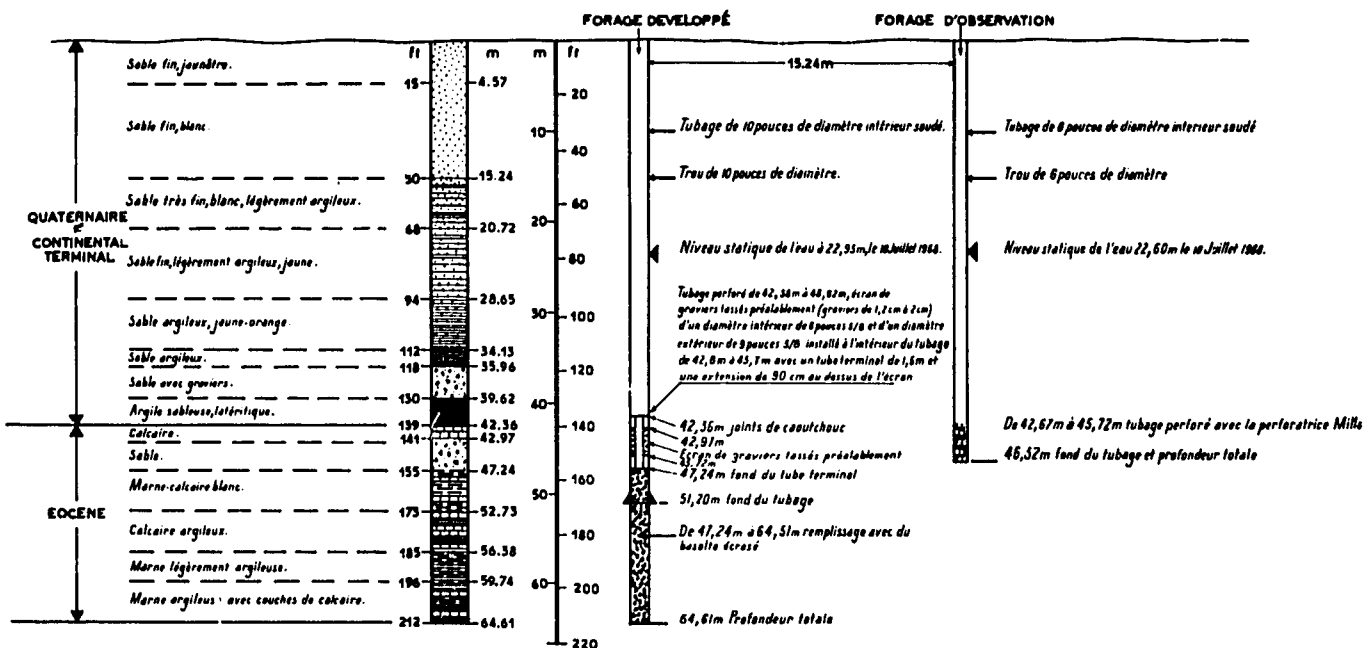
Residual Drawdown Curve  
Rabattement Résiduel Courbe

M'houane WATER WELL NO. 1 AND M'houane OBSERVATION WELL NO. 1  
FORAGE DE M'houane NO. 1 ET FORAGE D'OBSERVATION NO. 1

Well Index  
Nos. 9 & 10



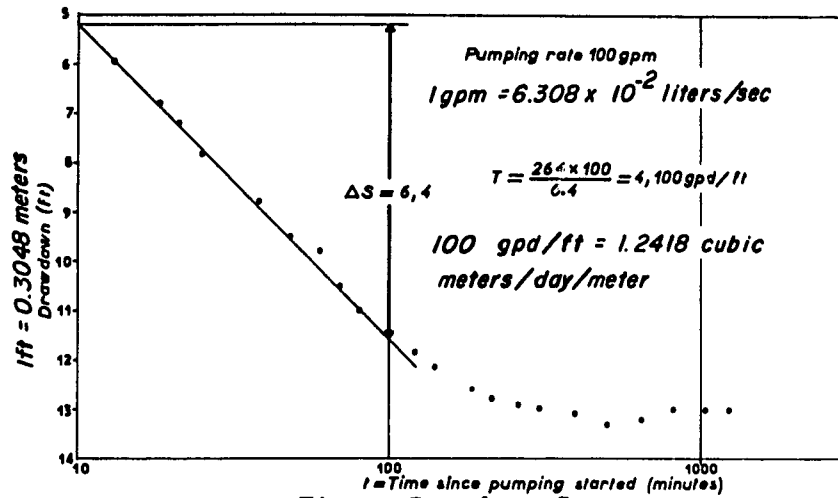
Geologic Log and Construction Diagram



Coupe Géologique et Schéma de Construction

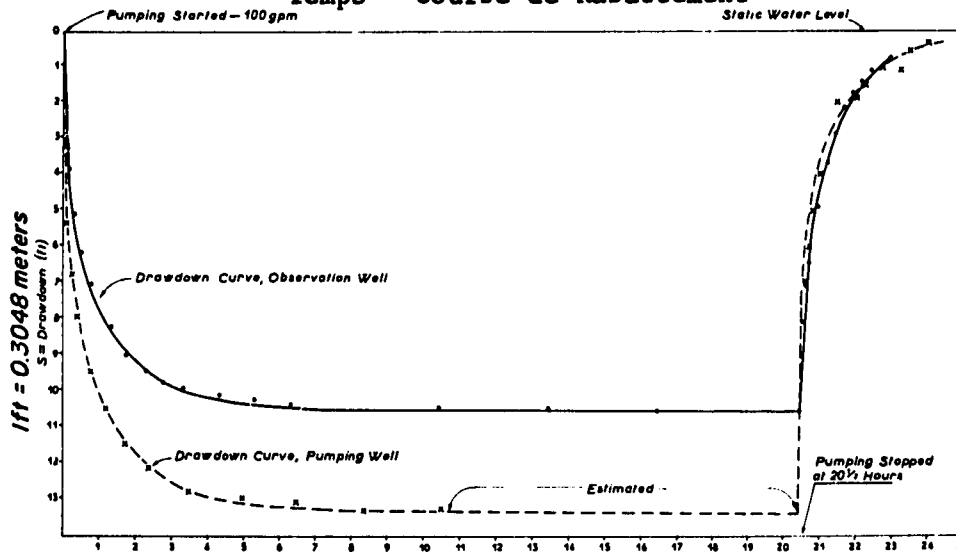
MEOUANE WATER WELL NO. 1 AND MEOUANE OBSERVATION WELL NO. 1  
 FORAGE DE MEOUANE NO. 1 ET FORAGE D'OBSERVATION NO. 1

Well Index  
 Nos. 9 & 10

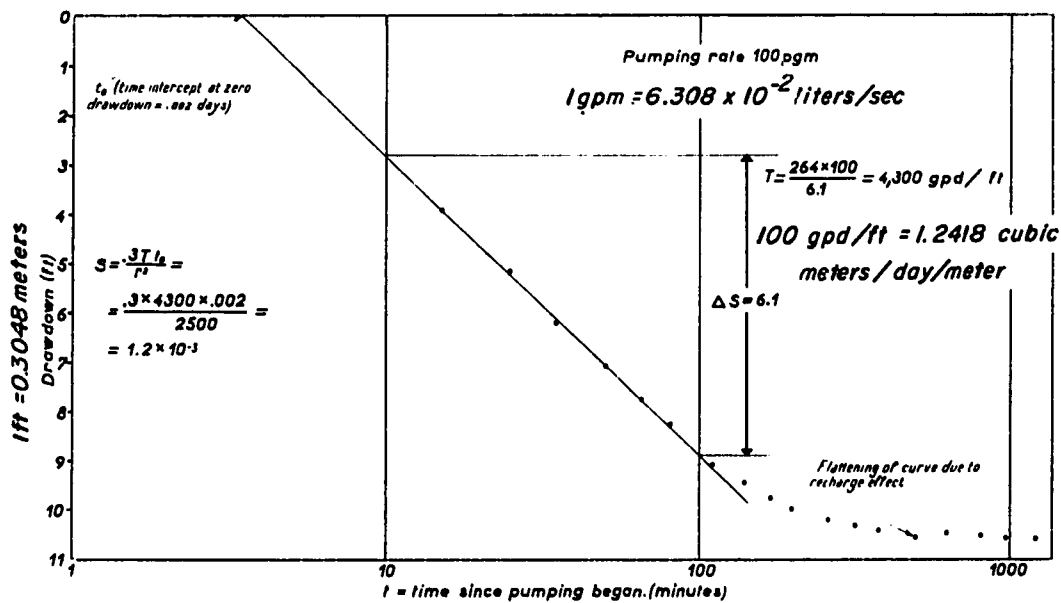


Time - Drawdown Curve

Temps - Courbe de Rabattement



Drawdown and Recovery Curves  
Courbes de Rabattement et de Remontée

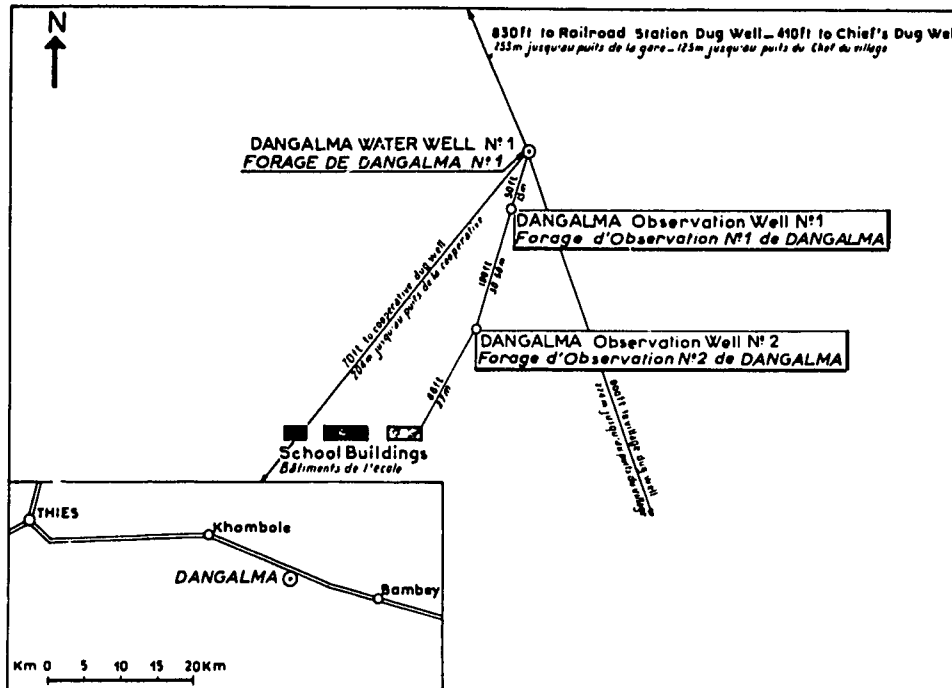


Time - Drawdown Curve

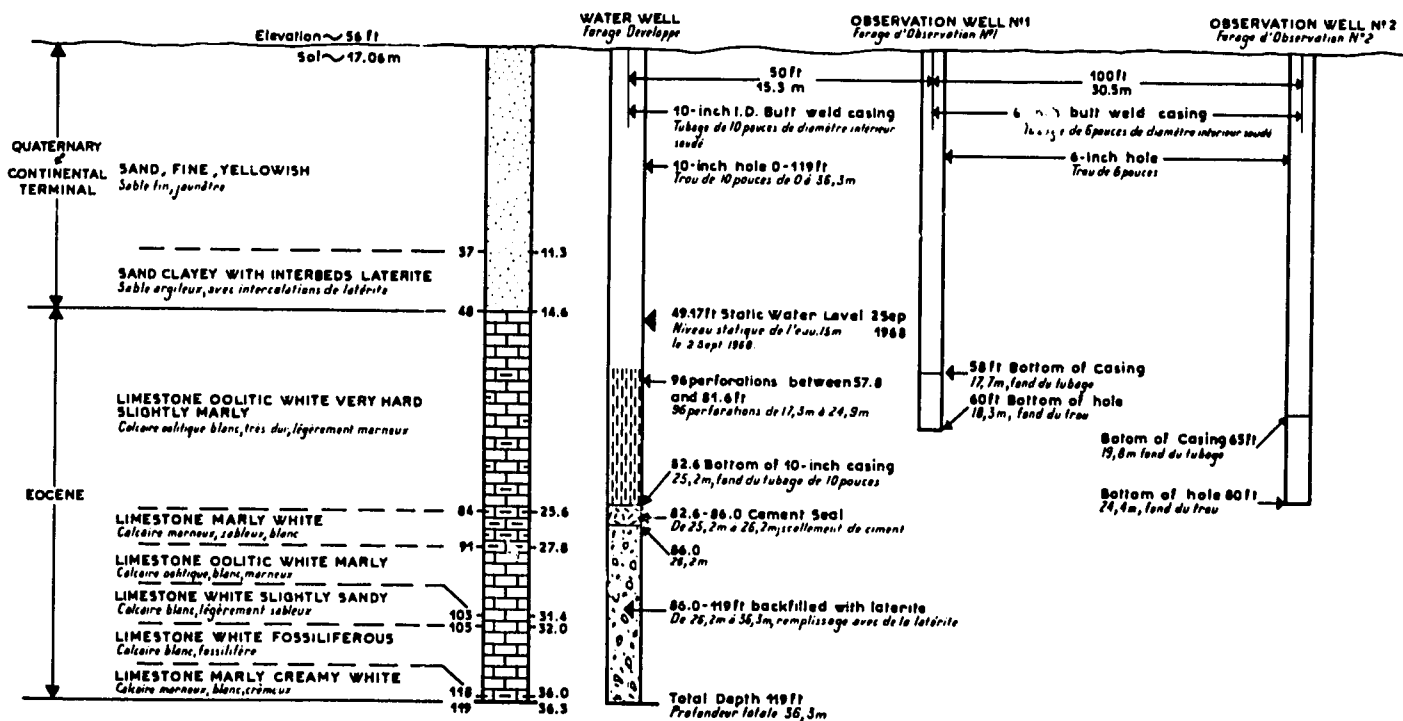
Temps - Courbe de Rabattement

MEOUANE WATER WELL NO. 1 AND MEOUANE OBSERVATION WELL NO. 1  
FORAGE DE MEOUANE NO. 1 ET FORAGE D'OBSERVATION NO. 1

Well Index  
Nos. 9 & 10



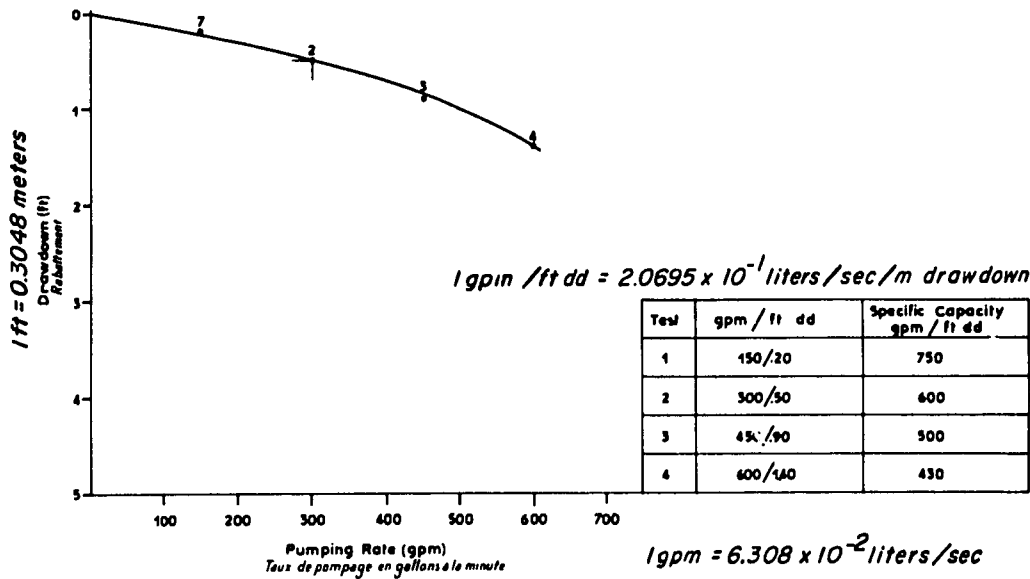
Sketch of Well Locations  
Croquis de localisation des Forages



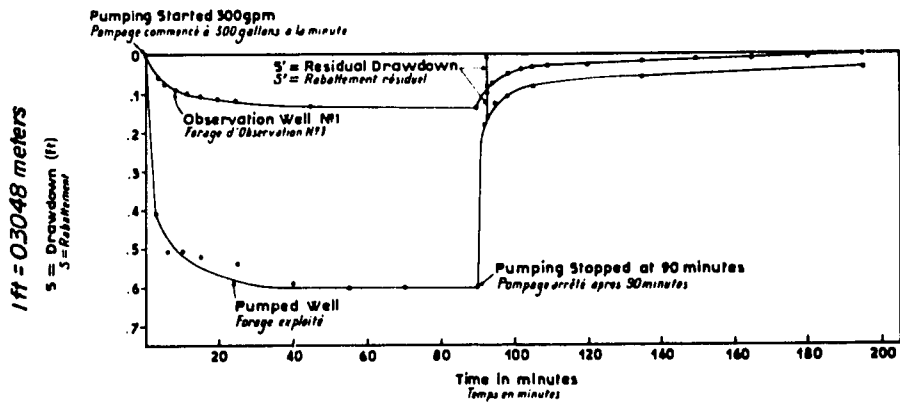
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

DANGALMA WATER WELL NO. 1 AND OBSERVATION WELLS NOS. 1 & 2  
FORAGE DE DANGALMA NO. 1 ET FORAGES D'OBSERVATION NOS. 1 & 2

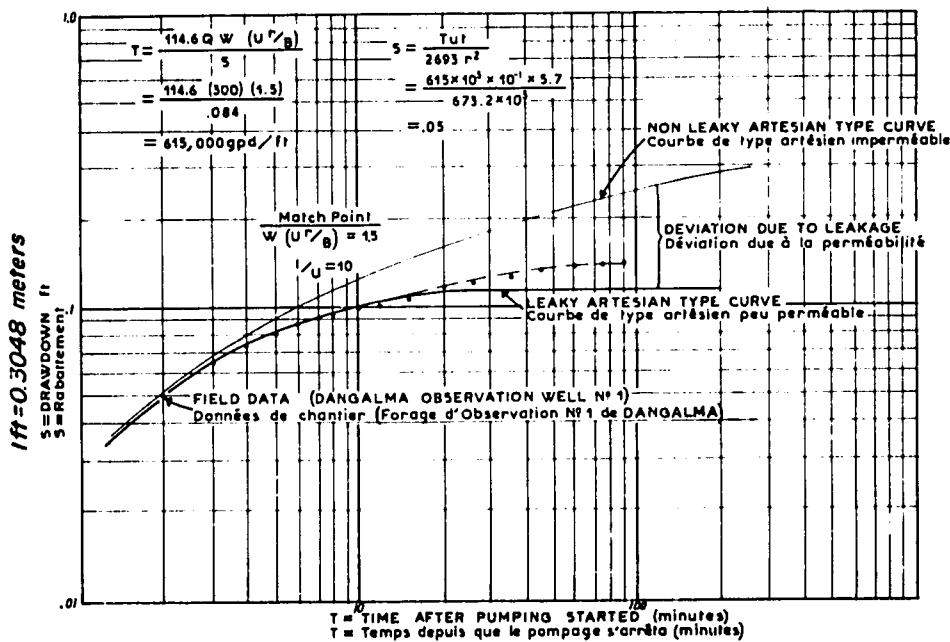
Well Index Nos. 11, 12 & 13



Specific Capacity Curve Courbe de Capacité Spécifique

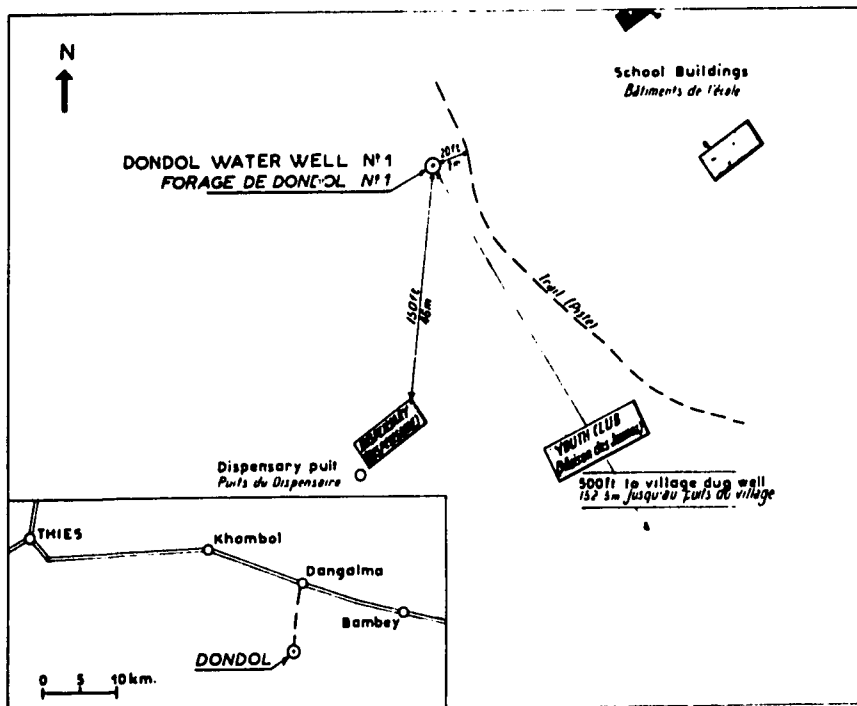


Drawdown-Recovery Curves Courbes de Rabattement et de Recharge

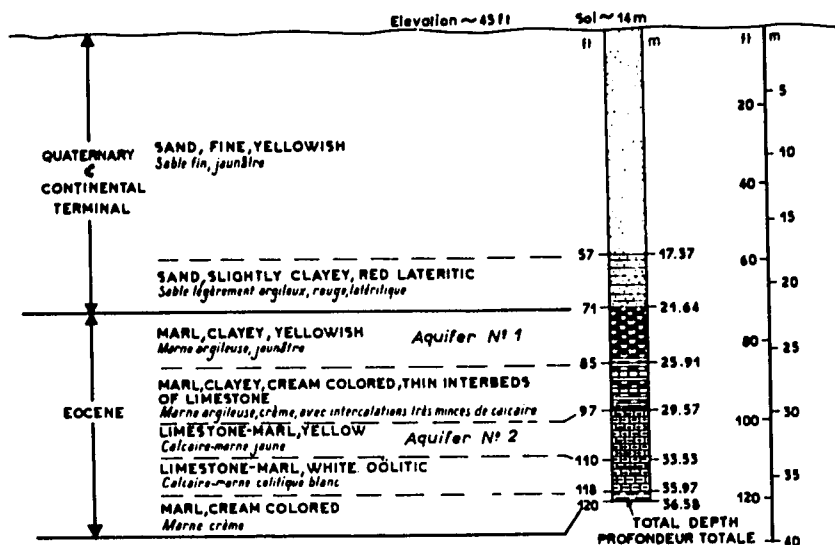


Time - Drawdown Graph Graphique du Temps de Descente

DANGALMA WATER WELL NO. 1 AND OBSERVATION WELL NO. 1  
FORAGE DE DANGALMA NO. 1 ET FORAGE D'OBSERVATION NO. 1



Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage

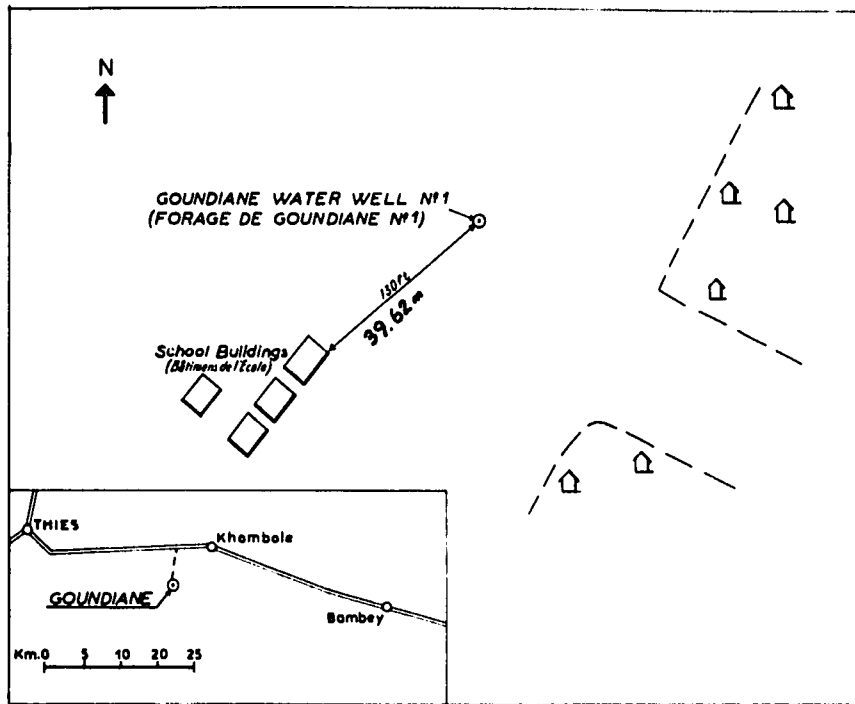


Geologic Log  
Coupe Géologique

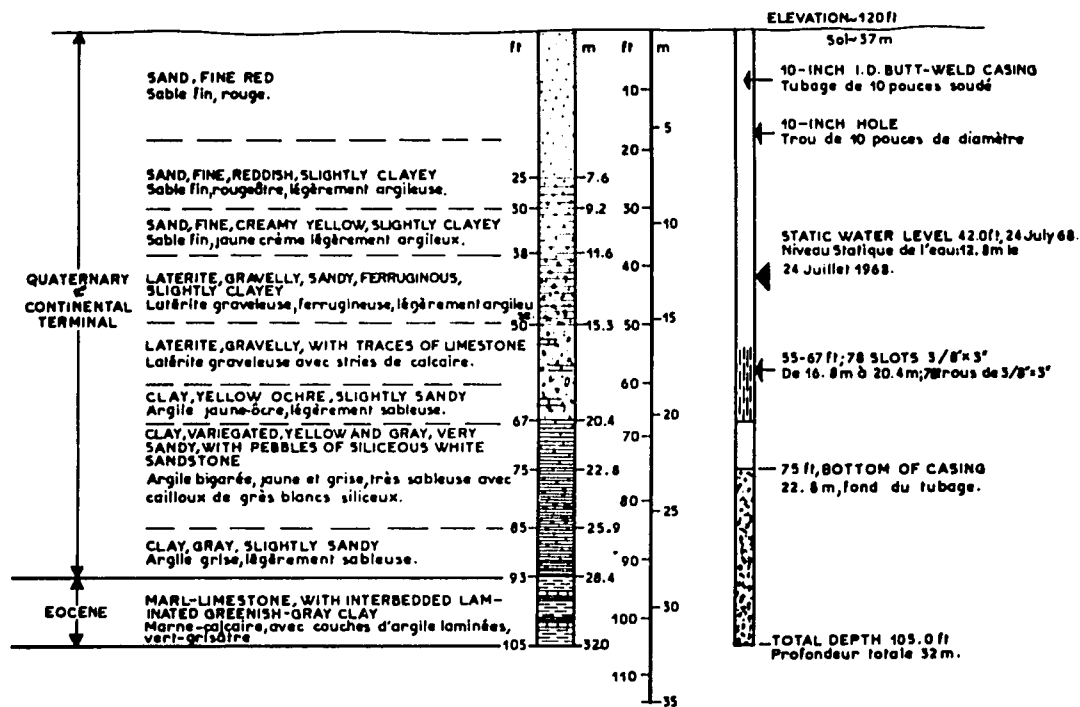
DONDOL WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE DONDOL NO. 1

Well Index No. 14





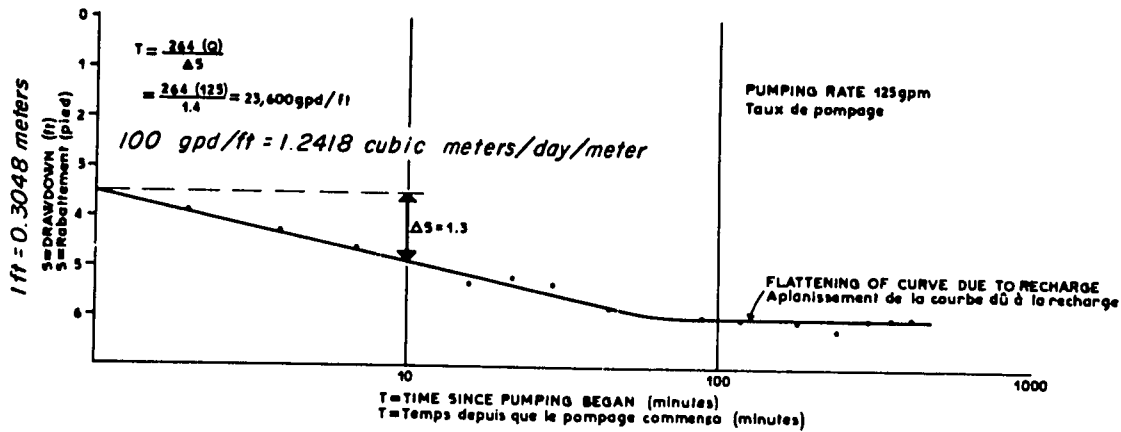
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



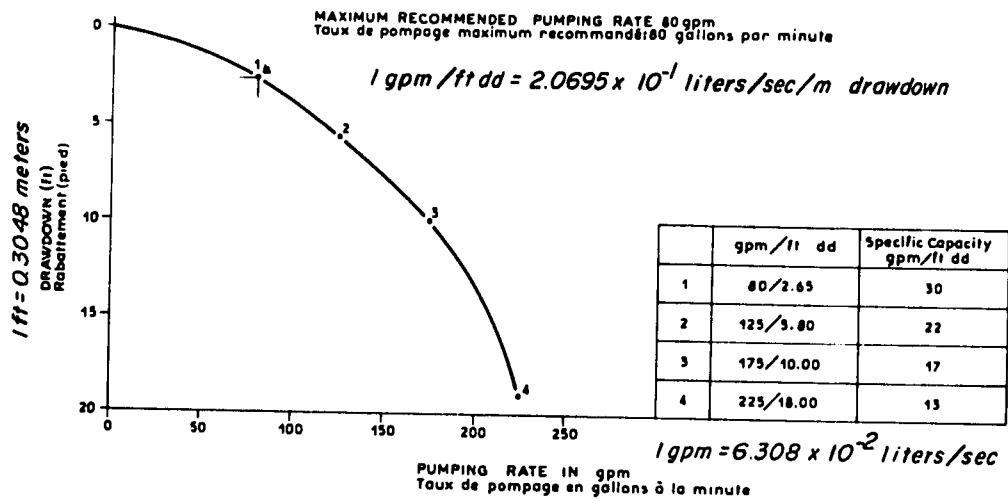
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

GOUNDIANE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE GOUNDIANE NO. 1

Well Index No. 15



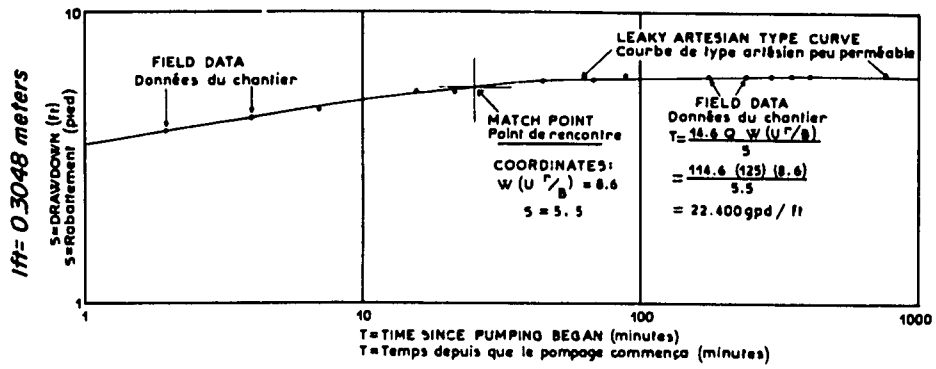
Time - Drawdown Curve  
 Courbe de Temps de Rabattement  
 (Modified Non-Artesian Formula)



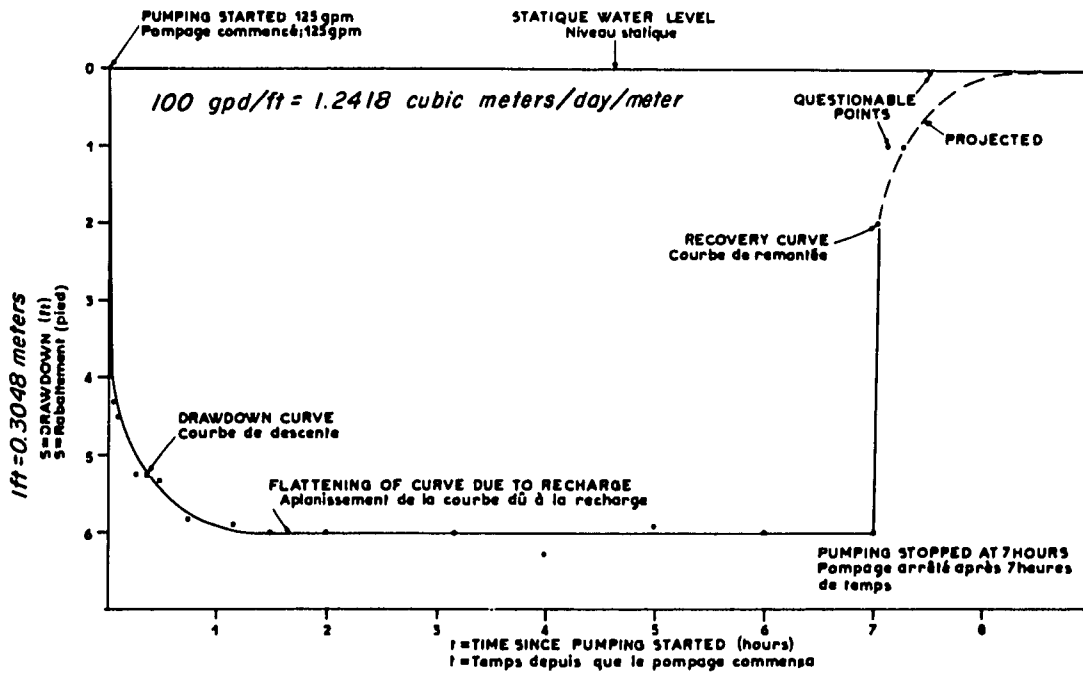
Specific Capacity Curve  
 Courbe de Capacité Spécifique

GOUNDIANE WATER WELL NO. 1  
 FORAGE DE GOUNDIANE NO. 1

Well Index No. 15



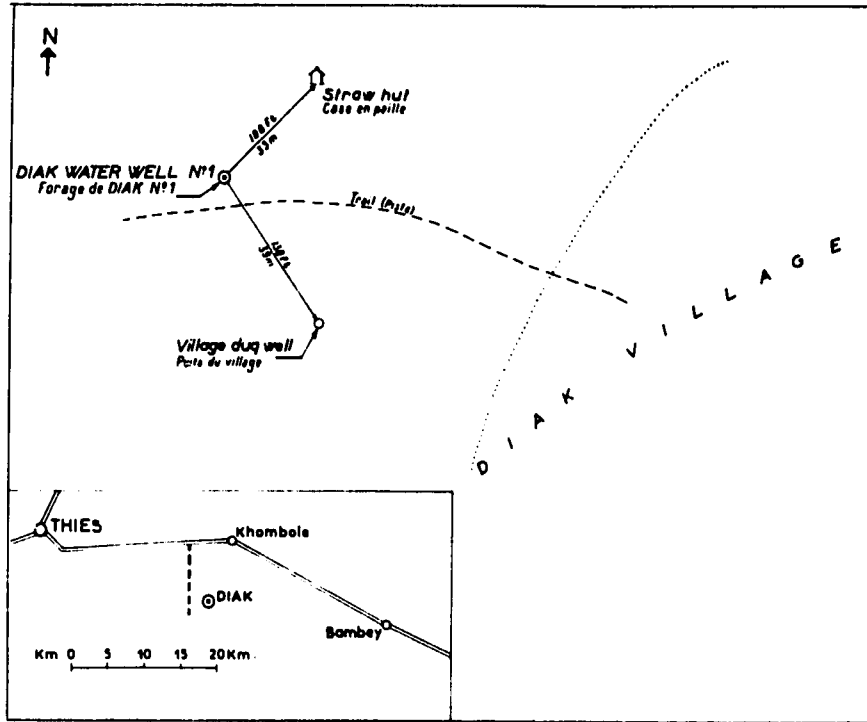
**Time Drawdown Curve**  
**Courbe de Temps de Rabattement**  
**Leaky Artesian Type Curve Method**



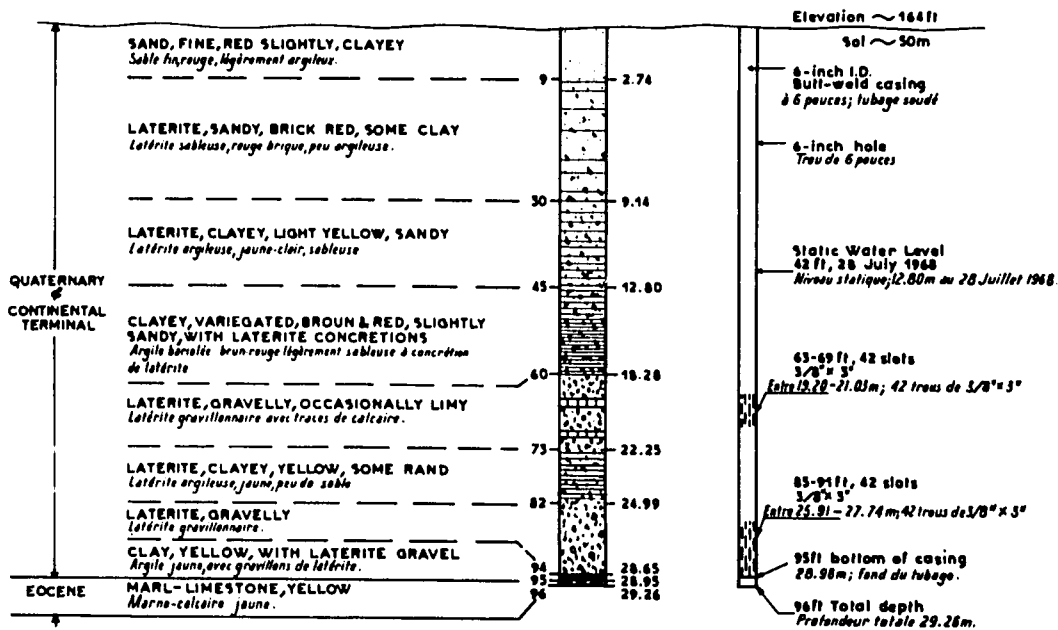
**Drawdown and Recovery Curves**  
**Courbes de Descente et de Remontée**

GOUNDIANE WATER WELL NO. 1  
 FORAGE DE GOUNDIANE NO. 1

Well Index No. 15



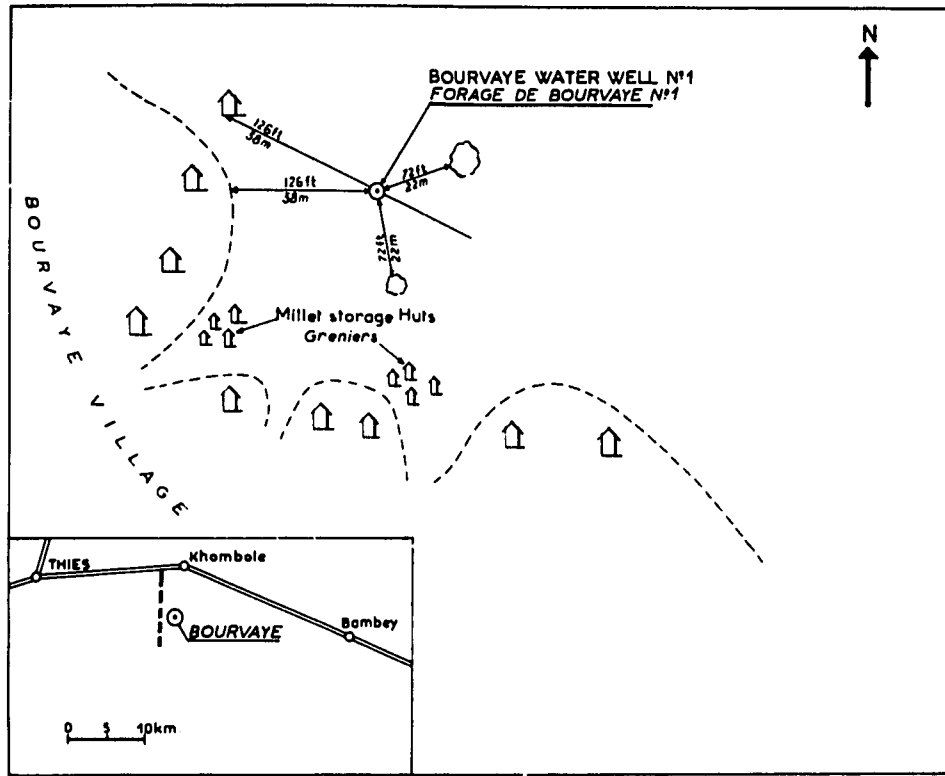
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



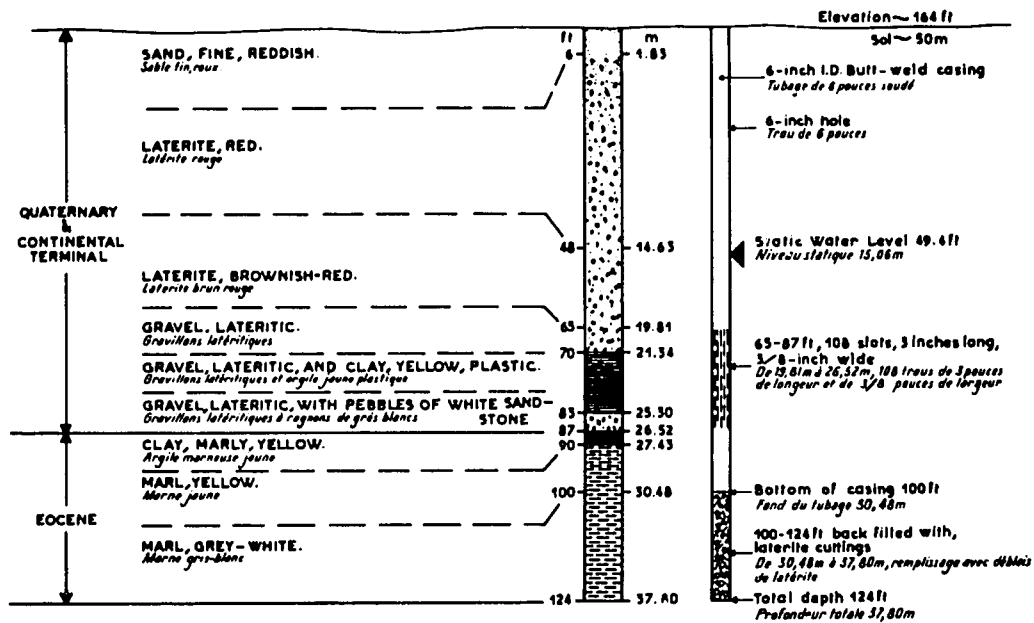
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

DIAK WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE DIAK NO. 1

Well Index No. 16



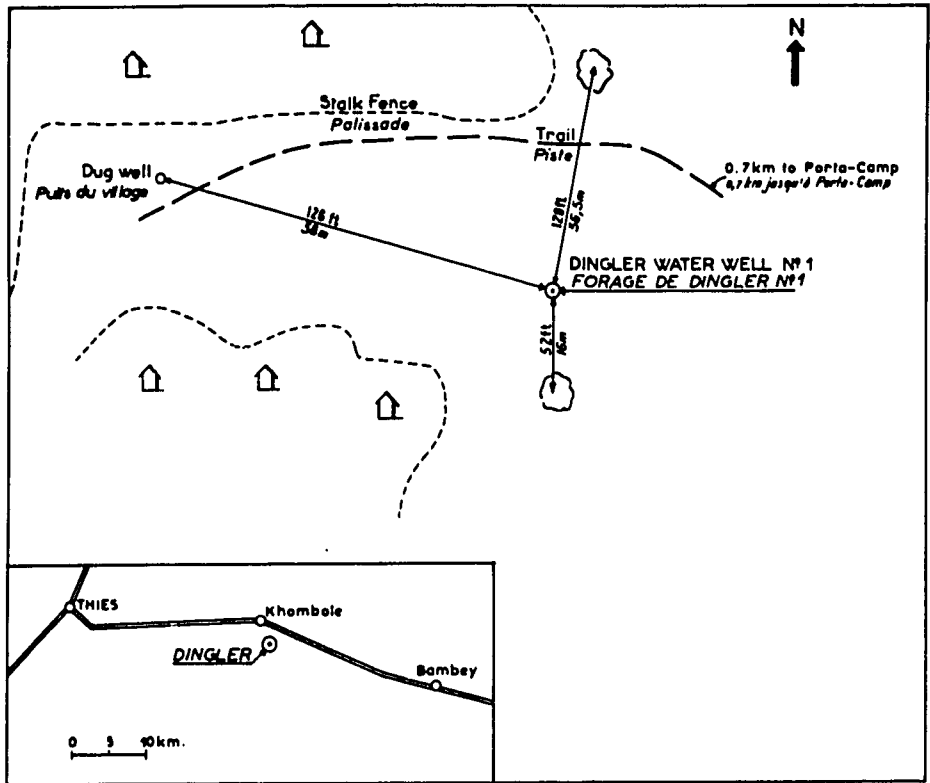
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



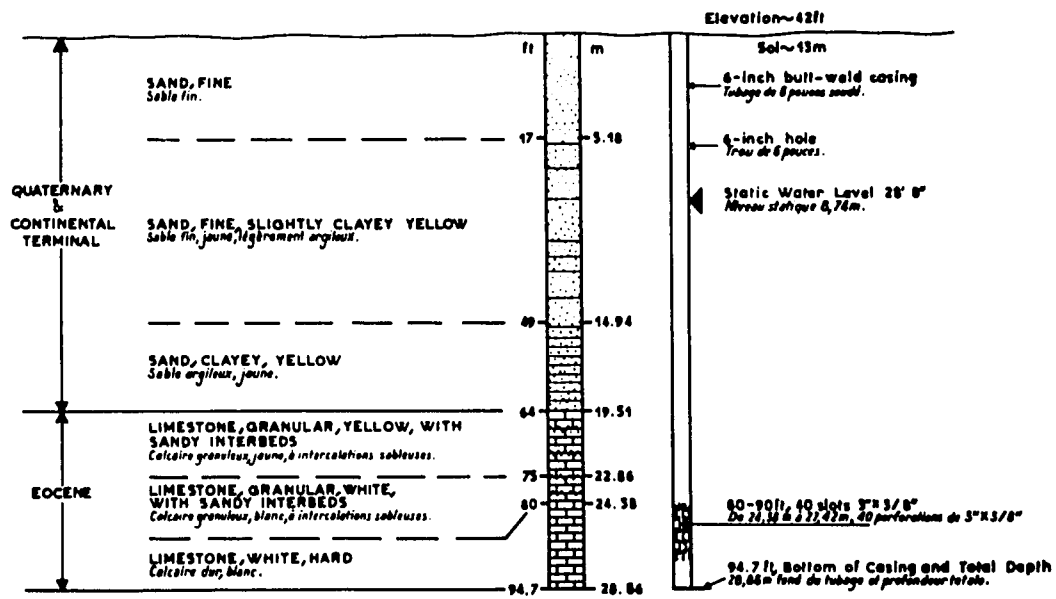
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

BOURVAYE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE BOURVAYE NO. 1

Well Index No. 17



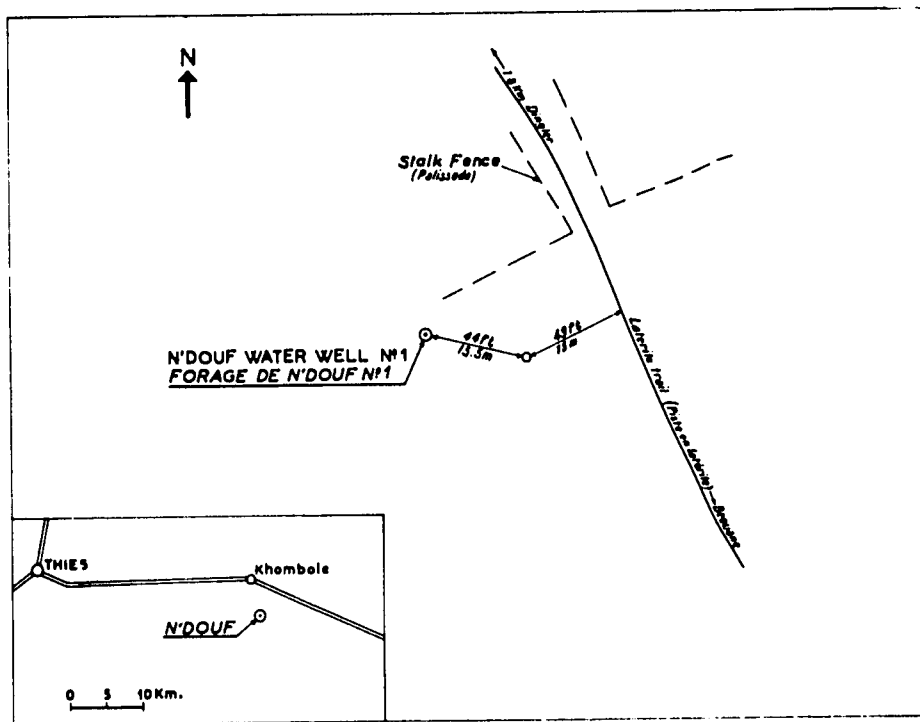
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



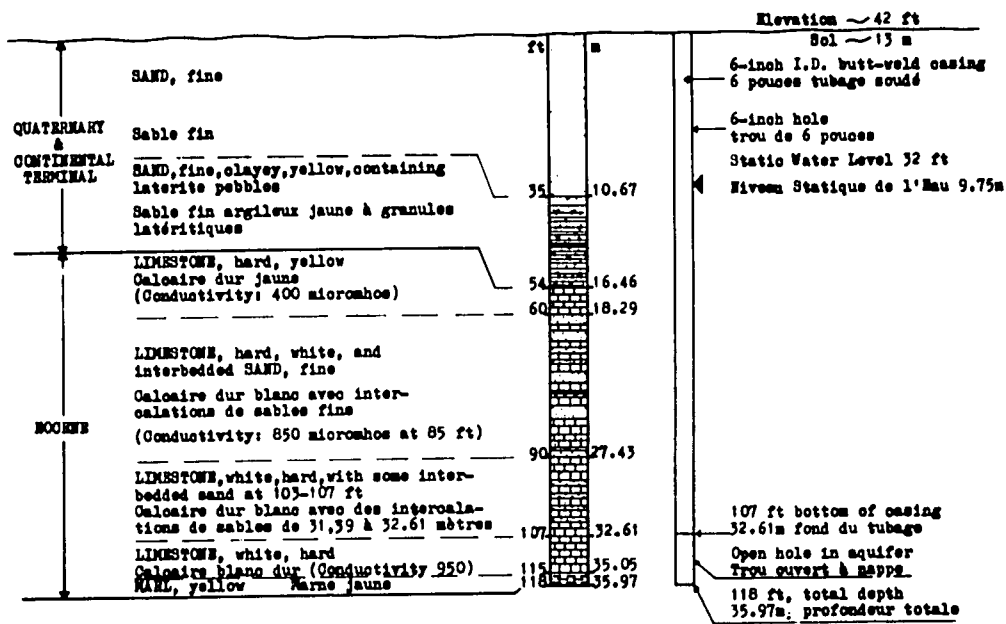
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

DINGLER WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE DINGLER NO. 1

Well Index No. 18



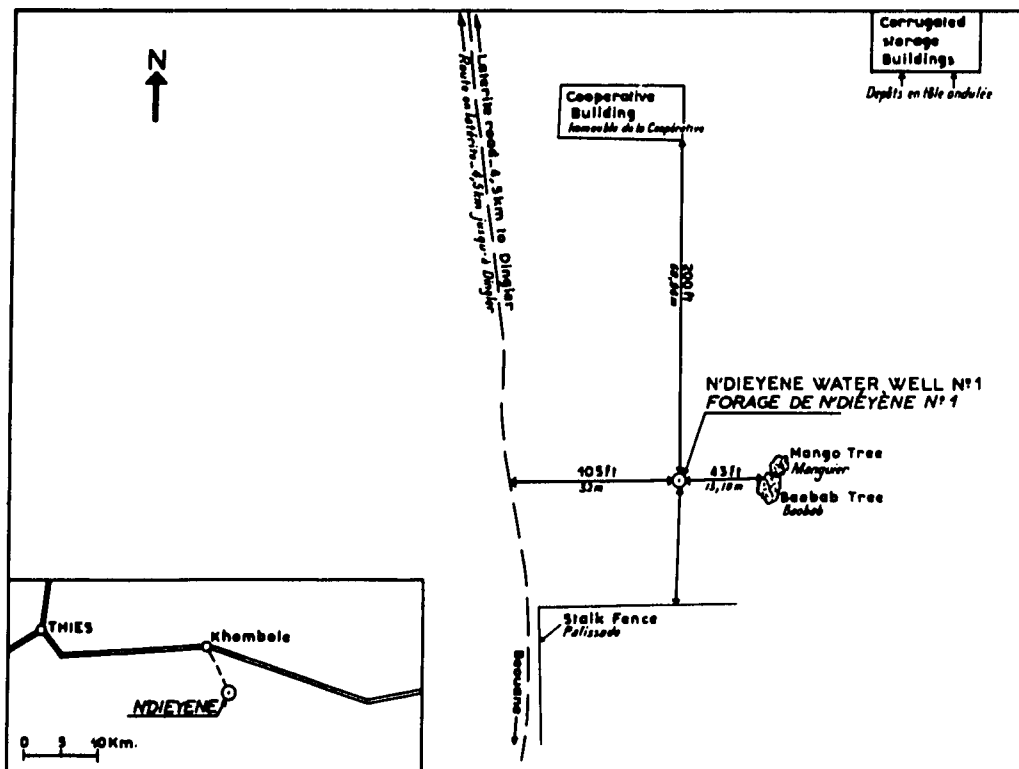
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



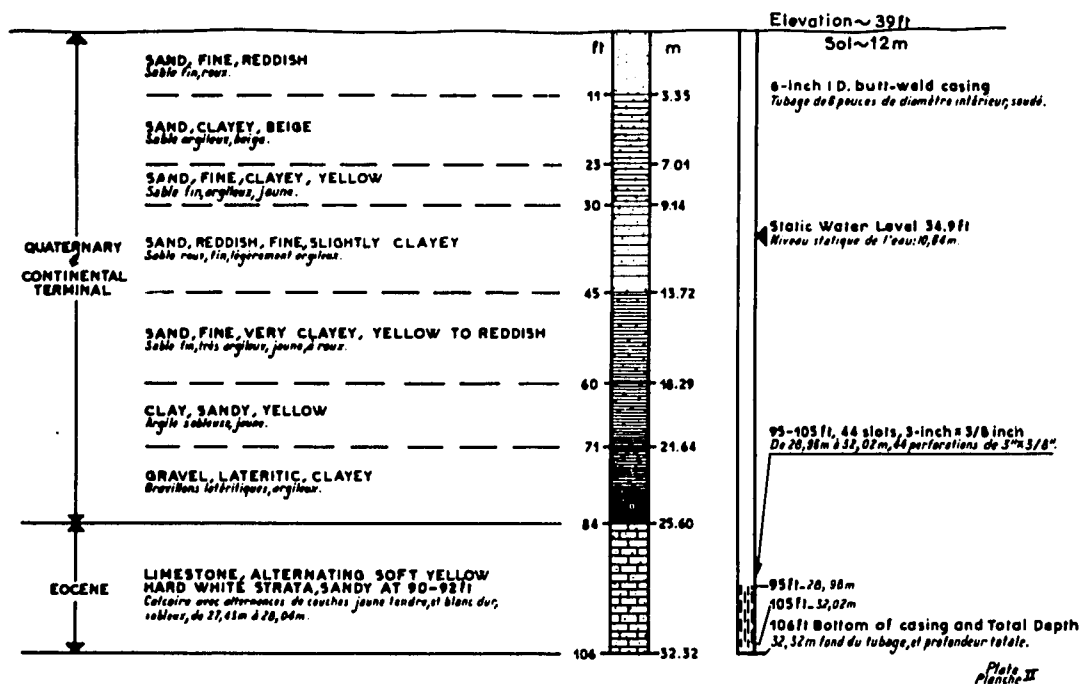
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

N DOUF WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE N DOUF NO. 1

Well Index No. 19



Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage

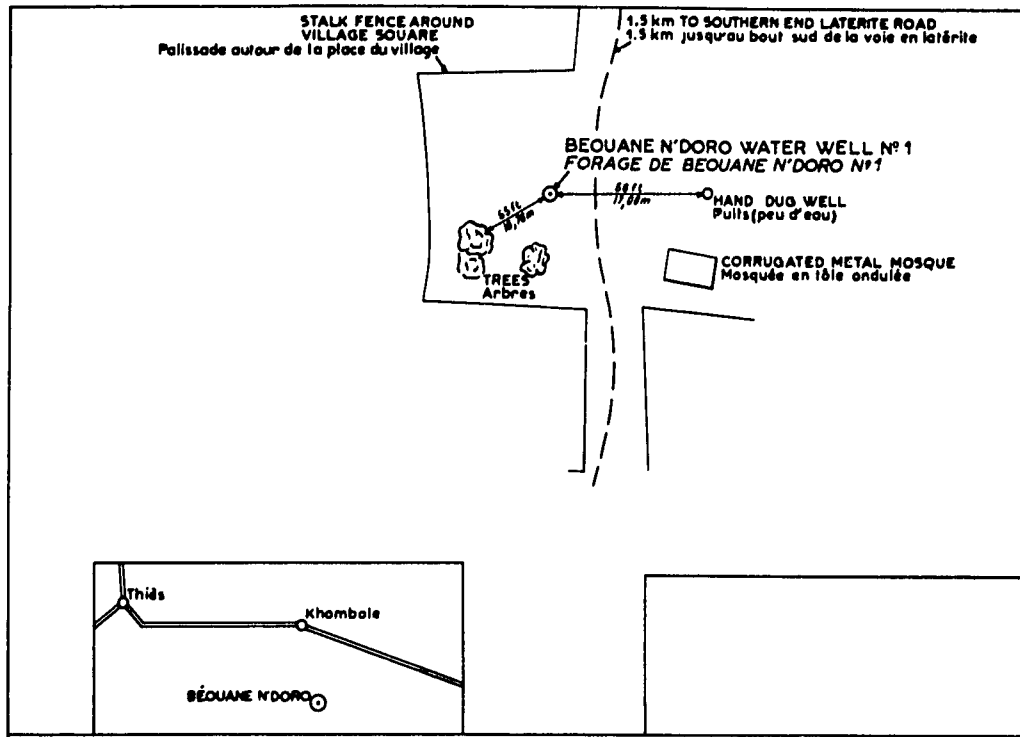


Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

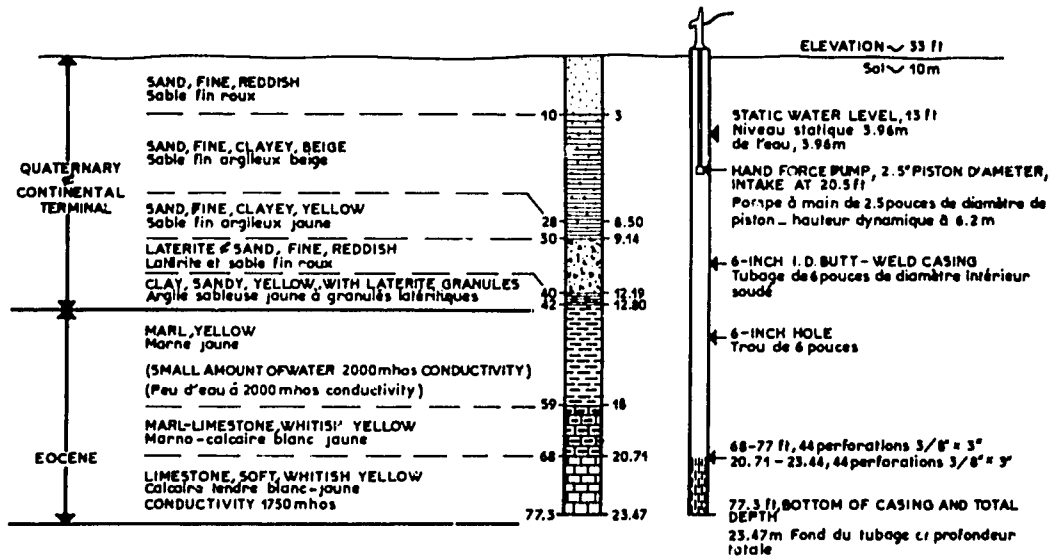
N'DIEYENE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE N'DIÉYÈNE NO. 1

Well Index No. 20





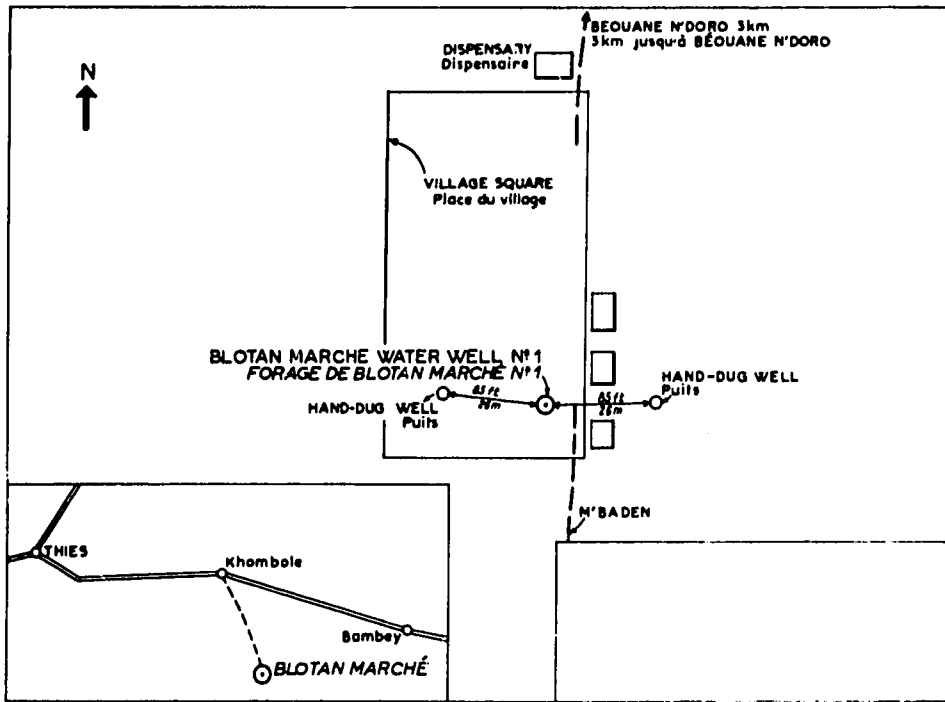
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



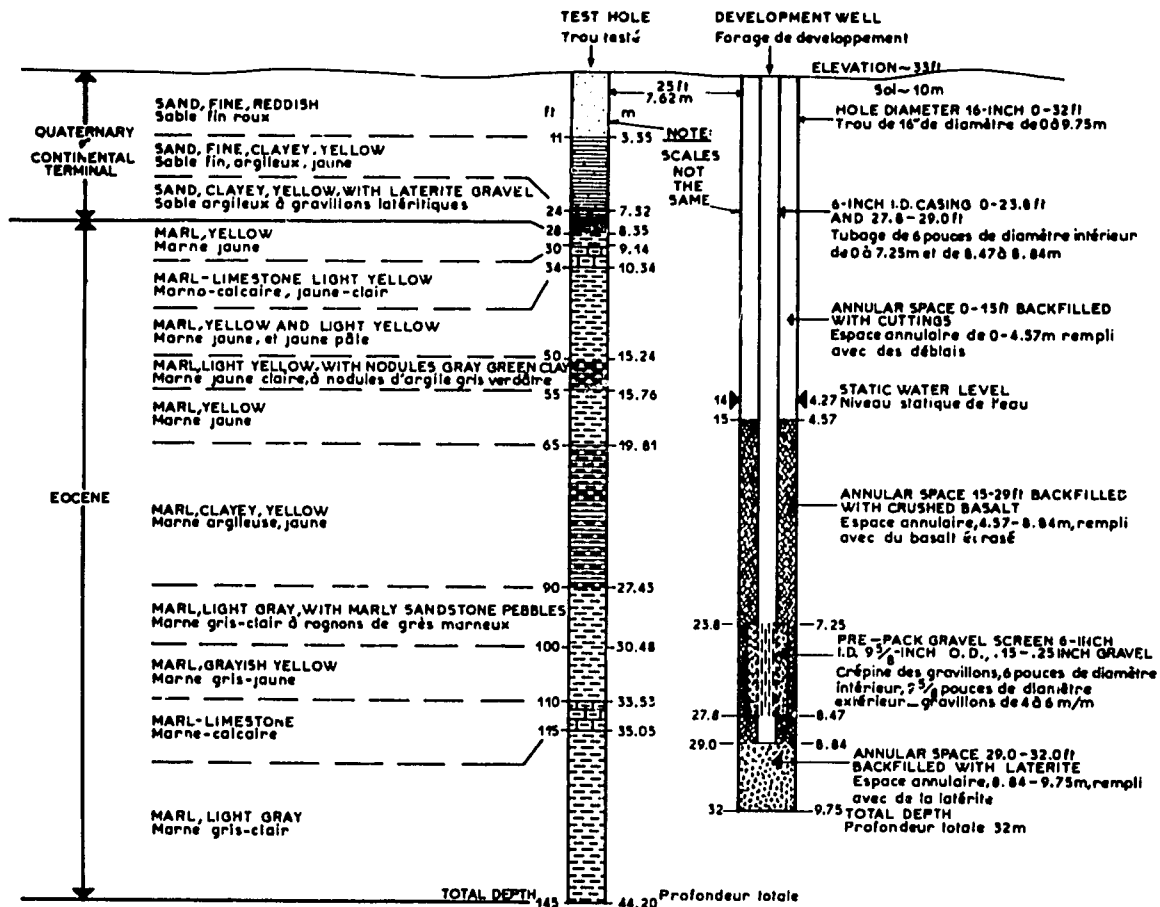
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

BEOUANE N'DORO WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE BEOUANE N'DORO NO. 1

Well Index No. 21



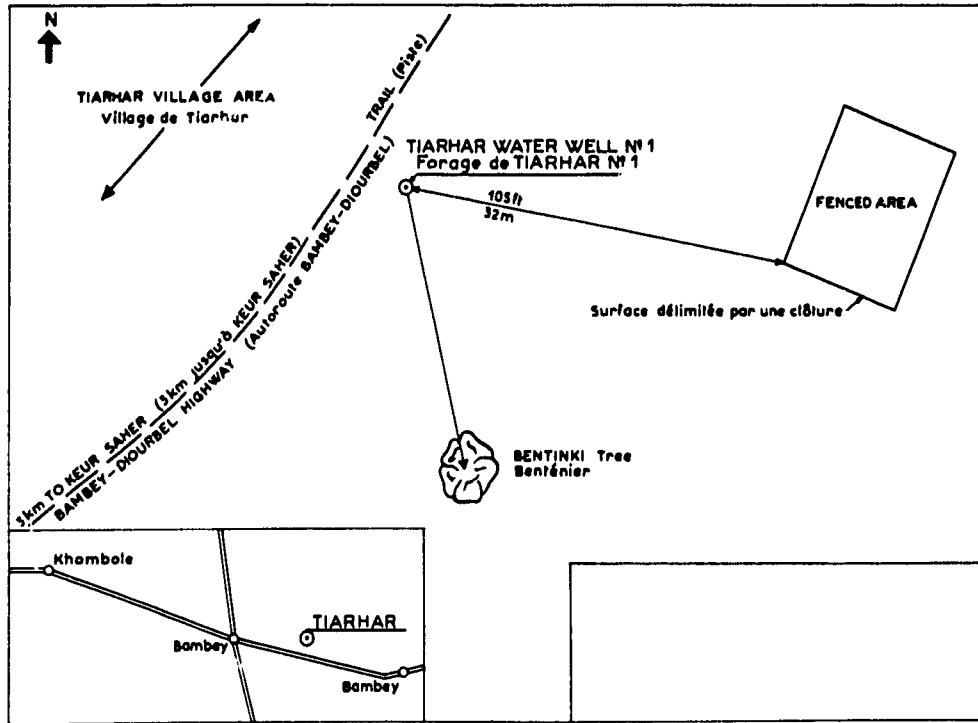
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



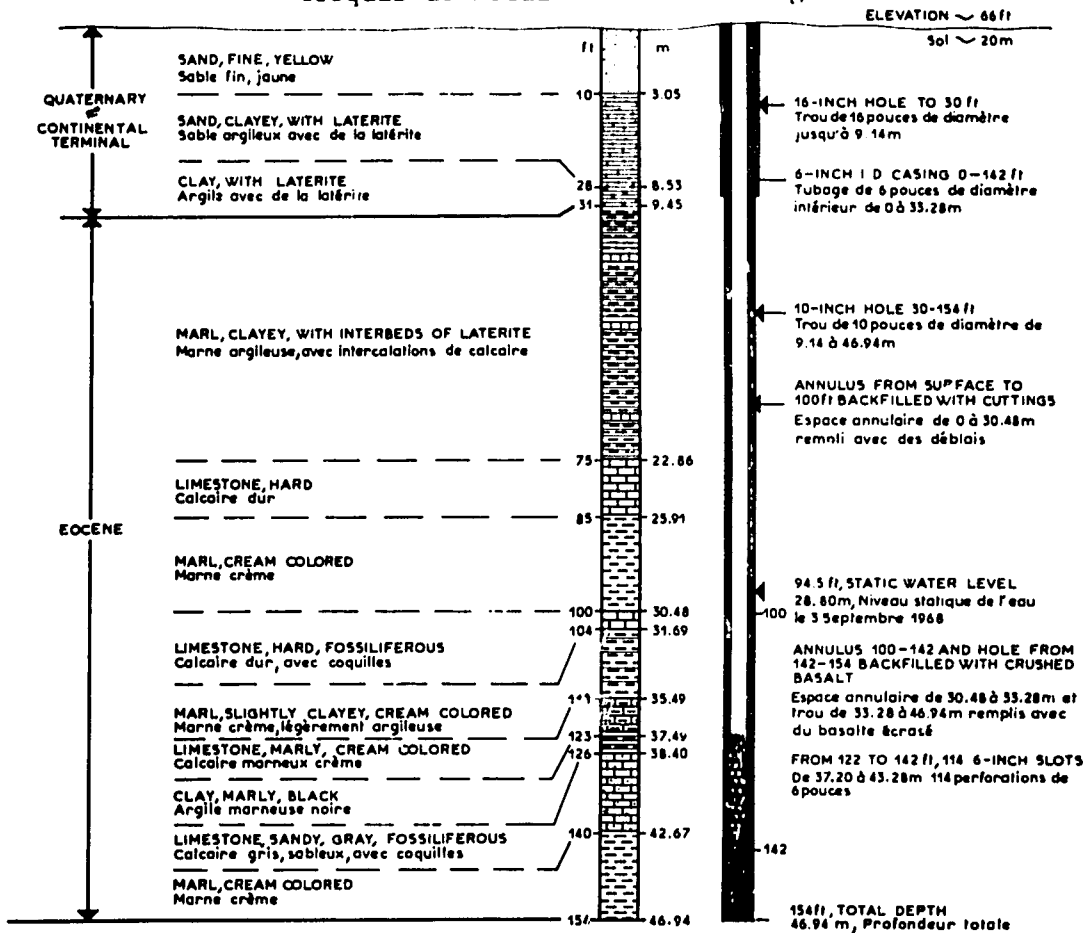
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

BLOTAN MARCHÉ WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE BLOTAN MARCHÉ NO. 1

Well Index No. 22



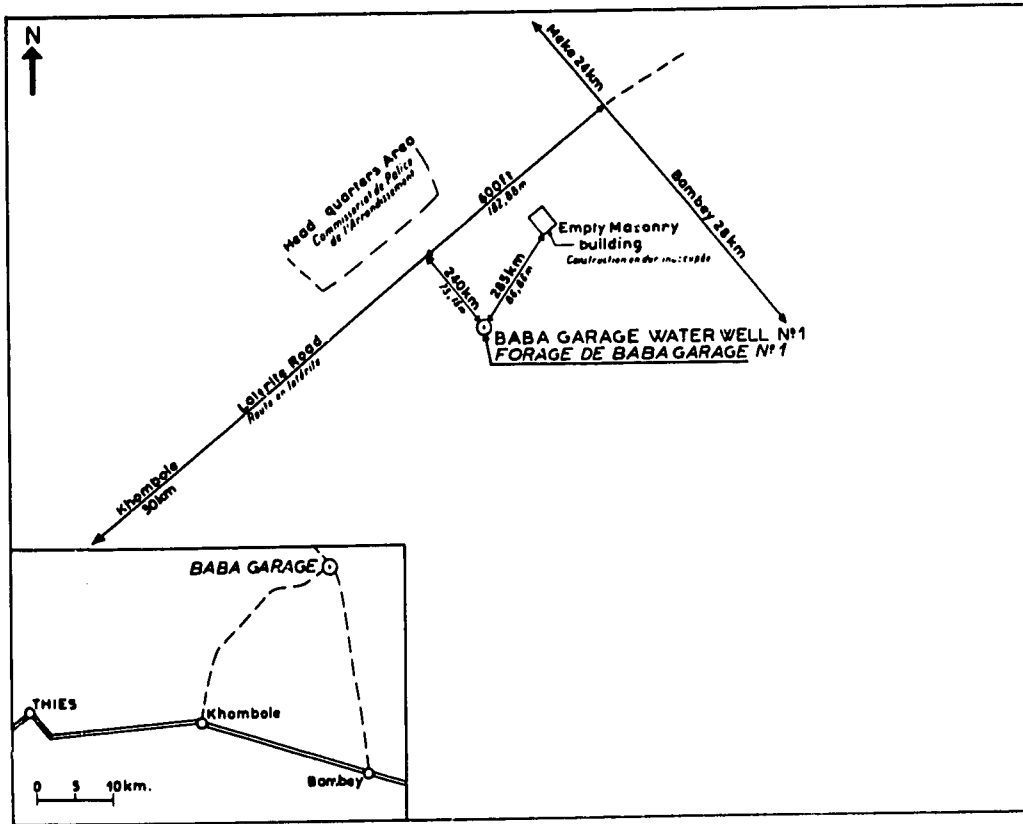
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



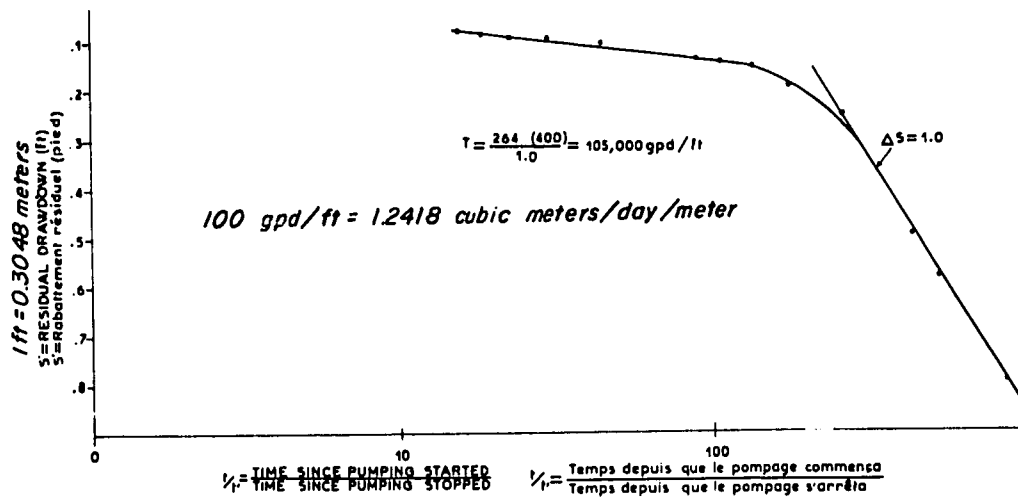
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

TIARHAR WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE TIARHAR NO. 1

Well Index No. 23

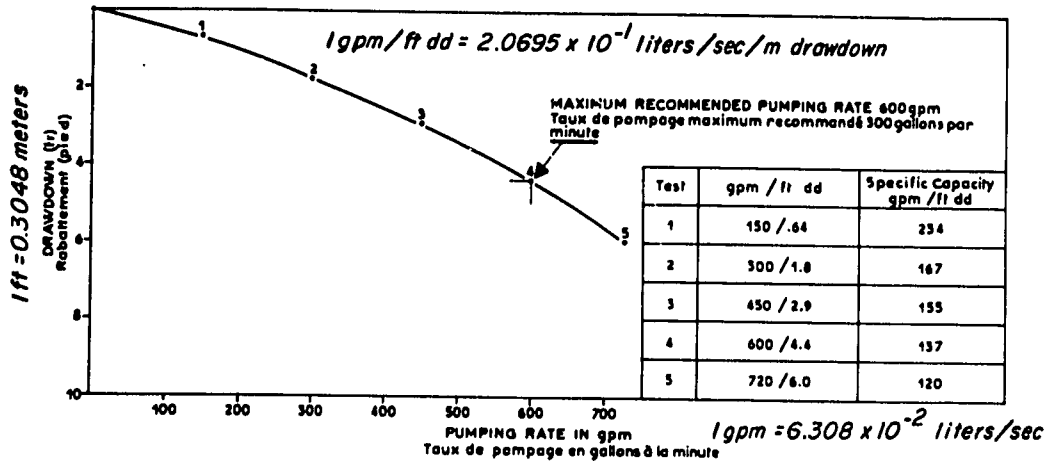


Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage

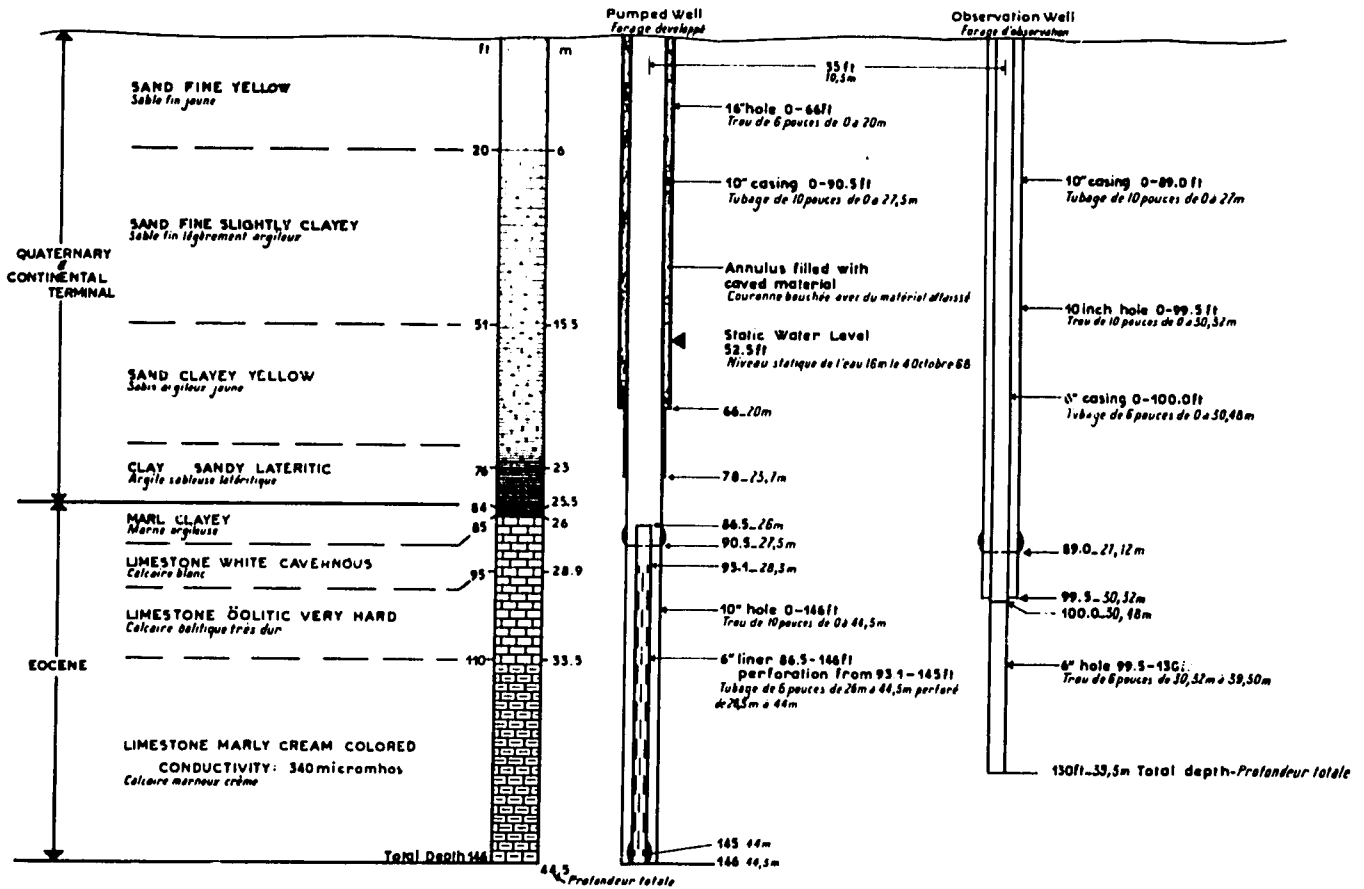


Residual Drawdown  
 Rabattement Résiduel  
 400 gpm PUMP TEST  
 Essai de Pompage à 400 Gallons par Minute  
 $1 \text{ gpm} = 6.308 \times 10^{-2} \text{ liters/sec}$

BABA GARAGE OBSERVATION WELL NO. 1 Well Index Nos. 24 & 25  
 FORAGE D'OBSERVATION NO. 1 DE BABA GARAGE

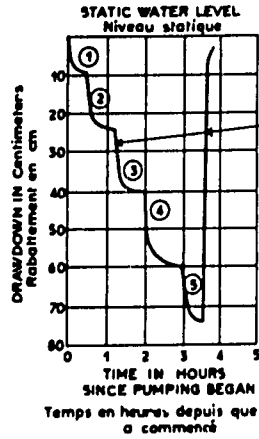


Specific Capacity Curve  
Courbe de Capacité Spécifique



Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

BABA GARAGE OBSERVATION WELL NO. 1 Well Index Nos. 24 & 25  
FORAGE D'OBSERVATION NO. 1 DE BABA GARAGE

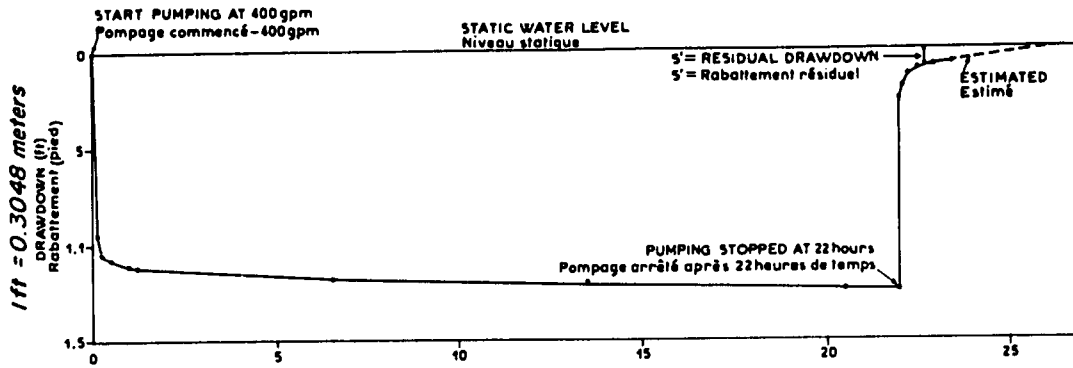


RECORDER TRACE OF WATER LEVEL IN OBSERVATION WELL DURING STEP TEST OF PUMPED WELL  
 Relevés du niveau de l'eau par enregistreur dans le forage d'observation lors du test graduel du forage pompé

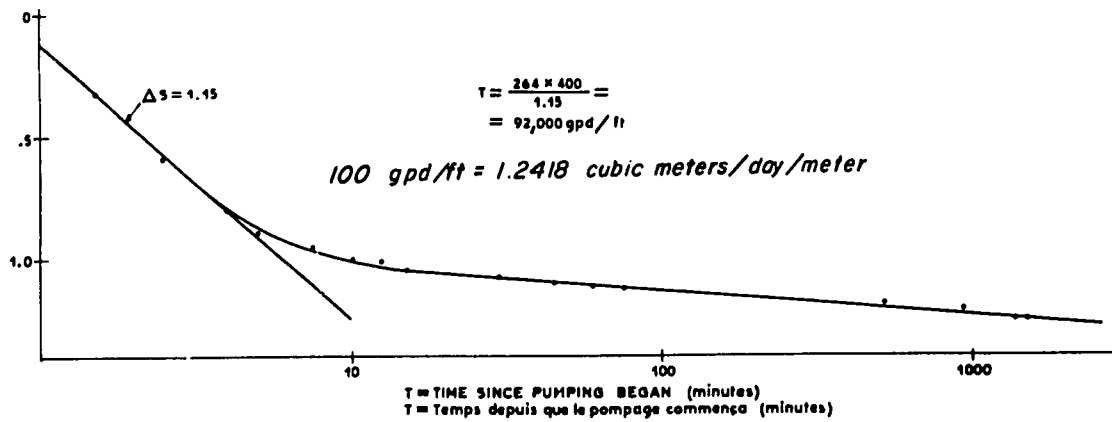
PUMPING RATE (gpm) Taux de pompage (gpm)	DRAWDOWN (Centimeters) Rabaitement (Centimètres)
1	150
2	300
3	450
4	600
5	720

$1 \text{ gpm} = 6.308 \times 10^{-2} \text{ liters/sec}$

Recorder Trace of Step-Test  
 Relevés du Niveau de l'Eau Lors du Test Graduel



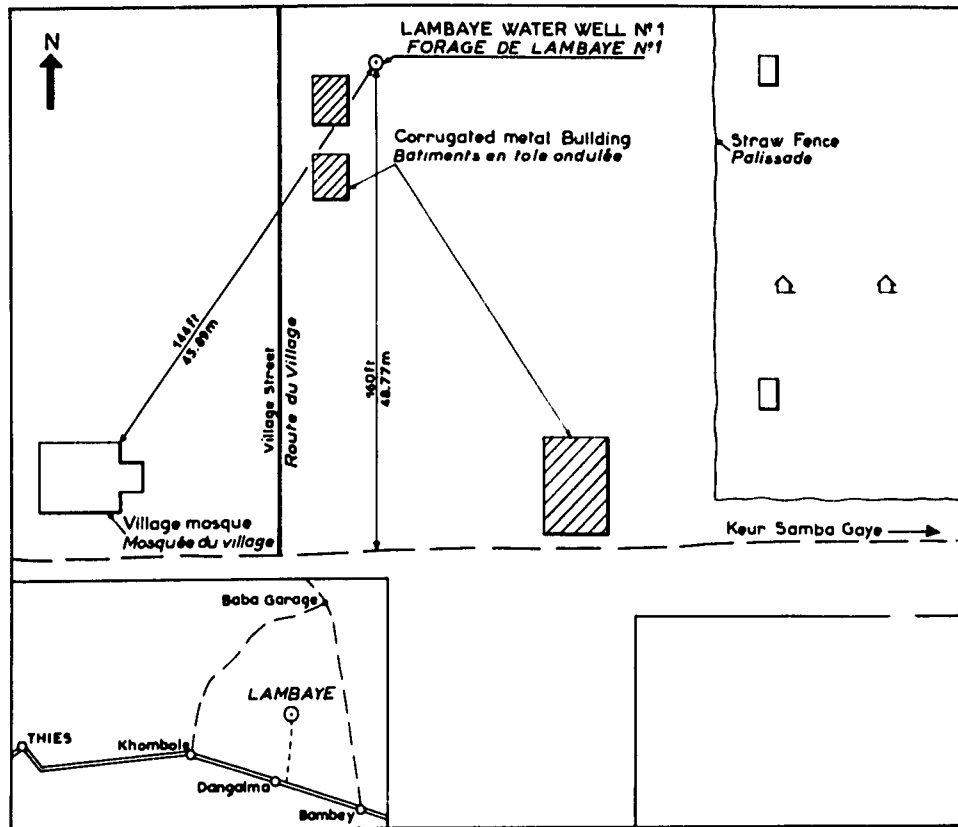
Drawdown and Recovery Curves  
 Courbes de Descente et de Remontée



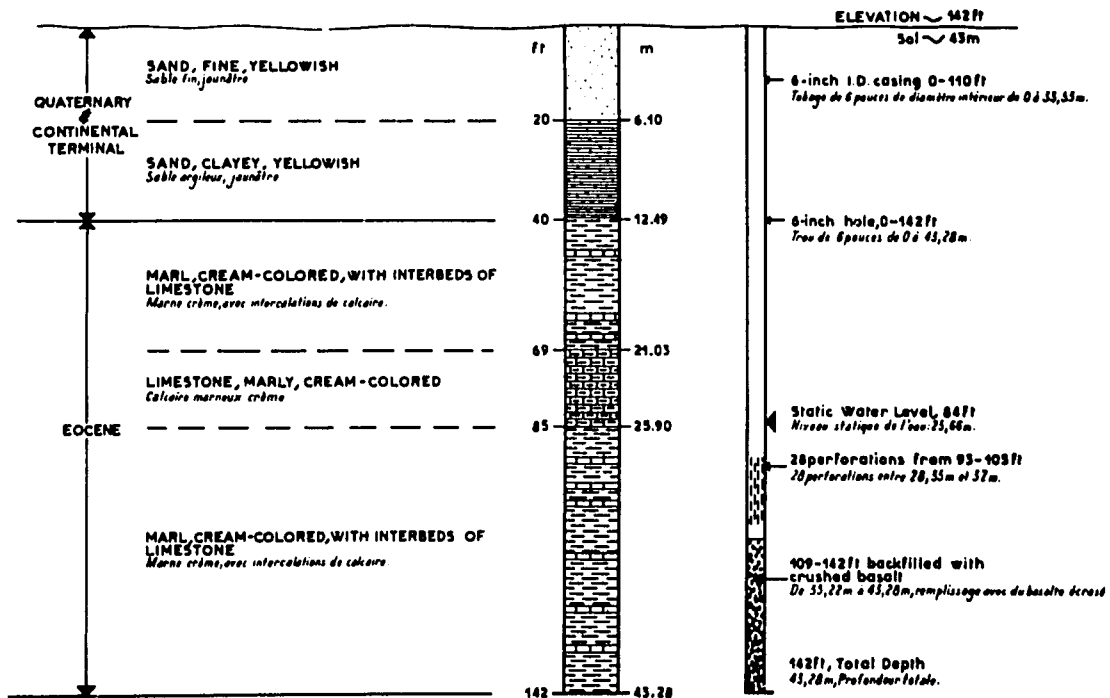
Time-Drawdown Curve  
 Courbe du Temps de Descente

BABA GARAGE OBSERVATION WELL NO. 1  
 FORAGE D'OBSERVATION NO. 1 DE BABA GARAGE

Well Index  
 Nos. 24 & 25



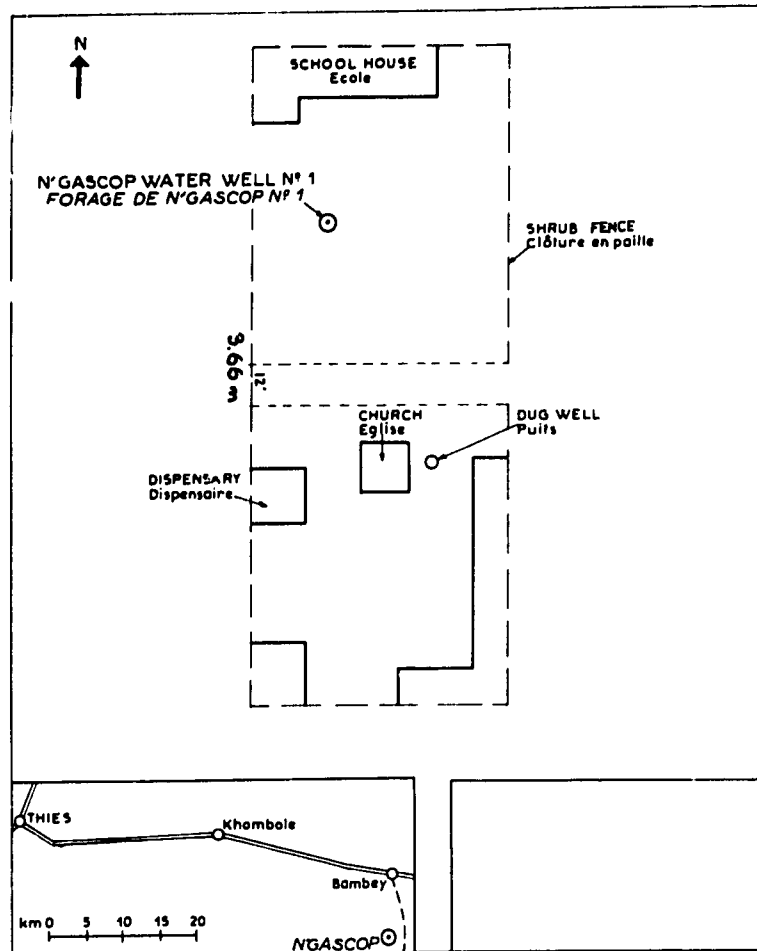
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



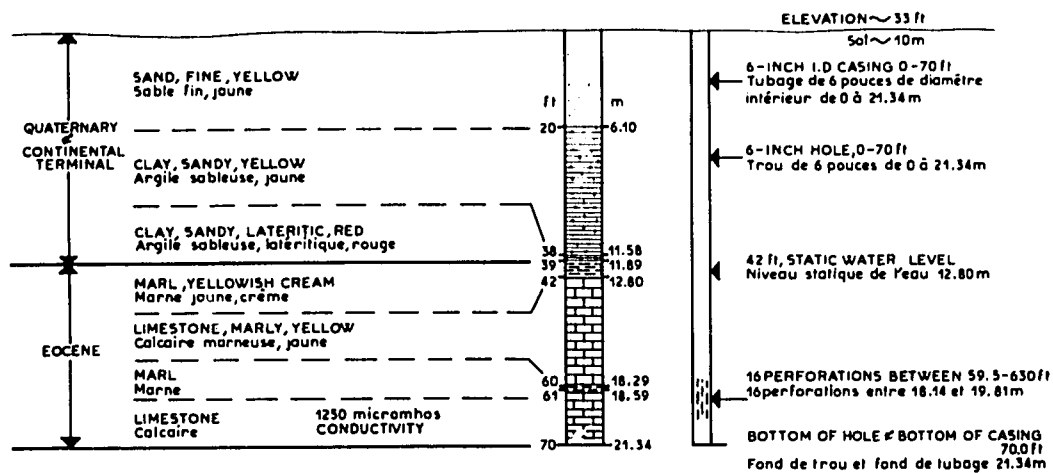
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

LAMBAYE WATER WELL N° 1  
FORAGE DE LAMBAYE NO. 1

Well Index No. 26



Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage

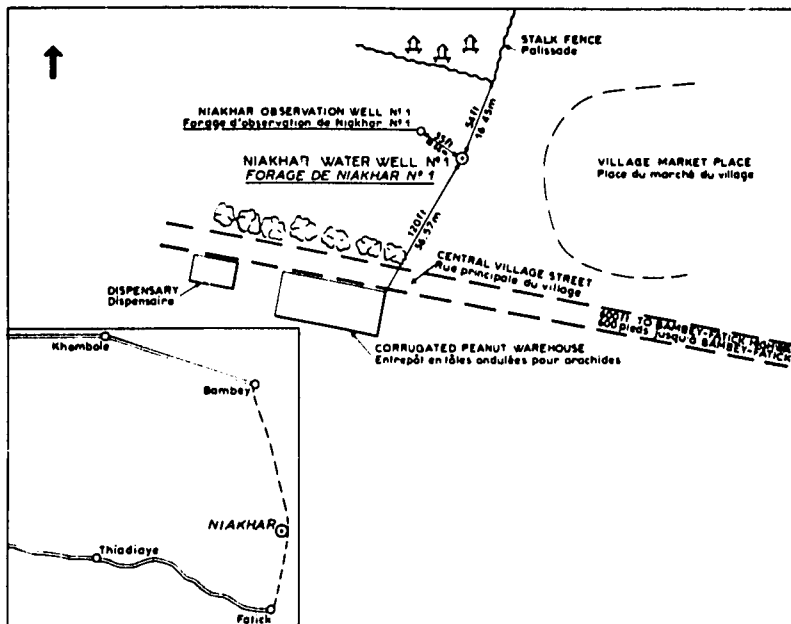


Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

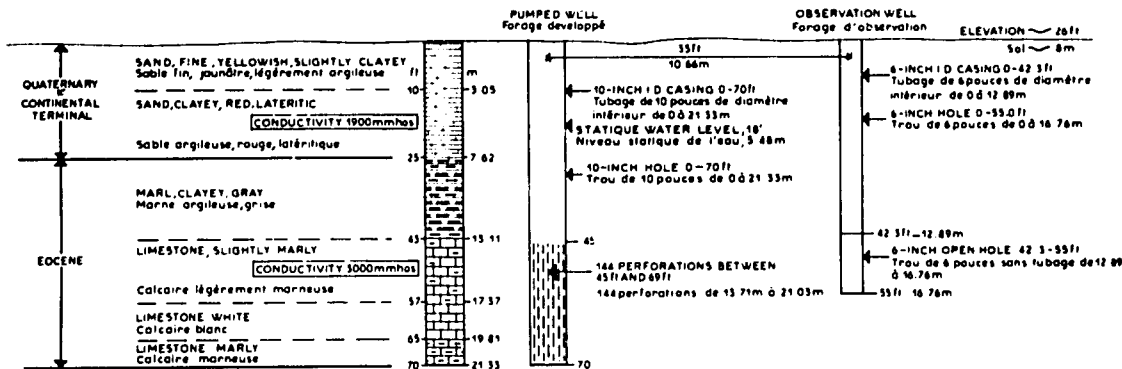
N'GASCOP WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE N'GASCOP NO. 1

Well Index No. 27

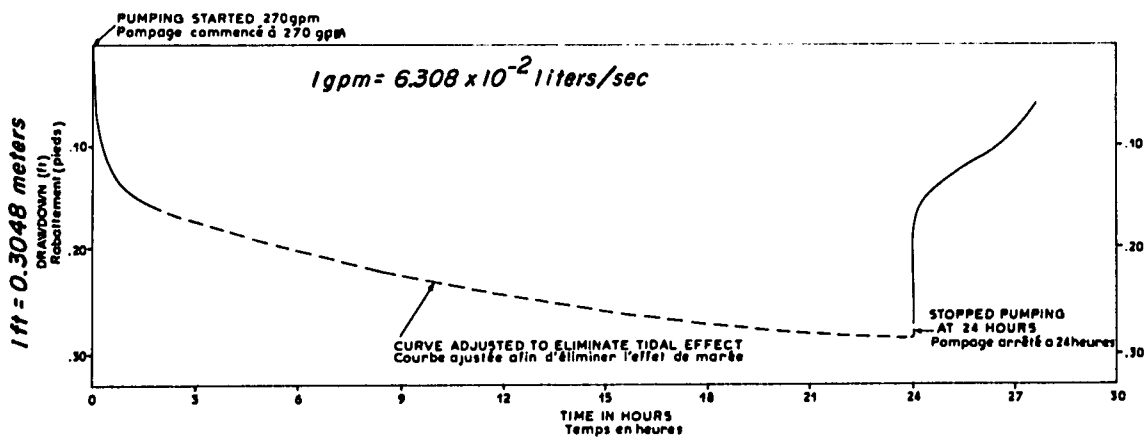




Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



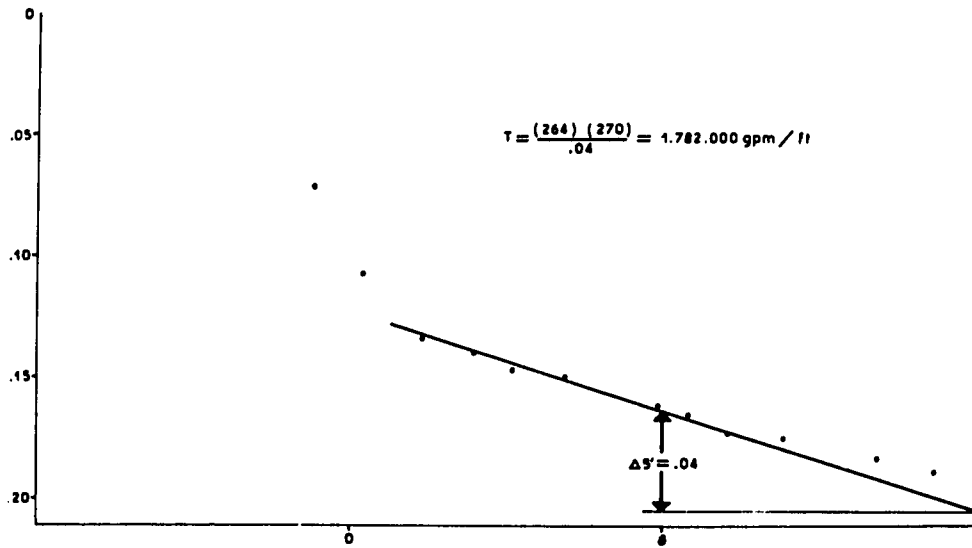
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction



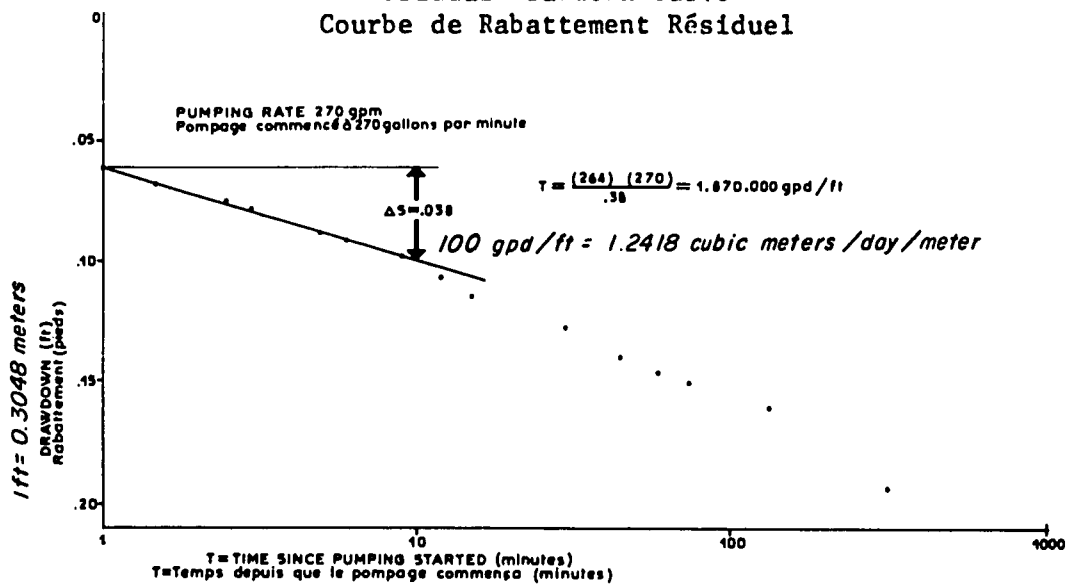
Drawdown and Recovery Curves  
Courbes de Descente et de Remontée

NIAKHAR WATER WELL NO. 1 AND OBSERVATION WELL NO. 1  
FORAGE DE NIAKHAR NO. 1 ET FORAGE D'OBSERVATION NO. 1

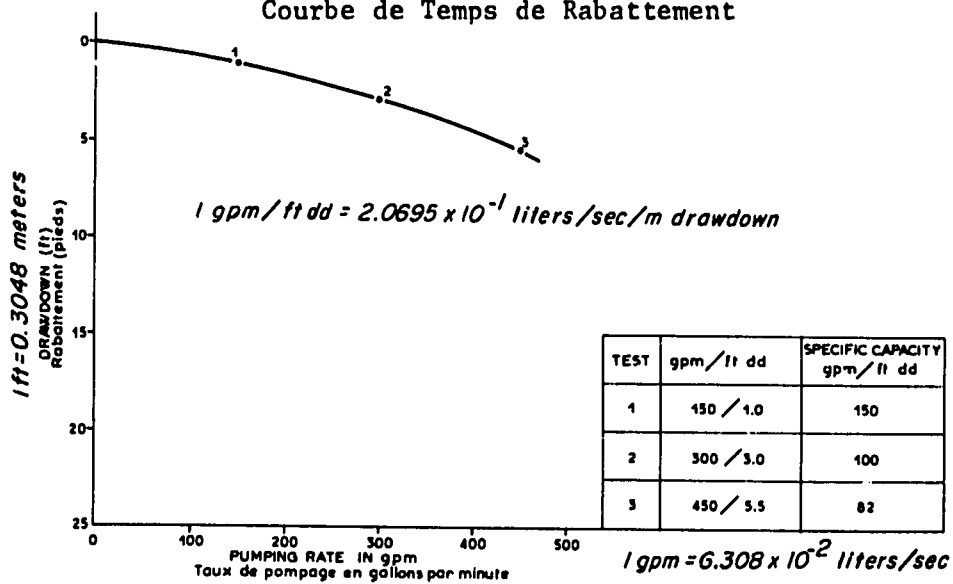
Well Index  
Nos. 28 & 29



Residual Drawdown Curve  
 Courbe de Rabattement Résiduel

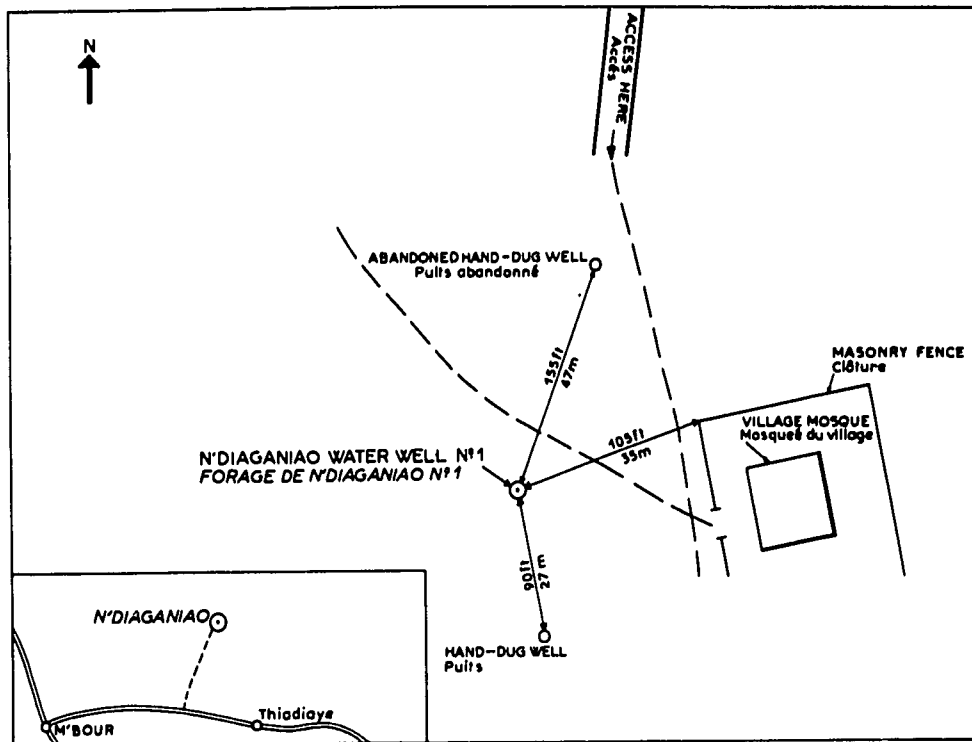


Time Drawdown Curve  
 Courbe de Temps de Rabattement

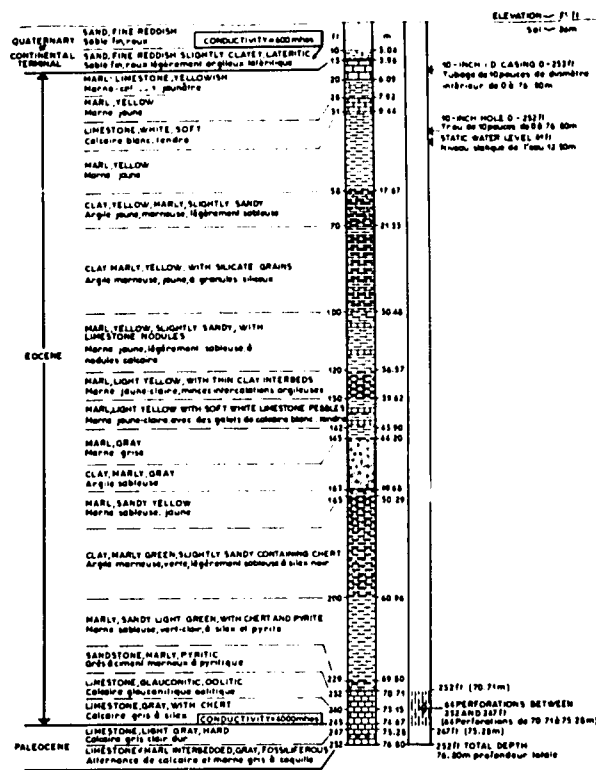


Specific Capacity Curve  
 Courbe de Capacité Spécifique

NIAKHAK WATER WELL NO. 1 AND OBSERVATION WELL NO. 1 Well Index  
 FORAGE DE NIAKHAK NO. 1 ET FORAGE D'OBSERVATION NO. 1 Nos. 28 & 29



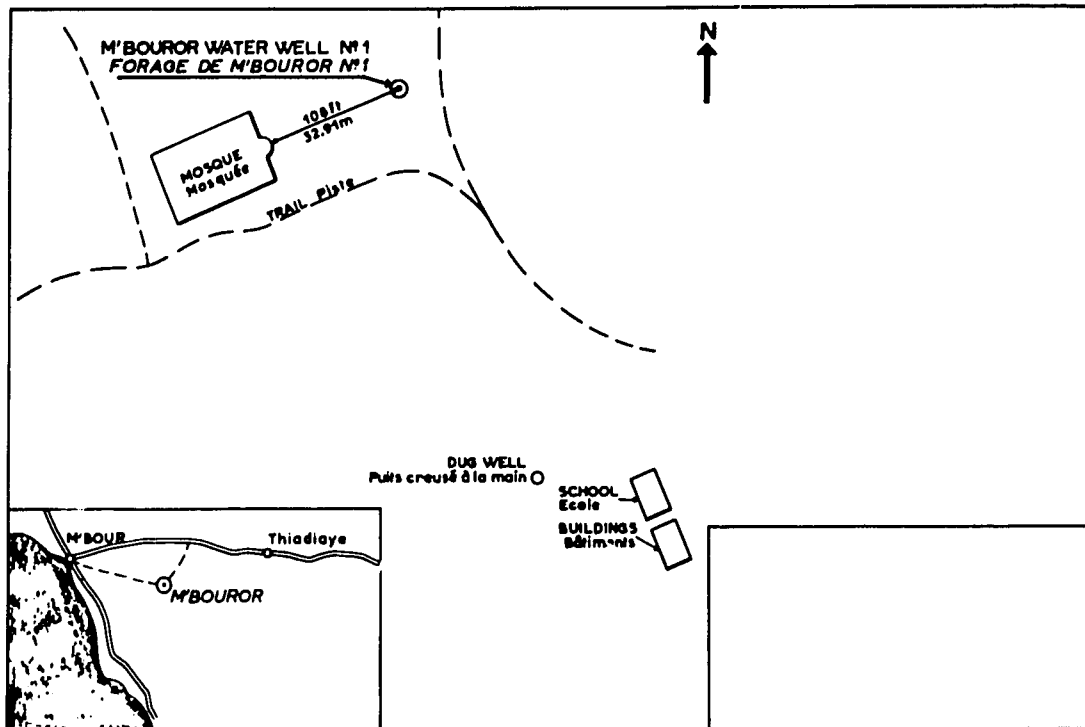
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



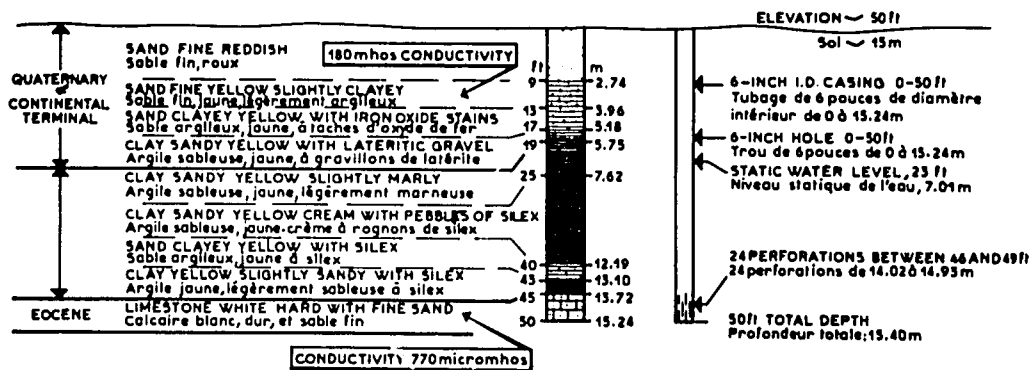
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

N'DIAGANIAO WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE N'DIAGANIAO NO. 1

Well Index No. 30



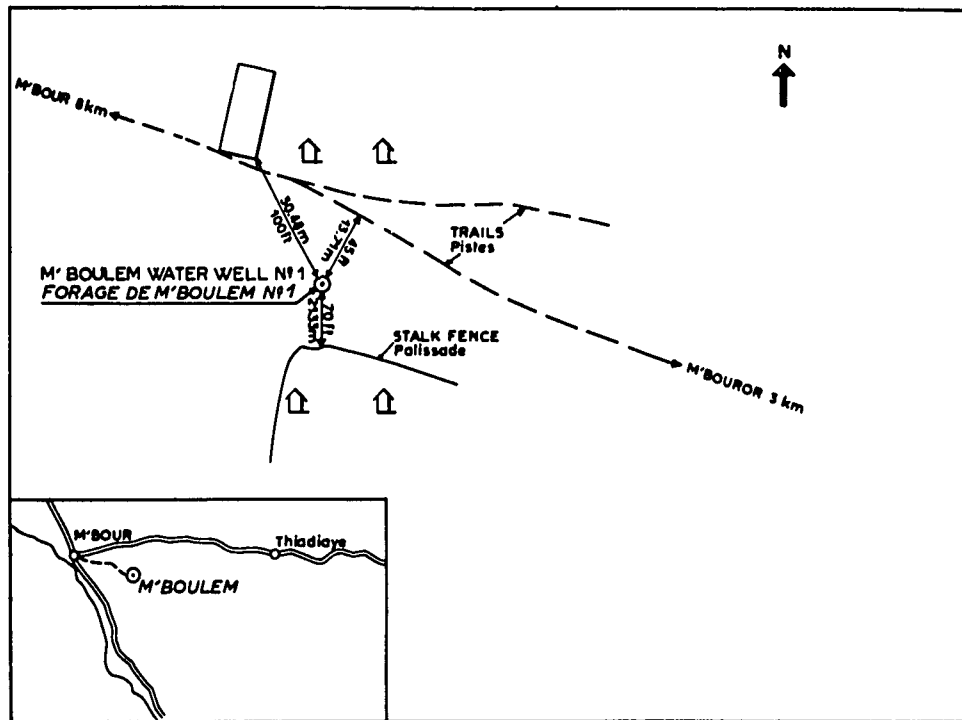
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



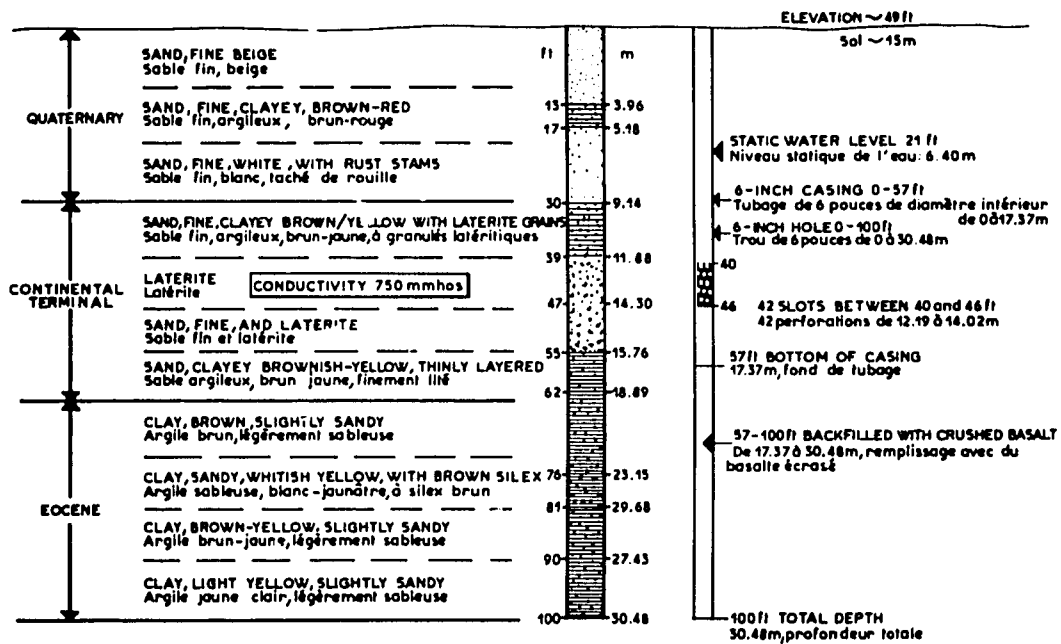
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

M'BOUROR WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE M'BOUROR NO. 1

Well Index No. 31



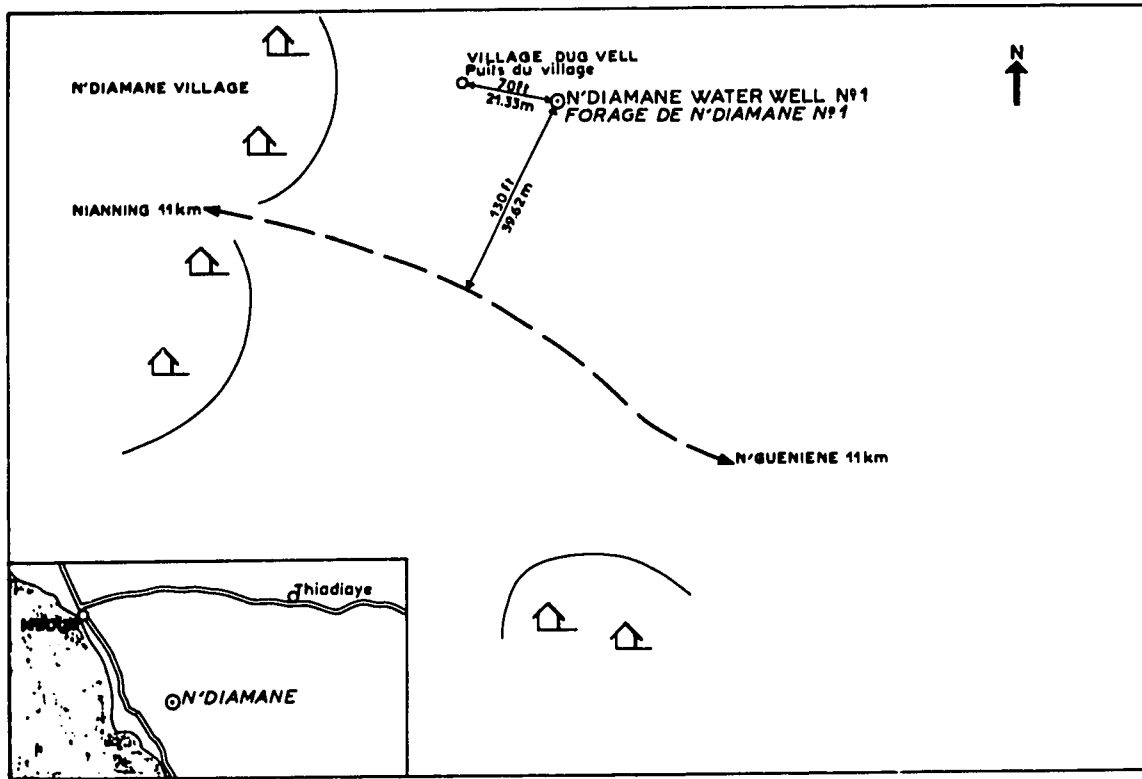
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



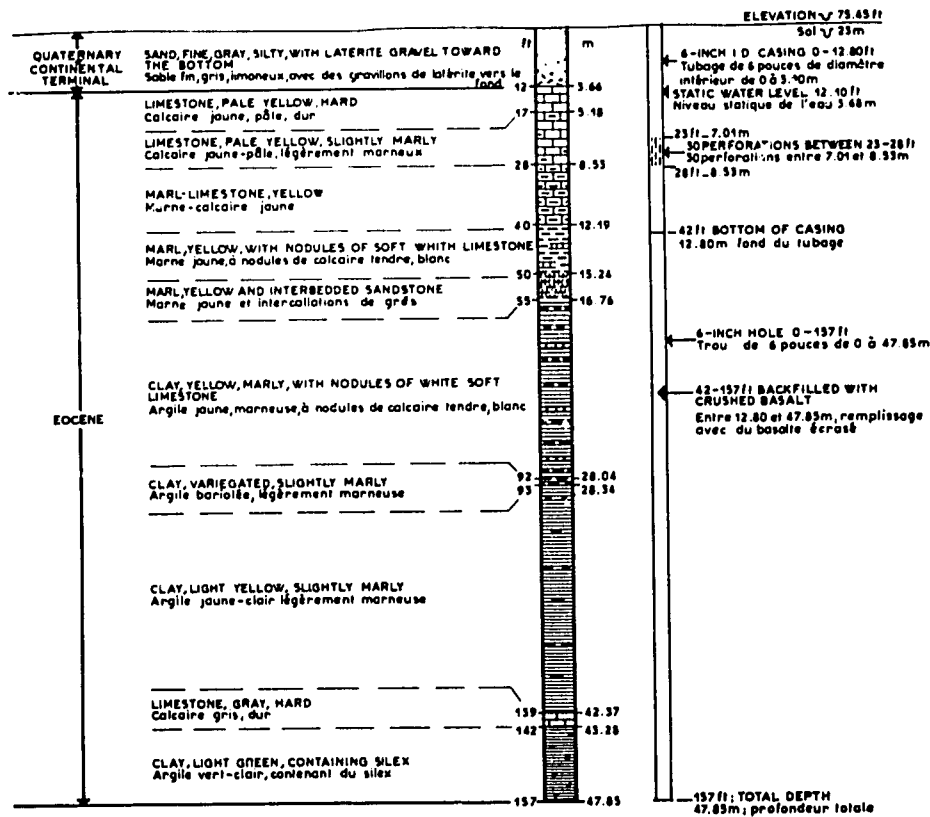
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

M'BOULEM WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE M'BOULEM NO. 1

Well Index No. 32



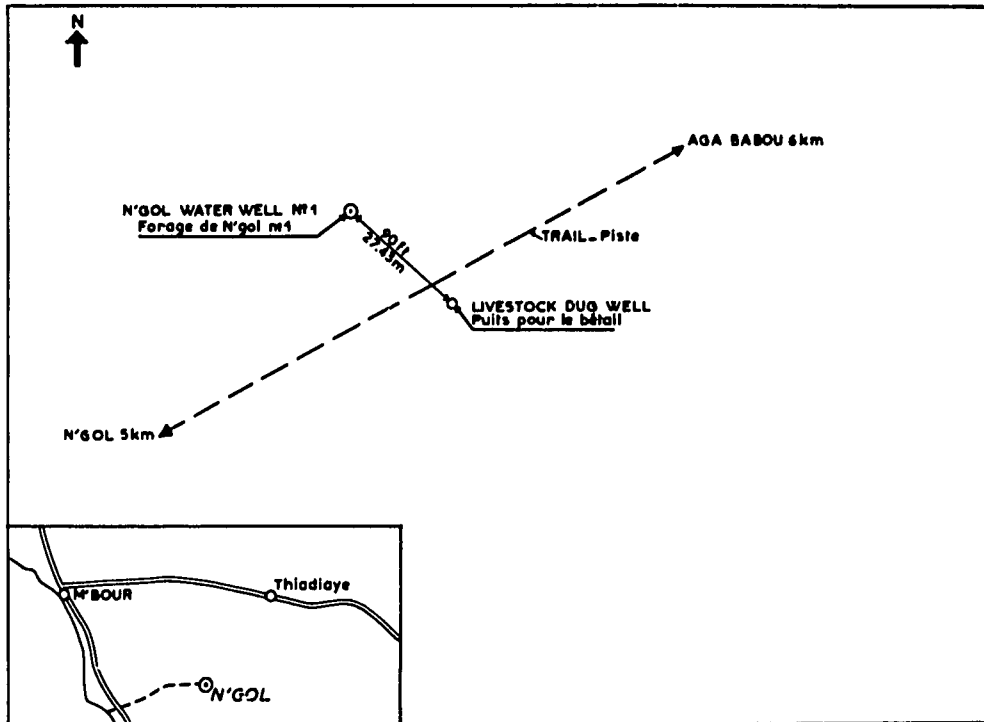
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



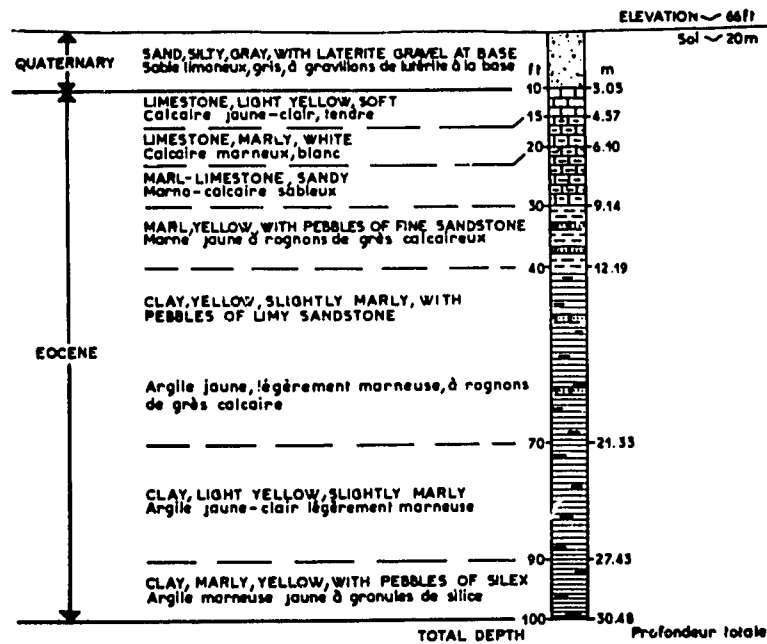
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

N'DIAMANE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE N'DIAMANE NO. 1

Well Index No. 33



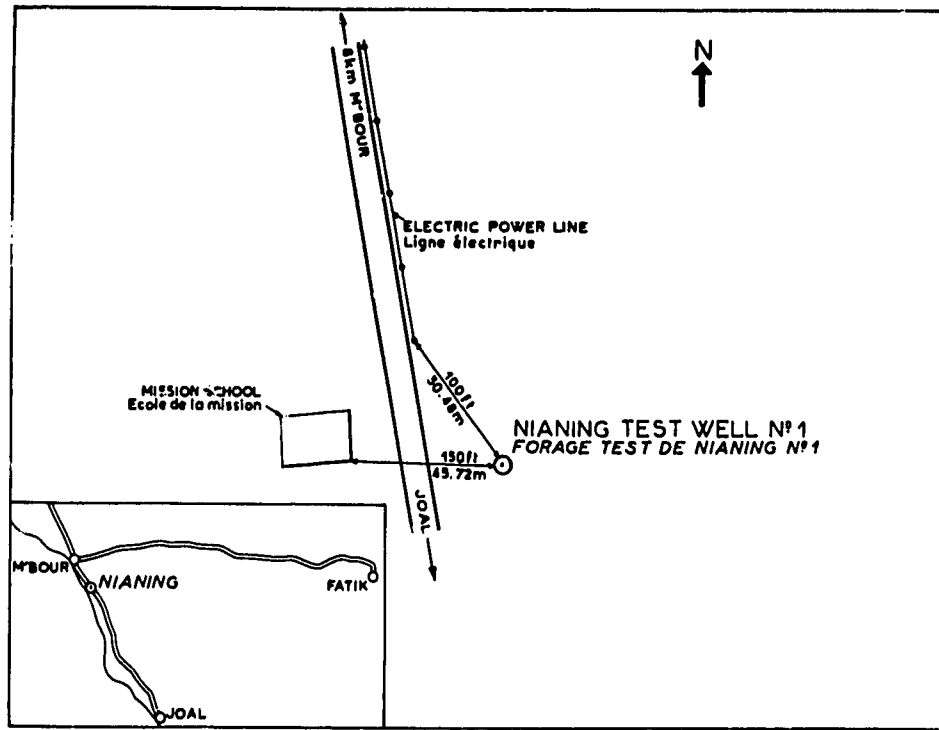
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



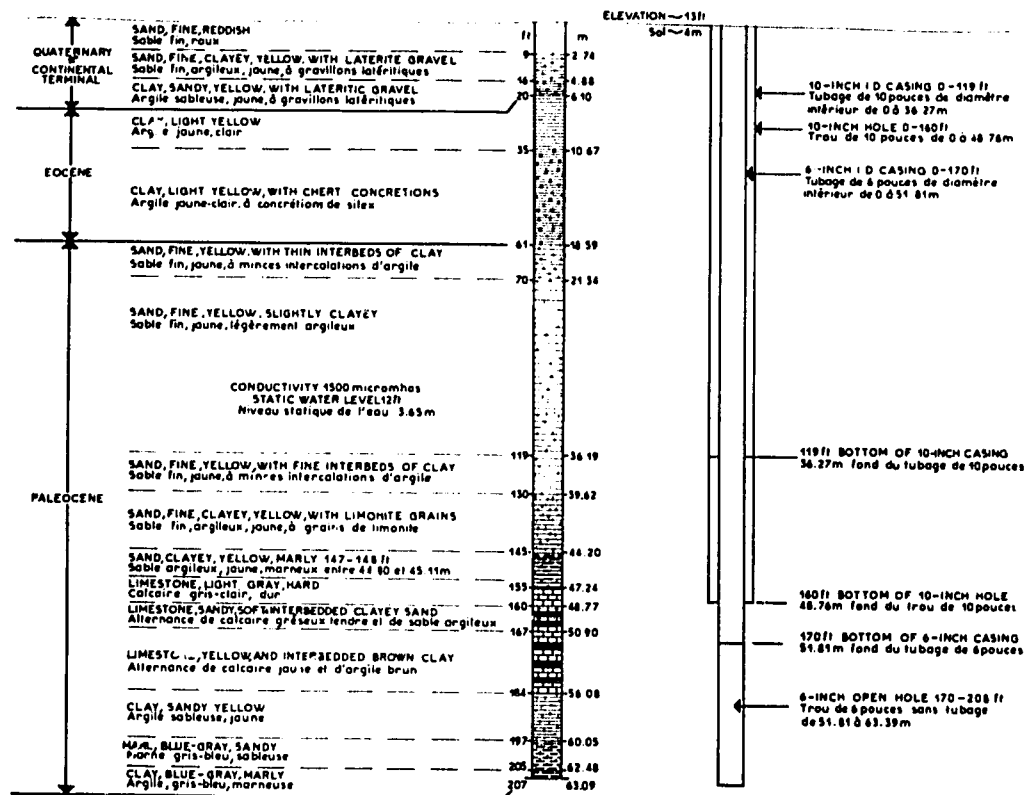
Geologic Log  
Coupe Géologique

N'GOL WATER WELL NO. 1 (ABANDONED)  
FORAGE DE N'GOL NO. 1 (ABANDONNÉ)

Well Index No. 34



Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



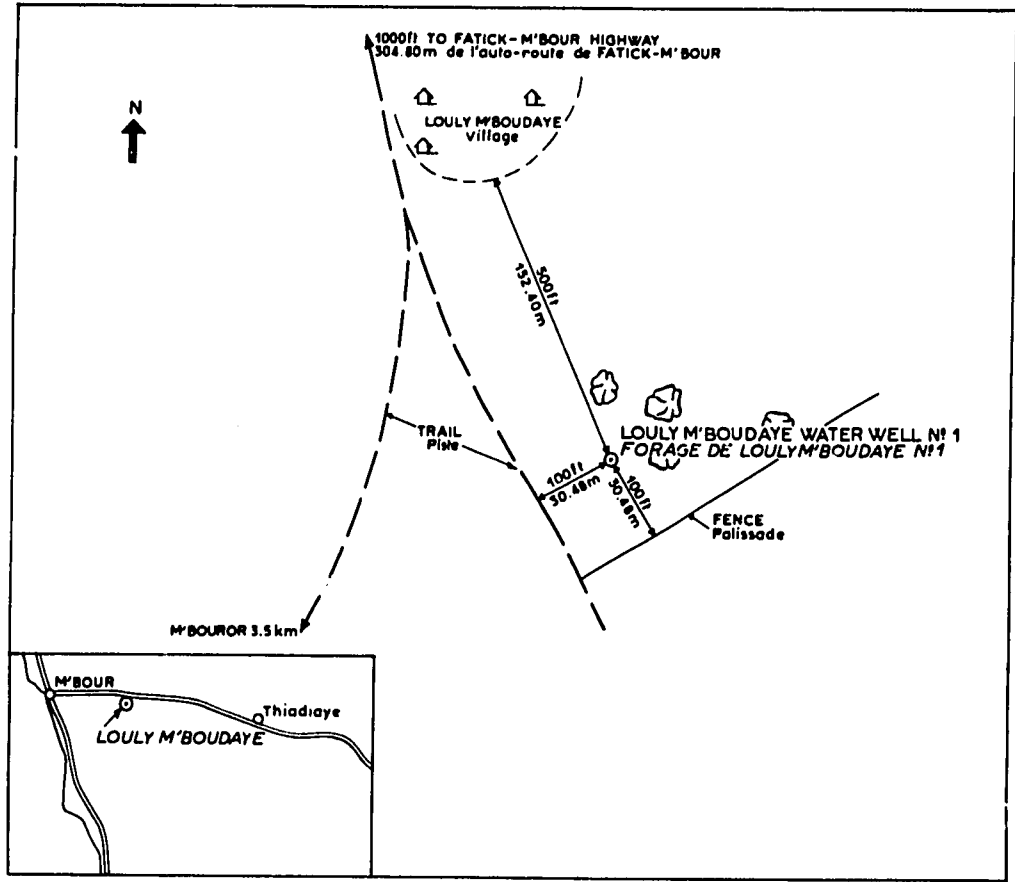
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

NIANING TEST WELL NO. 1  
FORAGE TEST DE NIANING NO. 1

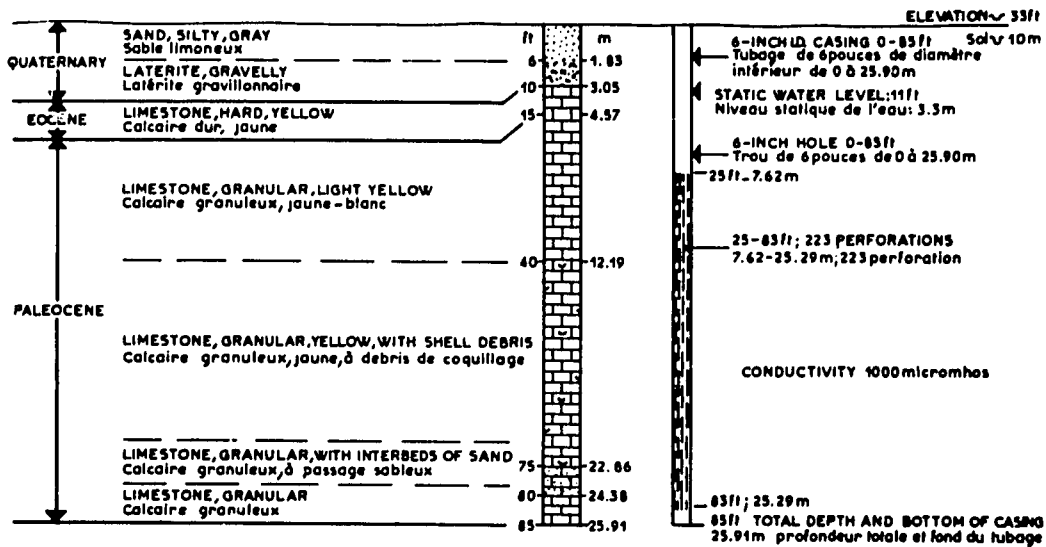
Well Index No. 35







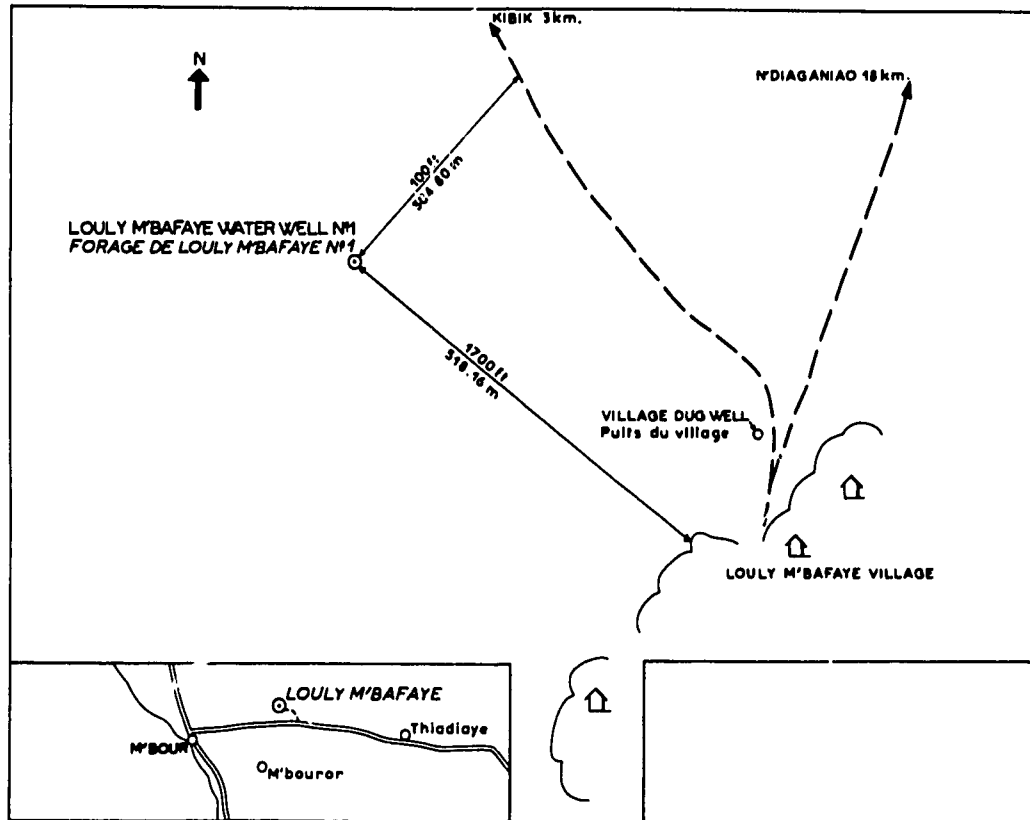
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



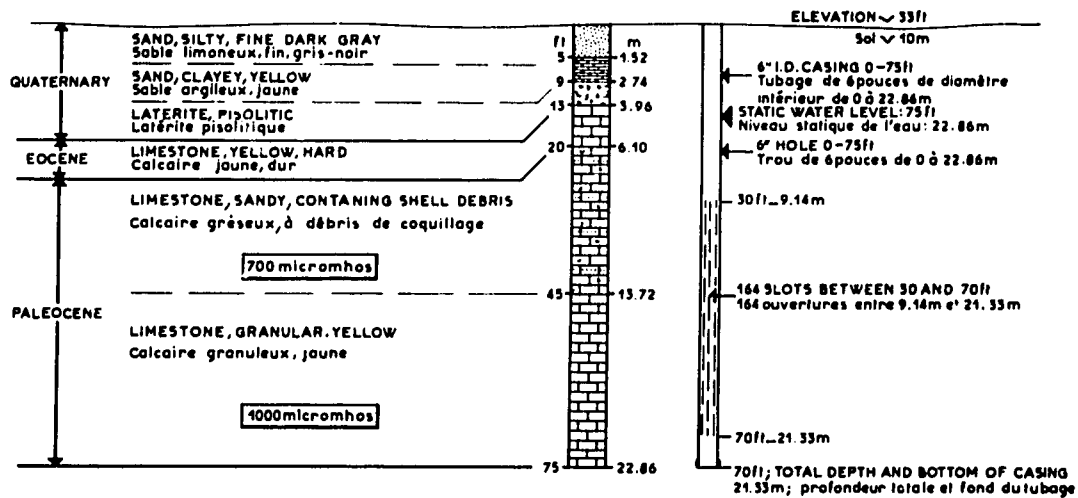
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

LOULY M'BOUDAYE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE LOULY M'BOUDAYE NO. 1

Well Index No. 36



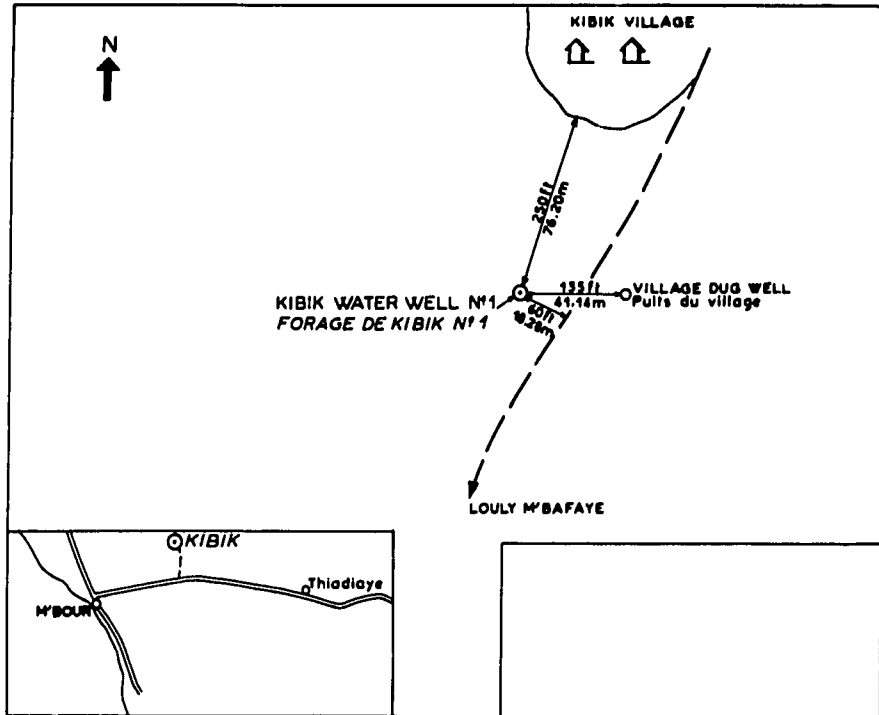
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



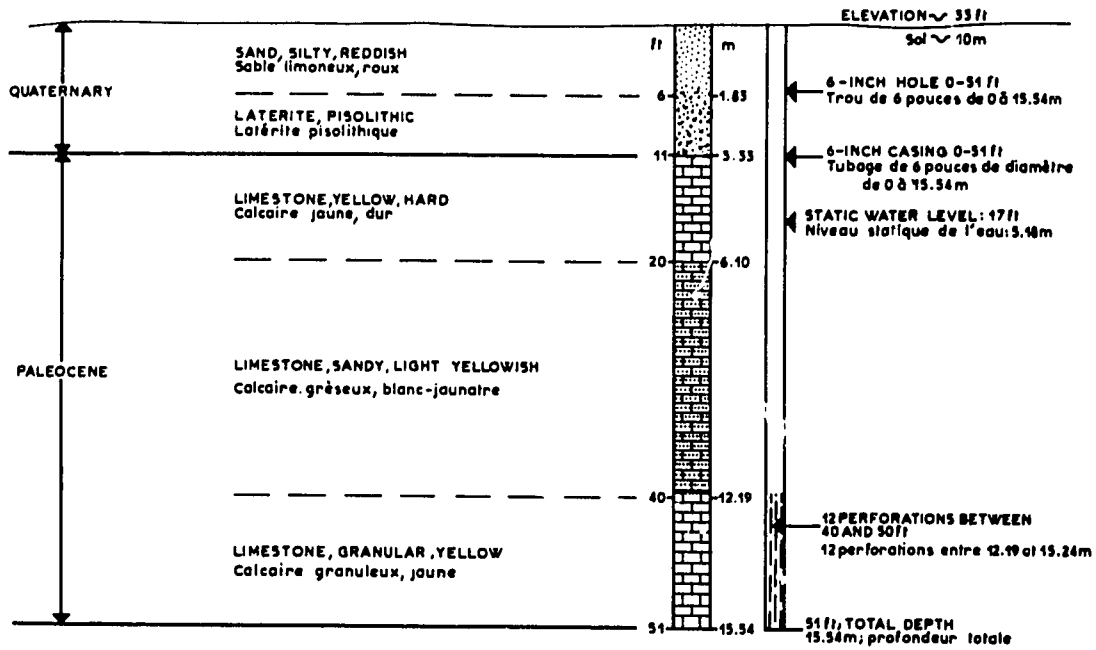
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

LOULY M'BAFAYE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE LOULY M'BAFAYE NO. 1

Well Index No. 37



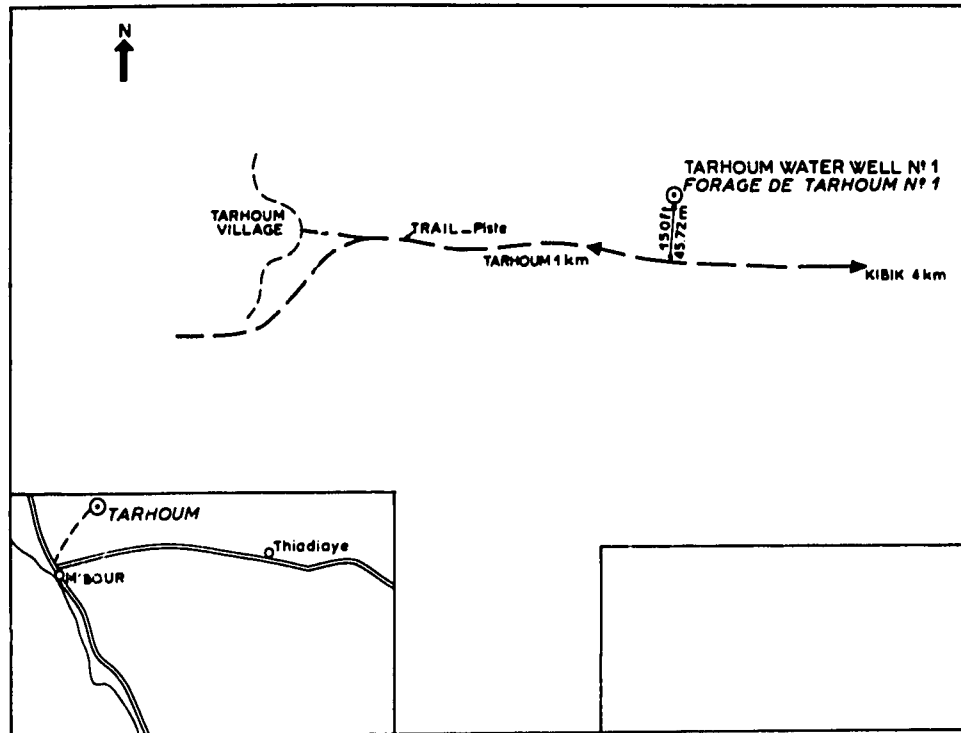
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



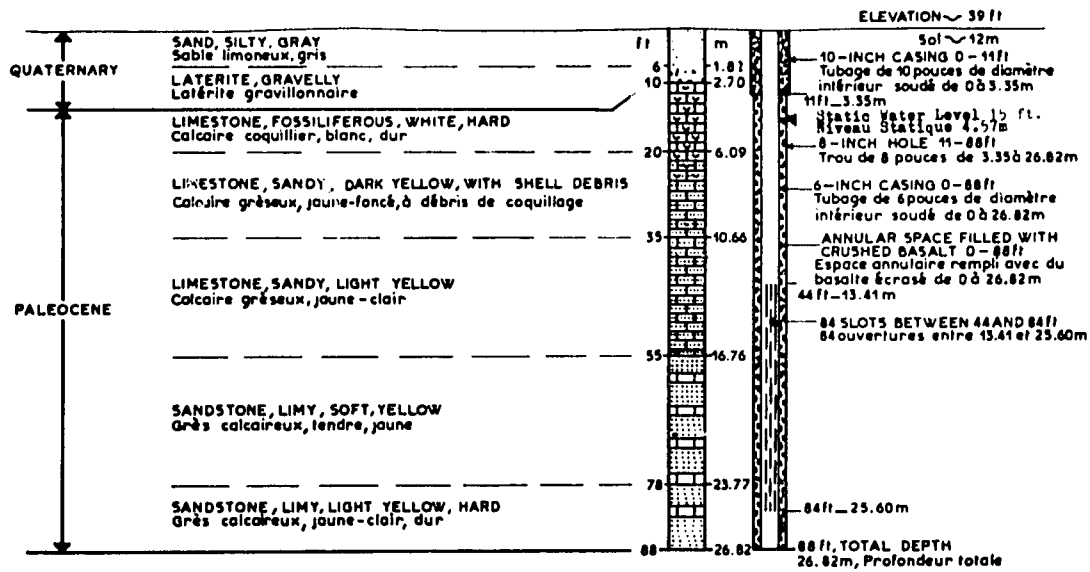
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

KIBIK WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE KIBIK NO. 1

Well Index No. 38



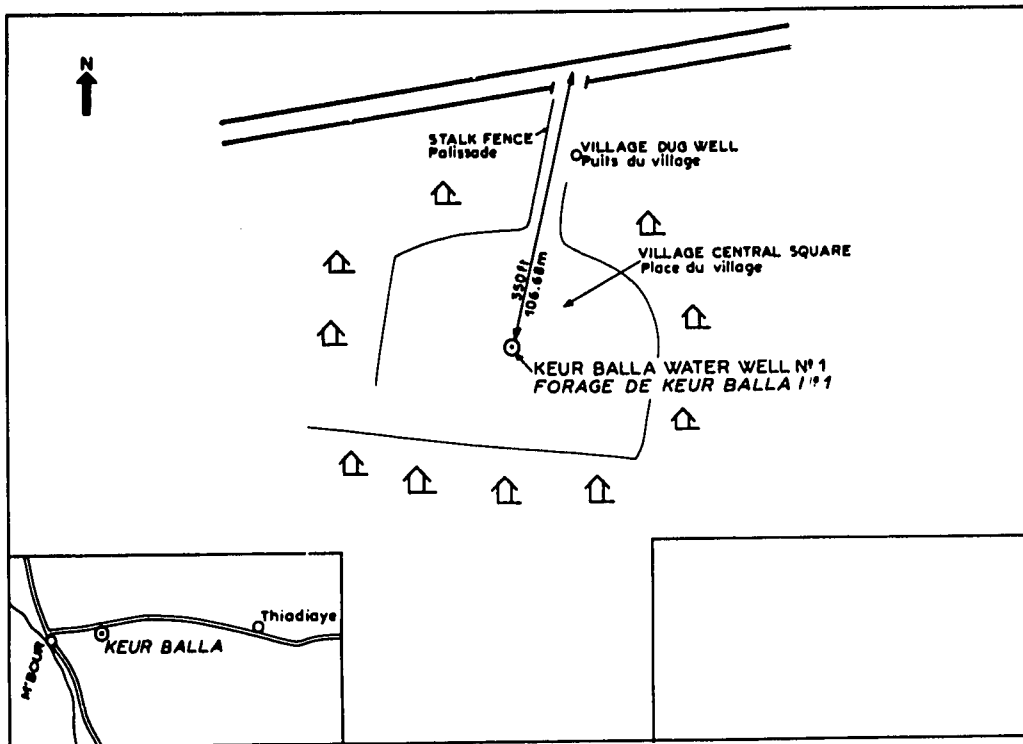
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



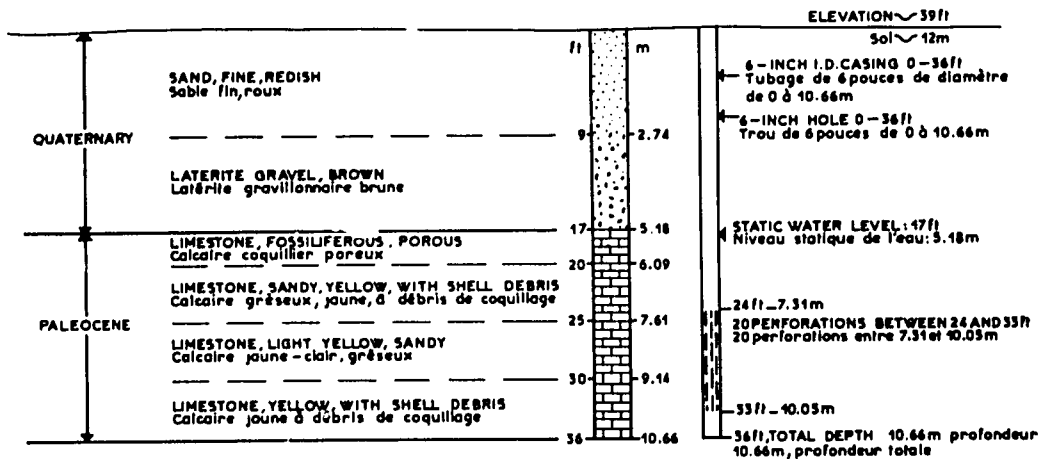
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

TARHOUM WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE TARHOUM NO. 1

Well Index No. 39



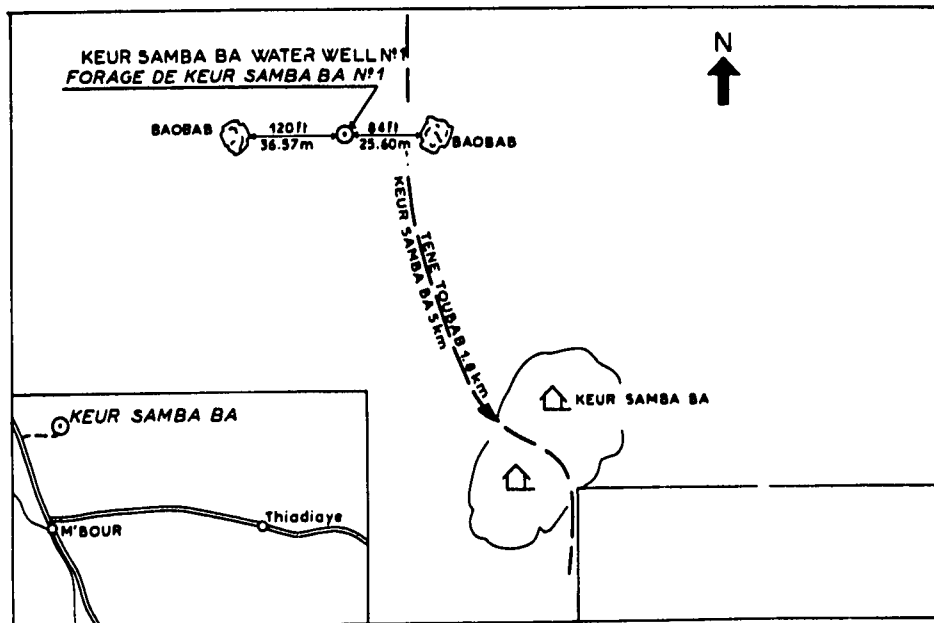
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



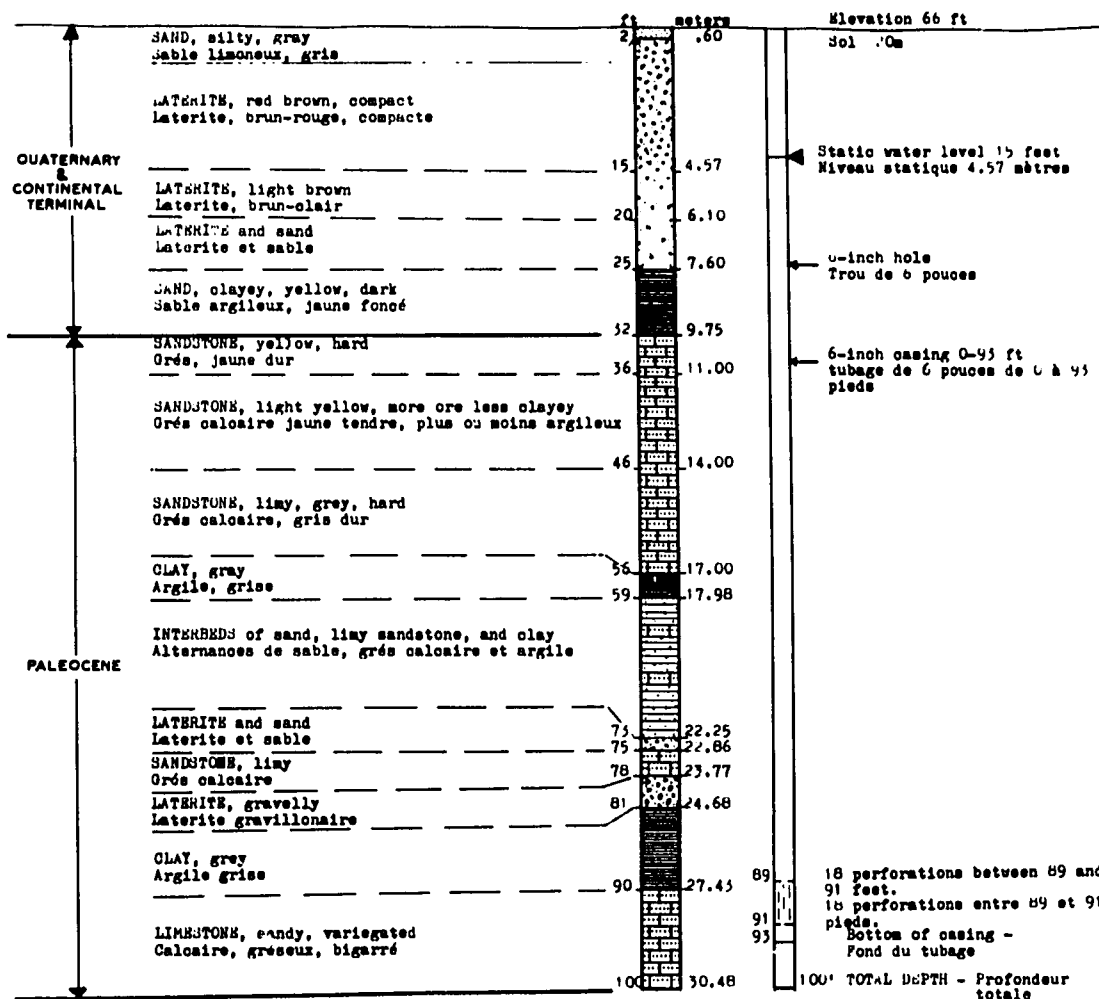
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

KEUR BALLA WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE KEUR BALLA NO. 1

Well Index No. 40



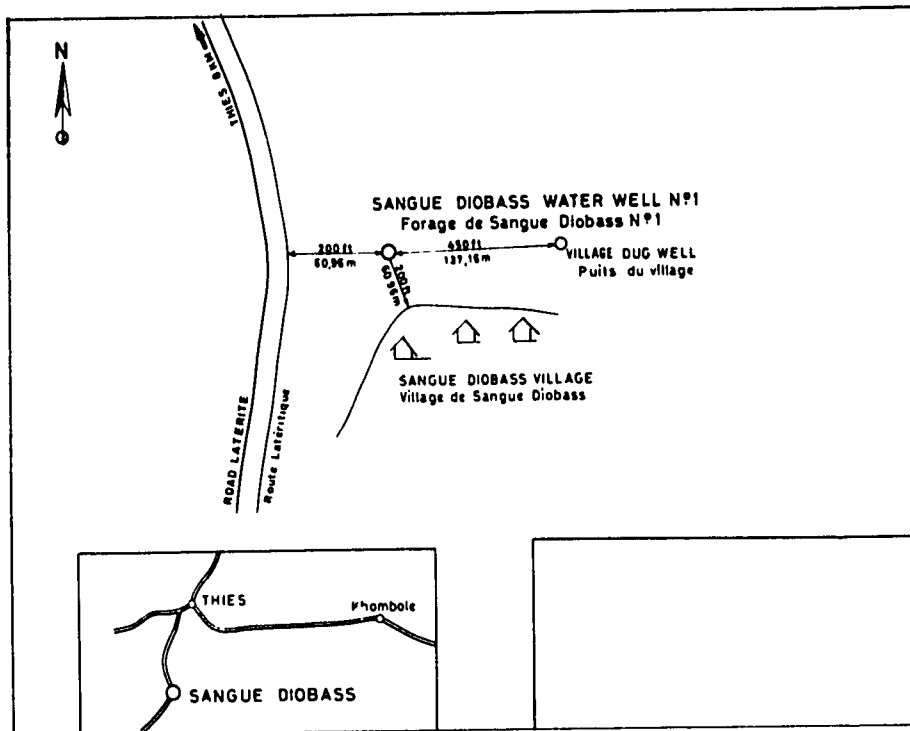
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



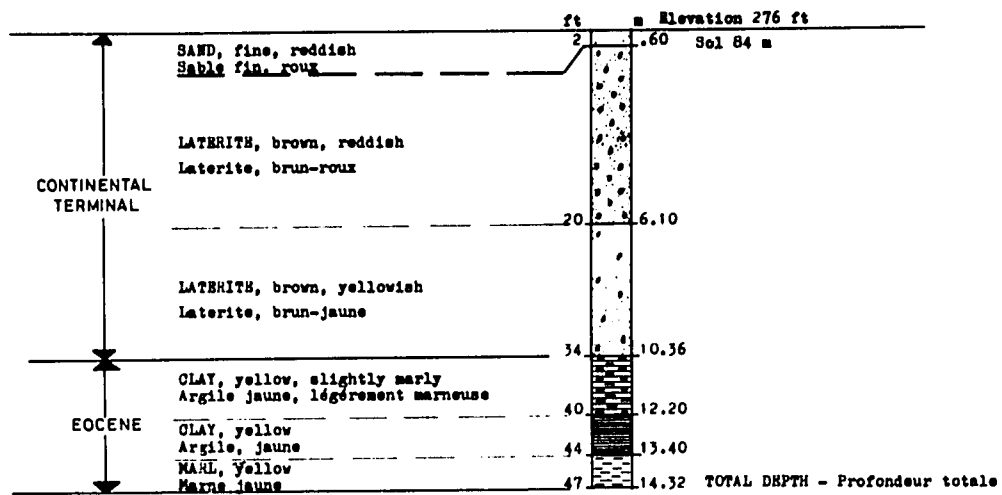
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

KEUR SAMBA BA WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE KEUR SAMBA BA NO. 1

Well Index No. 41



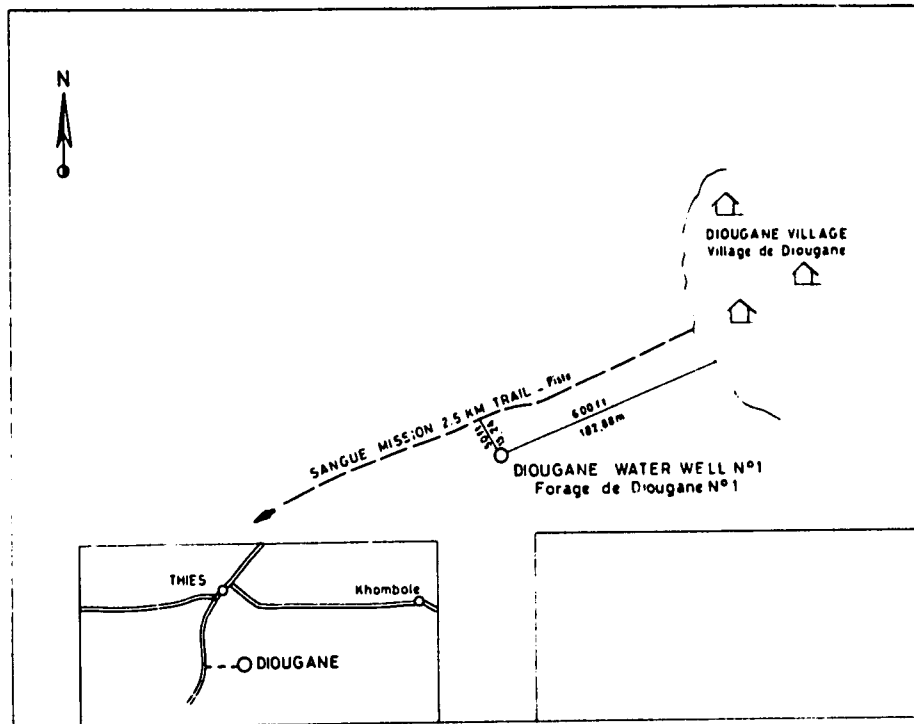
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



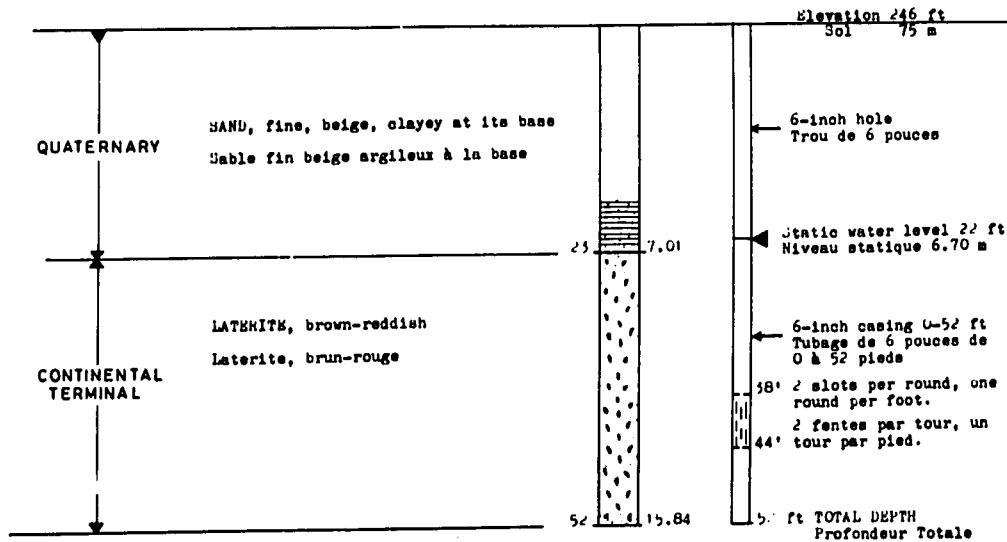
SANGUE DIOBASS WATER WELL NO. 1  
(ABANDONED)  
VILLAGE DE SANGUE DIOBASS NO. 1 (ABANDONNÉ)

Well Index No. 42





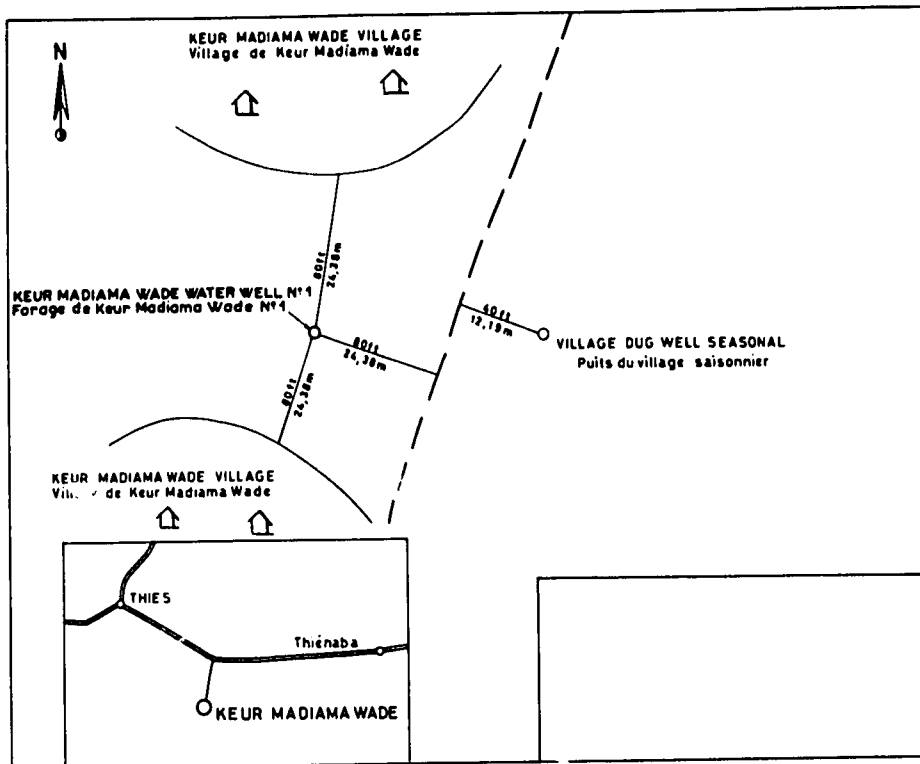
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



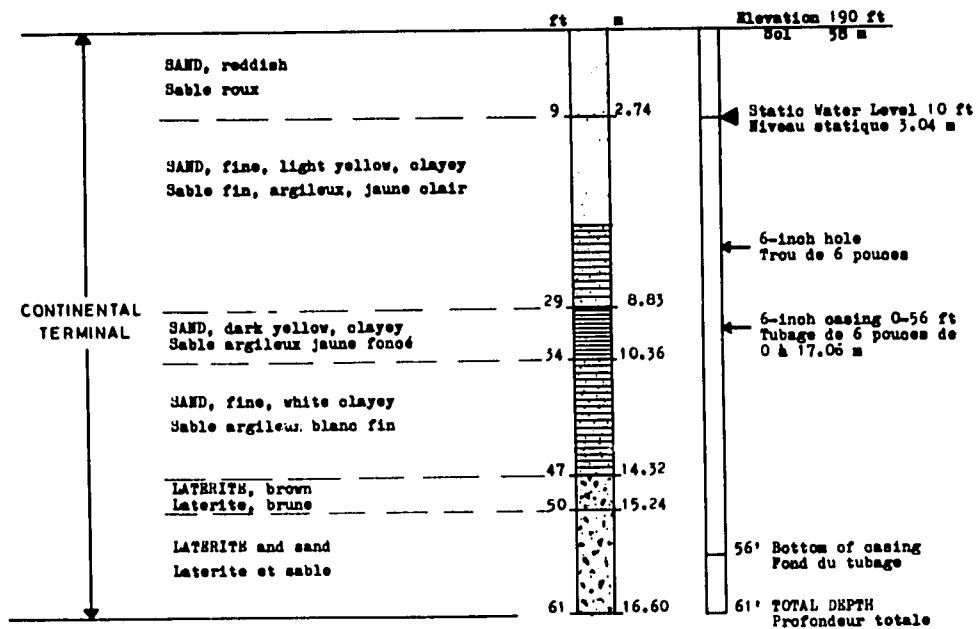
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

DIOUGANE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE DIOUGANE

Well Index No. 43



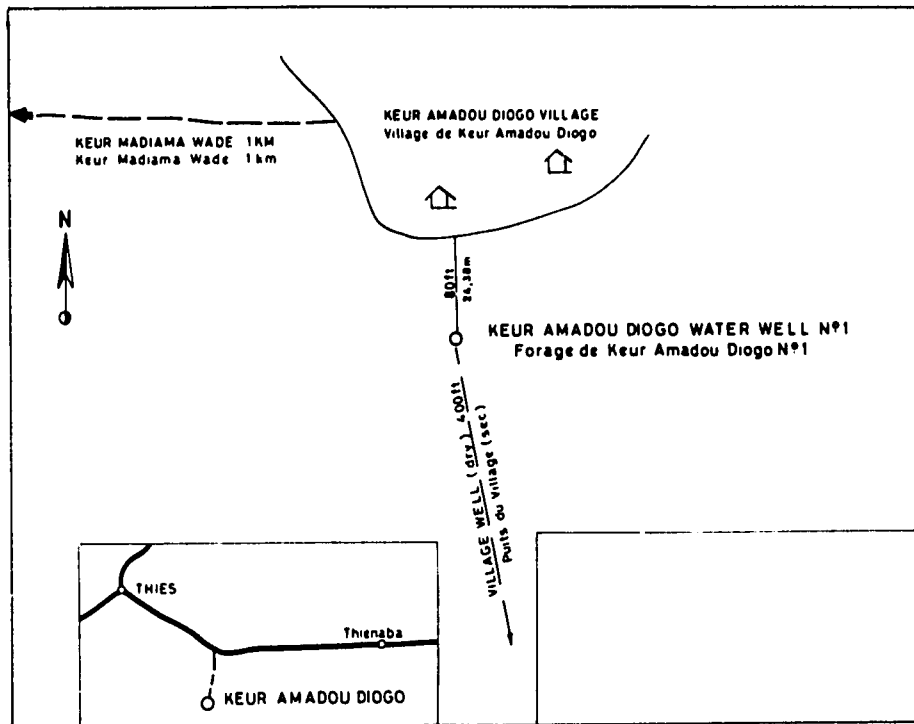
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



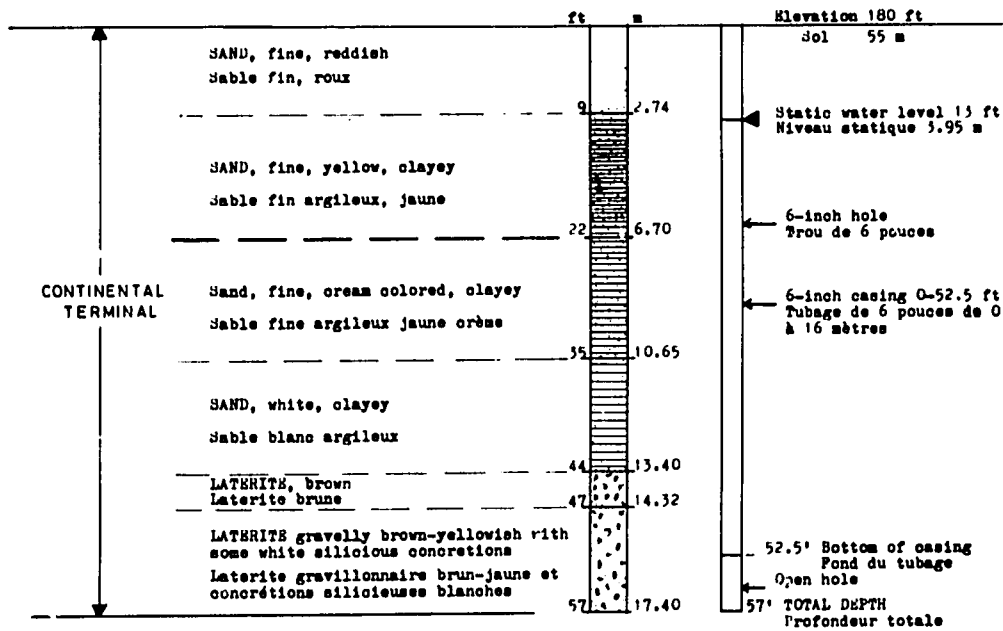
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

KEUR MADIAMA WADE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE KEUR MADIAMA WADE NO. 1

Well Index No. 44



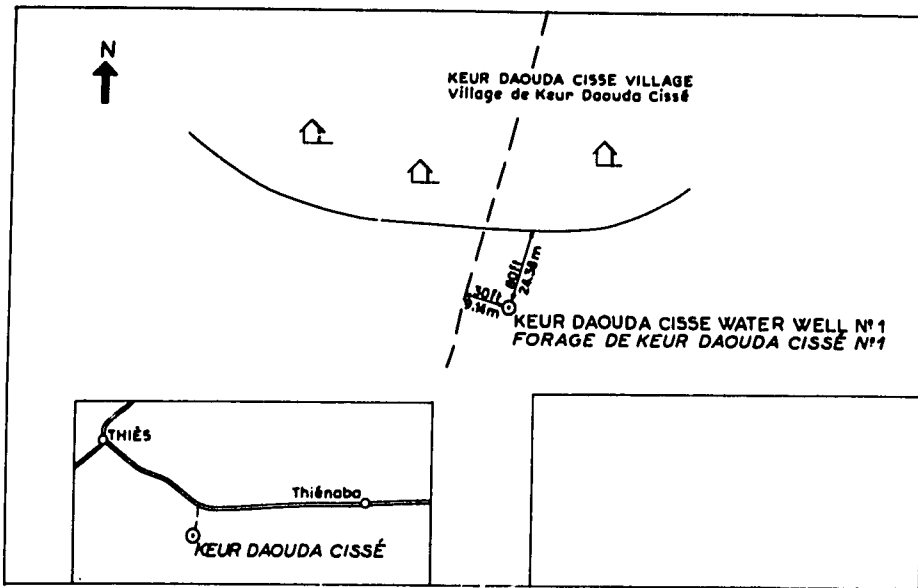
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



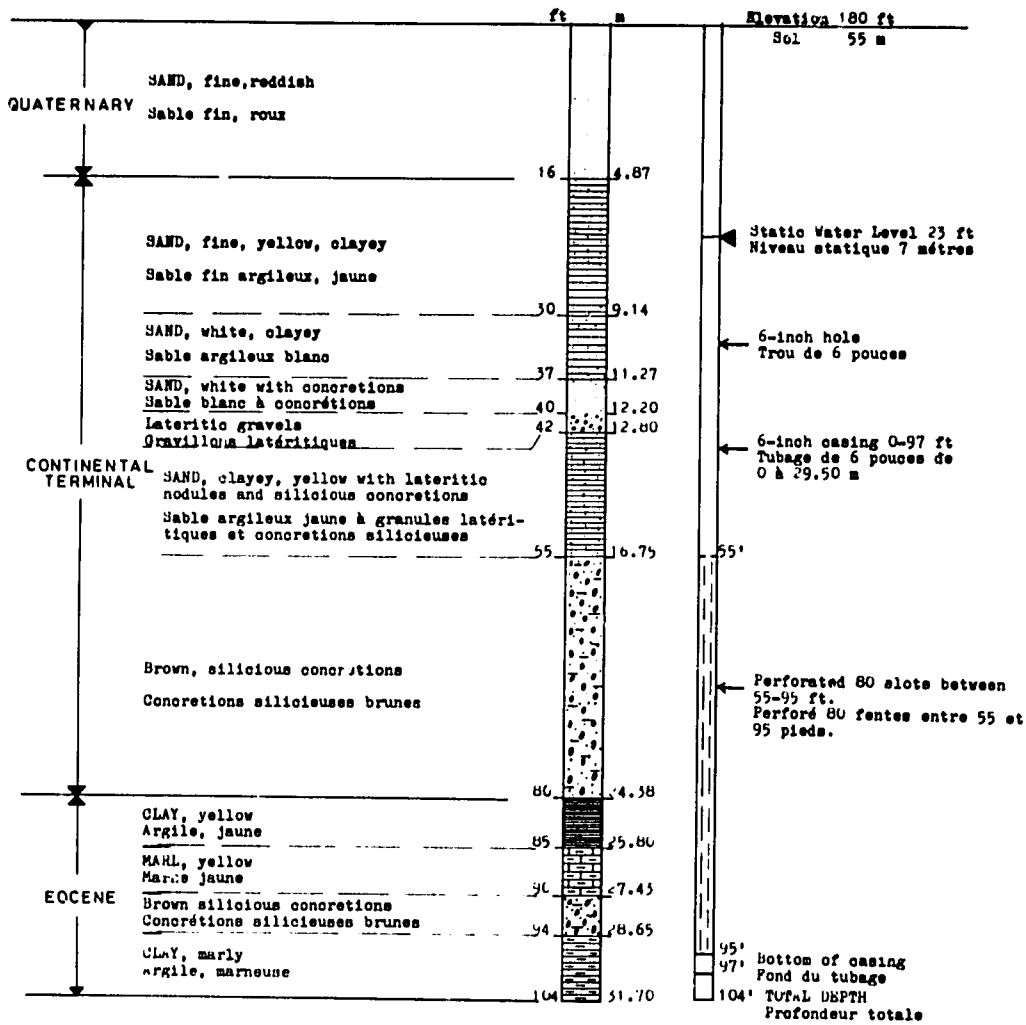
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

KEUR AMADOU DIOGO WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE KEUR AMADOU DIOGO NO. 1

Well Index No. 45



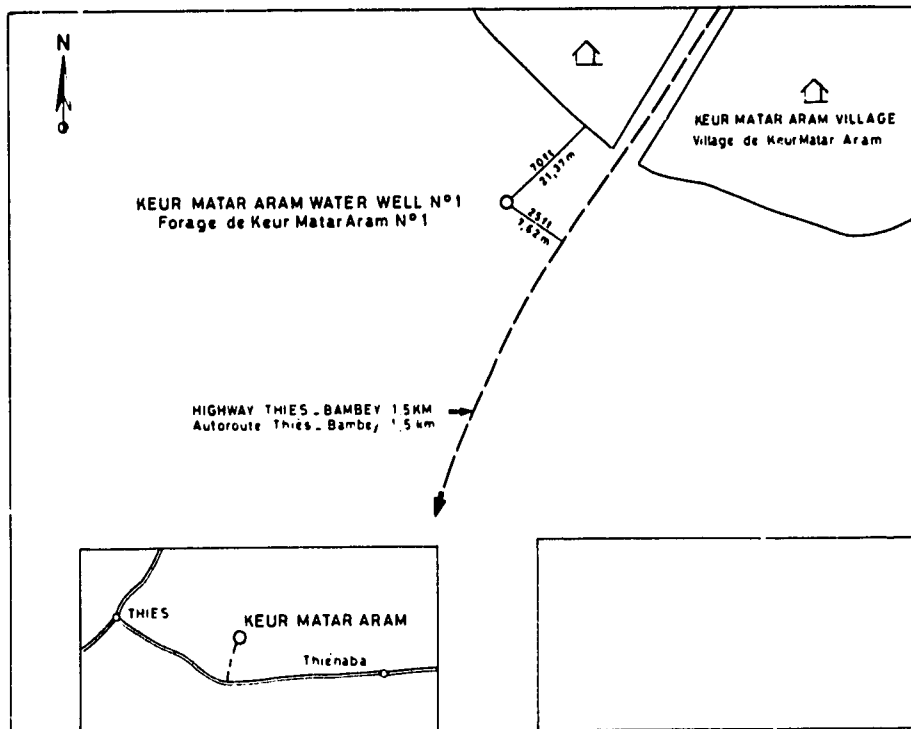
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



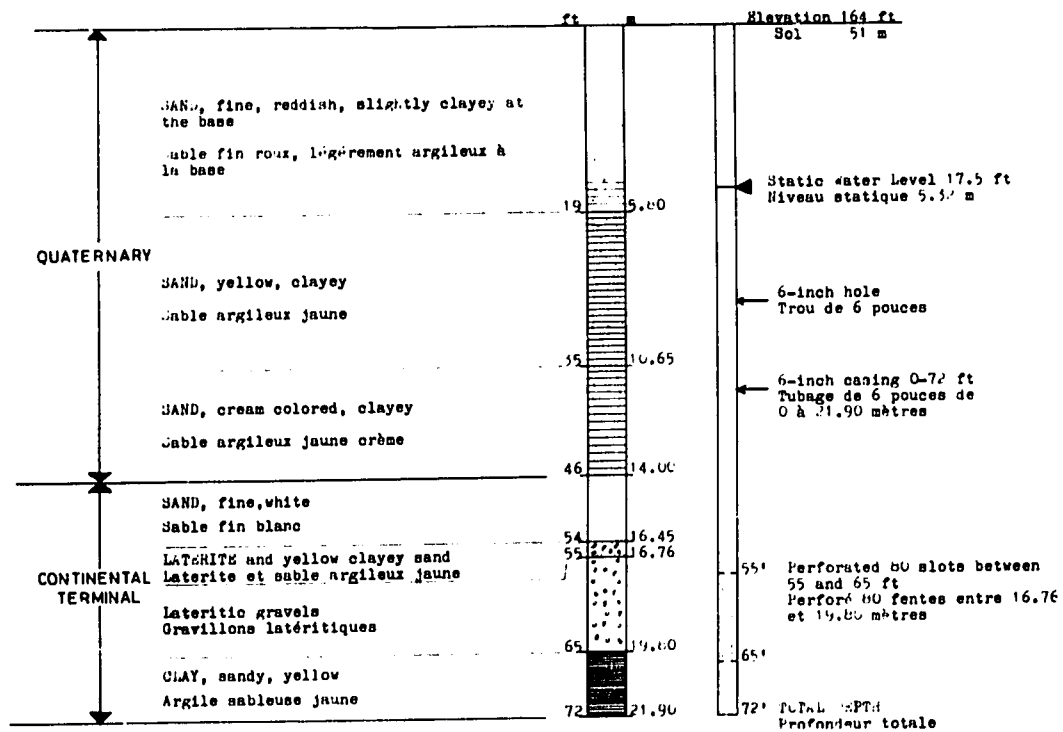
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

KEUR DAOUDA CISSE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE KEUR DAOUDA CISSÉ NO. 1

Well Index No. 46



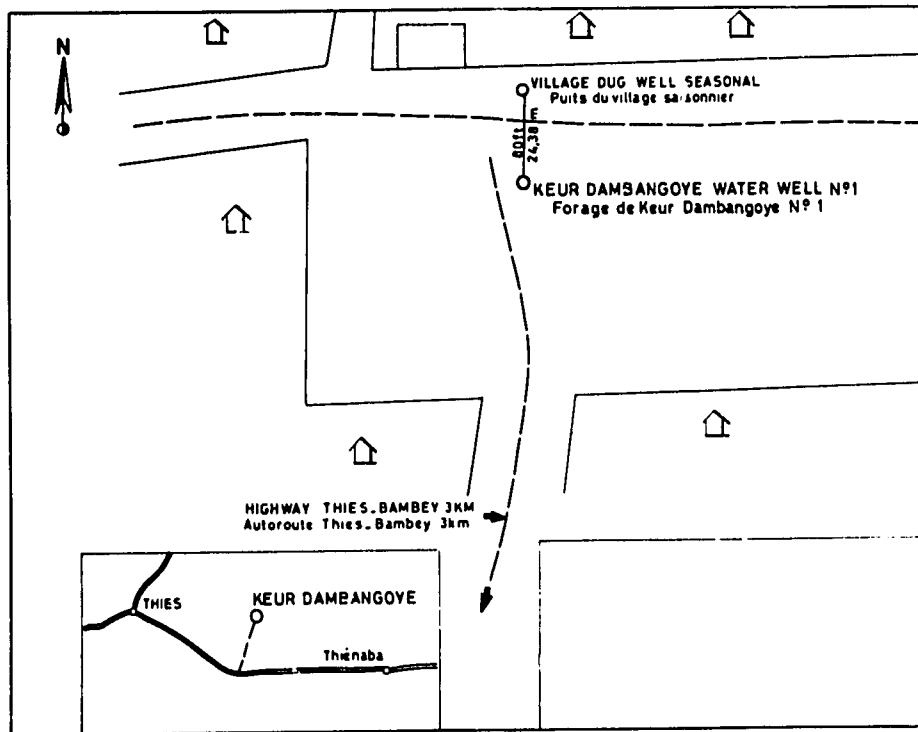
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



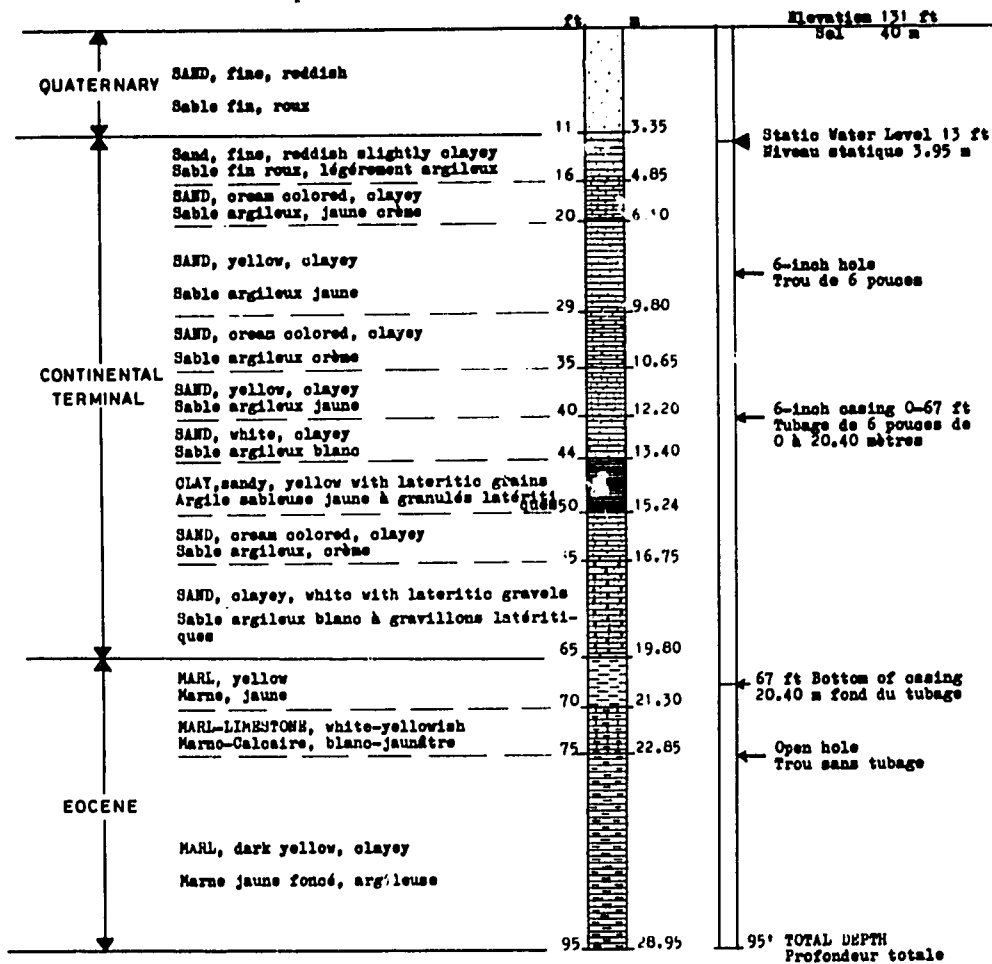
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

KEUR MATAR ARAM WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE KEUR MATAR ARAM NO. 1

Well Index No. 47



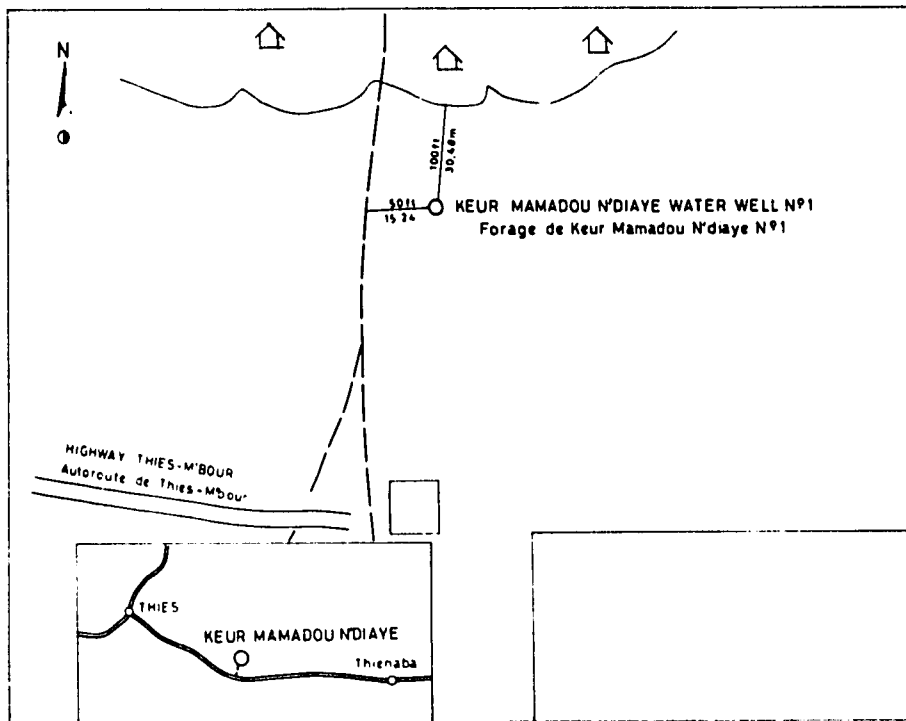
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



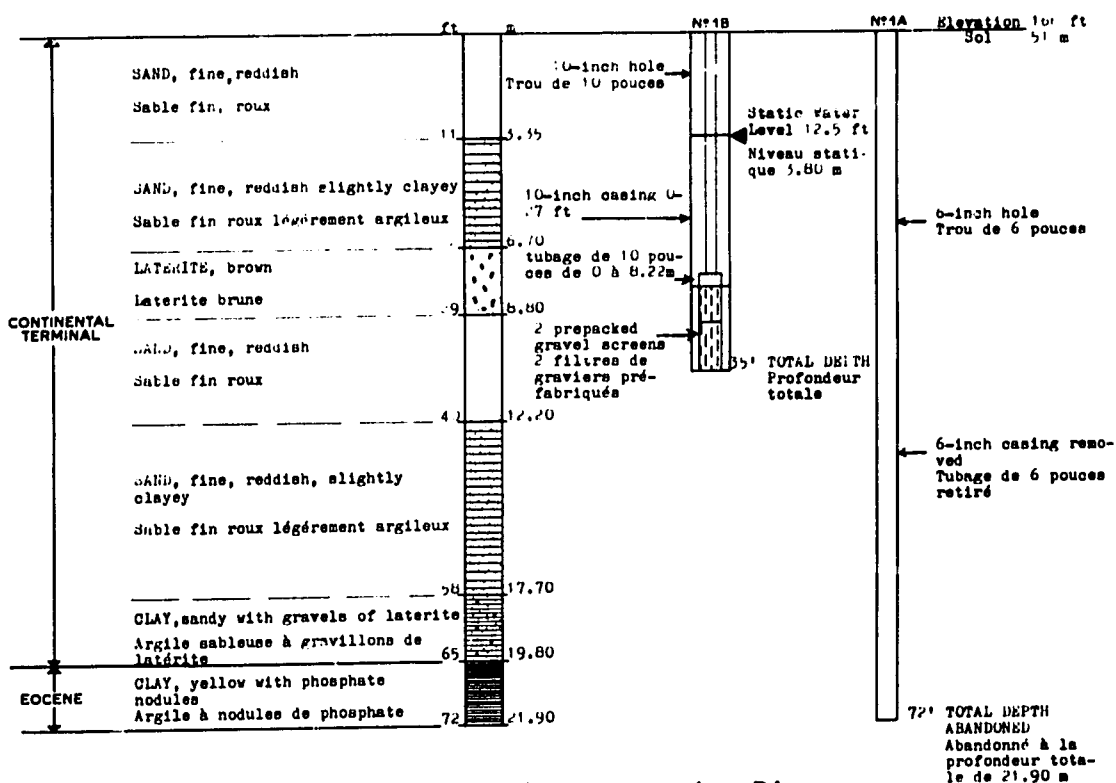
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

KEUR DAMBANGOYE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE KEUR DAMBANGOYE NO. 1

Well Index No. 48



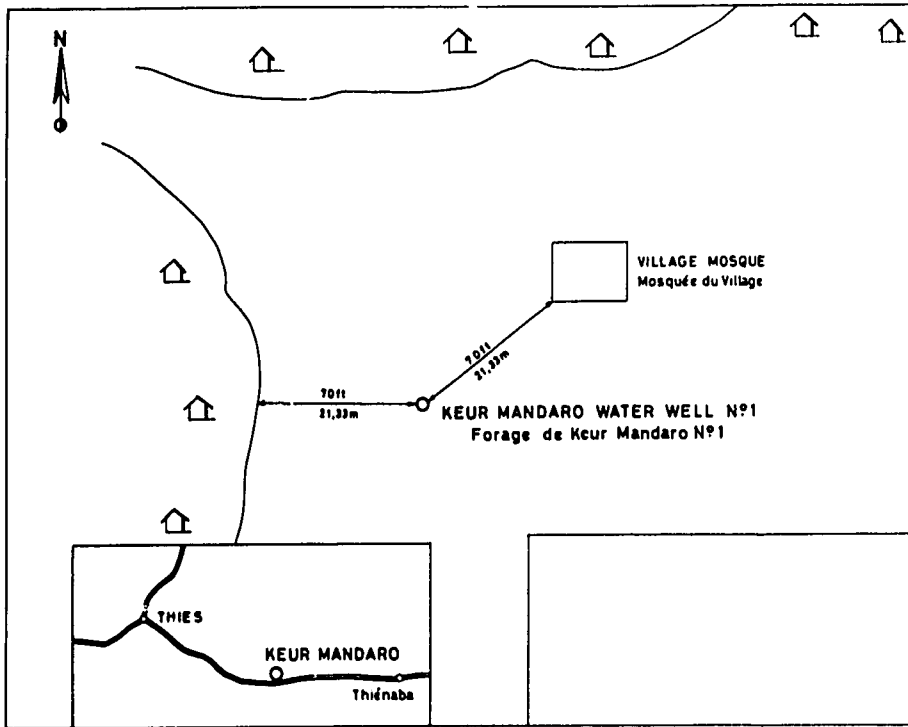
Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



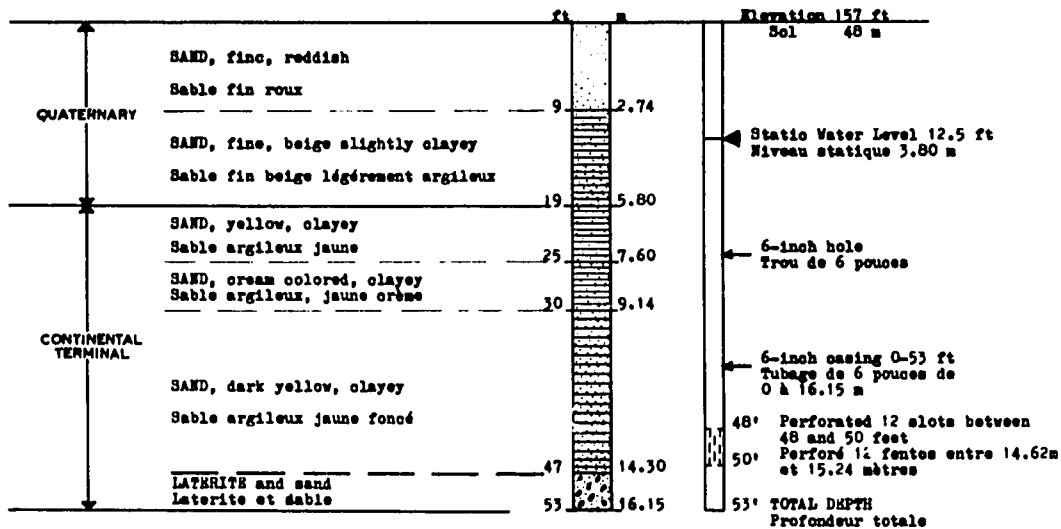
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

KEUR MAMADOU N'DIAYE WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE KEUR MAMADOU N'DIAYE NO. 1

Well Index No. 49



Sketch of Well Location  
Croquis de Localisation du Forage



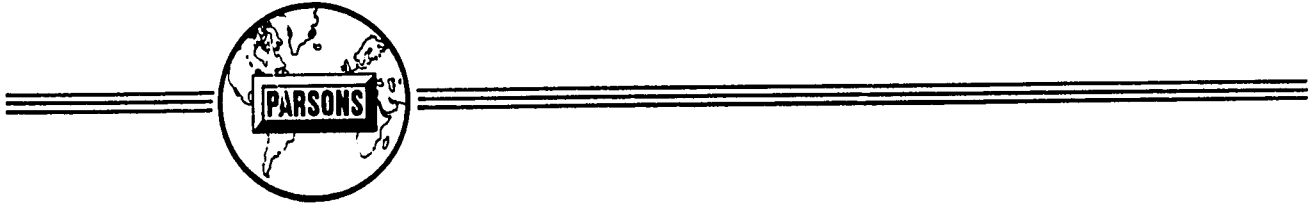
Geologic Log and Construction Diagram  
Coupe Géologique et Schéma de Construction

KEUR MANDARO WATER WELL NO. 1  
FORAGE DE KEUR MANDARO NO. 1

Well Index No. 50







Appendix B

SURVEY OF DUG WELLS

**WATER RESOURCES PROJECT**  
**SURVEY OF DUG WELLS - WEST CENTRAL SENEGAL**

Index No.	Village Name	Village Location	Type of Well	Elev. (ft)	Depth swl(ft)	Elev. swl(ft)	Conductivity (micromhos)	Well Depth (ft)	REMARKS
1	Tinbar	10 km. E. of Bambey	-	60	145	- 76	1600	147	Several wells in village area
2	Bonboye	3 km. S.W. of Dondol	Village Well	-	-	-	6000	58	
3	Dec	3 km. E. of Dangalma	Village Well	59	50	+ 9	5000	79	
4a	Dondol	-	Mission Well	-	52	-	4000	50	Hand pump installed
4b	Dondol	-	Dispensary Well	-	55	-	2500	80	
4c	Dondol	-	Village Well	-	45	-	2600	75	
5	Douada	4 km. So. Dangalma	Village Well	-	45'	-	4500	46	
6	D'Gare	2.7 km. E.W. Bonboye	Village Well	-	34	-	4000	35	
7	Dreyere	8 km. SSE Khombole	Village Well	-	39	-	1100	43	
8	Dingler	3 km. SSE Khombole	300 ft. East of Village	43	28	+15	800	44	
9	Dingler	3 km. SSE Khombole	Village Well	43	30	+13	400	30	
10	Dangalma	-	Village Well	56	47	+9	1100	49	
11	Dangalma	-	PP Station Well	56	50	+6	1400	54	
12	Dangalma	-	Cooperative Well	56	49	+7	2000	59	
13	Dangalma	-	Village chief Well	56	49	+7	3400	52	
14	Khombole	-	Railroad Well	43	27	+16	650	71	
15	Khombole	-	City Water System	43	-	+16	650	-	
11	Goundiane	7km. S.W. Khombole	School well	164	30	+125	500	49	
12	Goundiane	Edge of village	Highway well	164	30	+125	500	49	
13	Diak	8 km. S. Khombole	Village well	164	43	+121	170	50	
13	Hourrave	3 km. No. Diak	Village Well	164	44	+120	220	47	
14	Touba Severe	6km. No. Khombole	-	75	50	+ 25	850	56	
14	Touba Toul	9km. No. Khombole	Regional School Well	75	50	+ 16	750	67	
14	" "	" " "	Village Well	75	52	+ 23	650	94	Hand pump installed
15	Banpano	5 km. NE. Touba Toul	" "	75	100	+ 25	800	114	
16	Diarno	3 km. NE Banpano	" "	66	65	+ 1	850	108	
17	Santa Yane	13km. SW. Baba Garage	School Well	66	73	- 7	1000	77	
18	Baba Garage	-	So. end of Village	66	54	+12	800	56	
18	" "	-	Center of Village	66	60	+ 6	1000	62	
18	" "	-	School Well	66	54	+12	1500	56	
19	Faas Fiof	5 km. S. Baba Garage	Village Well	66	112	-46	300	118	
20	Tiop	11km. S. Baba Garage	" "	121	190	-69	300	201	
21	Nidiem Gaya	17 km. S. Baba Garage	" "	89	105	-16	1500	119	
22	Gaya Silan	10 km. N. Bambey	" "	79	90	-11	1400	47	
23	Yaye	2km. N. Dondol	Village Well	46	53	-7	2400	58	
24	LEPV All Classe	4 km. W. Dondol	" "	46	64	-18	2800	73	
25	Blok Ten	3 km. E. of Beorane N'Koro	" "	36	18	+18	650	20	
26	Beorane N'Doro	Beorane on map	" "	36	17	+19	1400	17 1/3	Cloudy water on well
26	Beorane Ville	" " "	" "	36	19	+17	900	28	
27	Tiengal	2 km. W. Goundiane	" "	167	18	+149	180	23	
28	Medina	3km. W. Dangalma	" "	56	48	+ 8	2100	53	
29	Kohane	4 km. W. Dangalma	" "	56	42	+14	1000	43	

1 foot = 0.3048 meters

WATER RESOURCES PROJECT  
SURVEY OF DUG WELLS - WEST CENTRAL SENEGAL

Index No.	Village Name	Village Location	Type of Well	Elev. (ft)	Depth swl(ft)	Elev. swl(ft)	Conduc-tivity (micromhos)	Well Depth	REMARKS
30	Bambey	Catholic Mission	Mission Well	66	51	+15	850	74	3.5m diam. well to 4ft 1m. dia. to 74'
29	Kanbaqra	4 1/2 km. W. Dongalms. 5 1/2 km. from KhorTolo on highway to Bambey	Village Well	56	52	+4	800	68	
31	Pufoon		Village Well	56	37	+19	650	47	
32	Bambey Severe	3 km. W. of Bambey	Mission Well	66	53	+13	1500	58	Hand pump in well
33	N'Goye	6 km. So. of Bambey on Fatick highway	Village Well	66	54	+12	1400	77	
34	N'Gascope	8 km. S. of Bambey	Mission Well	46	45	+1	1300	55	
35	N'Boradre	10km. S. of Bambey 3 km. from Gascope	Village Well	46	35	+11	6000	45	
36	Toucar		Village Well	23	17	+6	2200	23	
37	Gadiak	N.W. of Toucar		26	-	-		15	No water in well
38	M'Bakank	No. of Toucar	Village Well	33	33	0	3500	40	
39	Sessene	" " "	" "	39	33	+6	2100	39	
40	Batal	6 km. So. Bambey	" "	56	41	+15	2400	43	
41	Dialit	3 km. S. of Bambey	" "	66	47	+19	950	56	
42	DIARRON Makodau	0.7km. W. of Kalenene	" "	75	45	+30	850	50	
42	DIARRON Paha	0.7 km. E. Kolene	" "	75	51	+24	1500	91	
43	Neioran	3 km. W. Refane Sauf	" "		51		1500	63	Hand pump installed
44	Refane Sauf	-	" "		83		850	122	
45	Refane Aao	3km. SE of Refane Sauf	" "		59		900	82	
46	N'Diaba	4 km. NNW Dangalms	" "	56	53	+3	850	62	
11	Goundiane	-	1km. SW. of Goundiane	164	35		340	50	
10	Khombole	-	1/2 km. SE. of Khombole	43	30	+13	650	34	
10	N'Gaye	1.5km. SE. Khombole	Village Well	43	32	+9	620	44	
8	Dingler	3 km SSE Khombole	Village Well	43	37 1/2	+5	850	38	
47	Palin	8 km. SSW Gaovane	Village Well	79	110	-31	1200	129	
48	-	2.4km. NE Gaovane	Livestock Well	141	170	-29	4000	210	
49	Longar	5.2 km. SSW Gaovane	Village Well	131	168	-37	3900	175	
50	Gad	-	Village Well	148	185	-37	2200	185	
50	Gad	-	So. Edge of Village	148	170	-22	3000	171	
51	N'Diompy	Near Darou Dieng 9 km. NE Gad 4.4km. WSW of	Village Well	102	91	+11	600	105	
52	Dehulait Gadan	Tchilmakha		108	106	+2	430	106	
53	Kayé	West Touba Toul	Village Well	75	40	+35	850	44	
54	KIRIYABR Diop	7km. W. Touba Toul	Livestock Well	69	27	+41	850	27	
55	Gomene Diol	N. Thienaba	School Well	69	27	+42	180	32	
56	N'Diaye	3 km. SE Diak	Village Well		18		1000	38	Hand pump connected to ground reservoir 4m <sup>3</sup>
57	Souka	3.5 km. So. Diol N'Diaye	" "		7		260	8	
58	Ouloff Koulouk	So. Diak	" "		10		500	10.5	Cloudy water
59	Djaganalo		East side of town	85	9	+76	600	13	
60	Guitir		School Well	49	11	+38	2100	11.1	
60	Guitir		No. side of Village	49	13	+36	1300	13.2	
60	Guitir		Chief of Village Well	49	dry			11	
61	Bompama	3km. E. of Guitir	Village Well	33	8	+25	850	13	
62	Fissel		" "	26	10	+16	1000	11	

1 foot = 0.3048 meters

**WATER RESOURCES PROJECT**  
**SURVEY OF DUG WELLS - WEST CENTRAL SENEGAL**

Index No.	Village Name	Village Location	Type of Well	Elev. (ft)	Depth swl(ft)	Elev. swl(ft)	Conductivity (micromhos)	Well Depth	REMARKS
63	Langomak	SF Fissel	Village Well	26	10	+16	8000+	17	Water not used
63	Langomak		Village Well	26	10	+16	1200	10.1	Open hole dirty water
62	Guitoul	1.5km N.W. Langomak	Village Well	26	23	+3	7000	32	
62	-	2.0 km. N.W. Langomak		26	16	+10	5000	16.3	Cloudy water
62	Fissel		No. end of Village	26	9	+17	3500	10	
64	Boufoudj	N. of Fissel	Village Well	26	21	+5	8000	23	
65	N'Diassone	" " "	" "		25		2000	25.1	
66	Sasal	S.E. of Dondul	" "		18		1000	18	
65	Bloktine	" " "	" "		14		2400	15	
67	Thienab		CER Well	108	13	+95	300	19	Hand pump installed
68	Danzalmbiribir	1km. N.E. Danzalma	Village Well	56	53	+3	2100	69	
69	Koungul	4km. N. Danzalma	" "	75	54	+21	3000	58	
70	M'Bayene	7km. N. Danzalma	" "	98	54	+44	900	59	
71	Lambaye Thierno	2.5 km. So. Lambaye	" "	108	63	+45	800	75	
72	Lambaye	- -	So. W. Village Central Village Well	111	79	+33	1000	113	8 wells same SWI and quality
72	Lambaye	- -		111	90	+21	850	95	
73	Marie N'Diaye	3 km. SF Lambaye	Village Well		65		900	77	
74	N'Dorin	6 Km. SE Lambaye	" "		69		1800	78	
74	Glaban	1.5km. SE N'Dorin	Village Well		58		1600	62	
75	Bambey Severe	6 km. N.W. Bambey	" "	65	55	+10	5000	59	Well not in use
75	Bambey Severe	- -	" "	65	53	+12	2100	59	300 ft from above well
76	Bambey Severe	So. side of Bambey thombole highway	" "	63	48	+15	1800	57	
77	GAT	2km. So. Seo (Danzalma)	" "		58		3000	58.2	
78	Tuben	2km. SW. Talik	" "		42		5000	42.5	
79	Bonboye	SF. Danzalma	" "		38		6000	43	
80	Khema Fassa	1.4 km W. Bonboye	" "		32		4500	35	
81	Beouane N'Doro	1.5km. NE. Beouane N'Doro	" "		24		1900	26	
82	Beouane N'Doro	-	" "		15		1400	20	
83	N'Blot Marche	13km. SSE Khomole	Dispensary well		17		600	19	Perched water?
83	Marche	" " "	Market Well		15.5		2200	16	Regional phreatic quality-dirty water
84	Miakau	1 km. S. Blotan	Village Well		10		850	10.1	Perched water
85	Sasal Radan	2 km. S. Blotan	" "		24		700	24.5	Dirty perched?
86	N'Gander	3 km ESE Bambey	" "	66	54	+12	1000	59	
87	Feur Saer	7km. ESE Bambey	" "	66	85	-19	900	85.3	
88	Dionb	11km. ESE Bambey	" "	69	65	+4	1150	66	
89	Kadam	8 km. W. Diourbel	Village Well	69	42	+27	900	45	
90	Diourbel	- -	West edge of city	69	11	+58	1500	13	
91	Diourbel	- -	East edge of city	69	49	+20	1650	50	
92	-	2 km. NE Diourbel	Village Well	69	49	+20	1100	57	
93	Sambe Tokozone	7 km NE Diourbel	Village Well	69	75	-6	580	81	
94	Toure N'Doula	2 km. SW N'Doula	" "		62		1300	78	
95	N'Doula		" "		32		850	33	

1 foot = 0.3048 meters

WATER RESOURCES PROJECT  
SURVEY OF DUG WELLS - WEST CENTRAL SENEGAL

Index No.	Village Name	Village Location	Type of Well	Elev. (ft)	Depth swl(ft)	Elev. swl(ft)	Conductivity (micromhos)	Well Depth	REMARKS
96	Goude'	3km. NW. N'Doula	Village Well		135		5000	136	
97	N'Doufen	1km. NW. N'Doula	Village Well		101		3500	128	
98	N'Loven	8km. NW N'Doula	" "		119		1100	137	
99	Pal Sek	9km. NW- N'Doula	" "		141		850	148	
100	Pal Sek	3km. W. of above	" "		98		800	148	
101	Gundiye	5km. SE. Taiba M.	" "		60		600	69	
102	Taiba Noutoufa	- -	" "	95	122	-27	1600	145	
103	Guisinmon	8km. SE Gouane	" "		112		1300	150	
104	Rintabi	3km. SE Gouane	" "	131	230	-99	3200	240	
105	Tiep Baro	2km. W. Tiep	" "	121	152	-31	1700	158	
106	Tassar	4km. NW. Larbaye	" "		100		1100	103	
107	Diarak	5km. Blotan Marche	" "		152		5500	178	
108	Ay	10km. SE Blotan Marche	" "		52		4800	178	
109	Bafay	14km. SE Blotan Marche	" "		33		1600	33.5	
110	Jone Matina	11km. SEB Bambe	" "		45		950	50	
111	Tiodio Goye	3km. N. of above	" "		47		750	60	
112	Conene	13km. SEW Bambe	" "	39	25	+14	1100	25.1	
113	N'Gayo Hene	Near N'Boyene	" "	66	75	-9	750	75.6	
114	Tiahitou	E of Baba Ganase	" "		110		1300	112.6	
115	Keur Saiber	" " "	" "		133		750	163	
116	Keur Galrou	" " "	" "	146	150	-2	1300	160	
117	Yasak Korteyok	SW. of Taiba Noutoufd	" "	102			1300	160	
118	Quara Diar	SW. Noutoufd	" "	67			700	75	
119	Gargan	N. Tiarhar	" "	100			950	118	
123	Diarou Varnane		" "	136	101		900		Deep well turbine pumping 2m <sup>3</sup> /hr.
124	Fass Keur Sambre	25km. West of Fass	" "	134	200		2600	202	
125	Keur Water	4km. West of Fass	" "	134	161		1800		
126	N'Guebuel	7km. NE of Tchilmakha	" "	125	160		2100		
127	Gullene	2.5km. NE. Tchilmakha	" "	121	130		1000	131	
128	Tchilmakha	- -	" "	118	117	+1	600	122	Windwell pump installed in well inoperative
130	Niakhene	- -	School Well	108	91	+17		95	
"	"	- -	Arrondissement HQ. Well	108	95	+13	600	103	
"	"	- -	CER Well	108	91	+17		94	
"	"	- -	Market Well	108	94	+14		98	
"	"	- -	Cooperative Well	106	96	+12		106	
"	"	- -	Village Chief Well	104	86	+12	660	92	
131	Merina N'Dakhav	- -	Arrondissement HQ. Well	105	97	+8	640		
"	"	- -	CER Well	105	96	+7	660		
132	Fass	- -	Village Well	134	218		5000	220	
133	Diampi	No. of Pekess	" "	102	97		440	103	
134	Tabby	So. of Merina N.	" "	99	88		1200	92	
135	Diokoul Tabby	" "	" "	92	56		1100	65	

1 foot = 0.3048 meters

WATER RESOURCES PROJECT  
SURVEY OF DUG WELLS - WEST CENTRAL SENEGAL

Index No.	Village Name	Village Location	Type of Well	Elev. (ft)	Depth swl(ft)	Elev. swl(ft)	Conductivity (microhos)	Well Depth	REMARKS
136	Bniel M'Bayone	3km. N.N. Touba Kane	Village Well	82	72		1200	76	
137	Touba Kane	-	" "	82	63±		850	73	
138	Darou Gaye	5km. E. Diak Sao	" "	82	76±		1400	84	
139	Diak Sao	E. of Pire	" "	82	dry			163	Used as cistern
140	Fass Pire	11km. ESE Pire	" "	89	32±		1500	32	2 inches of H <sub>2</sub> O
141	Goureye	-	" "	148	64	+84	1400	67	
142	Ain-Mahdy	4.8km. S. Pire	" "	108	27	+81	190	27.3	
143	Niakhar	Fatick Dept.	" "	26	18	+8	2000		28 September, 68
143	Niakhar	" "	Church Well	26	35	-9	1500	35½	" " "
143	Niakhar	" "	Central Well	26	16	+10	3000	28	" " "
143	Niakhar	" "	Michele Well	26	18	+8	190	20	Located in ceone ¼ km. N. Fatick
144	Thiadiye	" "	Village Well	49	17	+31	400	19	28 September, 68
145	Sessene	M'Bour Dept.	" "		23		600	61	" " "
146	Sandiara	" "	" "	49	23	+26	460	27	" " "
147	Forestly Camp	4km. E. M'Bouz	Camp Well		15		460	17	
148	-	6.5km. E. M. Bour	Irrigation Well		14		350	15	Used for irrigating (by hand) orchard
149	Keur Balla	7.5km. E. M'Bour	Village Well		18		400	19	
59	Dinga-niaco	M'Bour Dept.	Mosque Well	85	15	+70	600	16	
59	"	"	Abandoned	85	14	+71	400	20	
150	Tiele	6km. W. Baba Garage	Village Well		65		300	71	
151	Sintieu Fine	11km. WNP Baba Garage	" "	89	53	+36	-	59	Cond. meter inoperative
152	Golbe'	9km. W. Baba Garage	" "		55		320	60	
153	Diadiak	14km. So. Bamby	" "	33	32	+1	1700	35	
154	Patar	20km. So. Bamby	" "		30		1900	40	
155	-	4km. E. Patar	" "		40		4500	60	
156	Bakoudian	E. of Patar	" "		15		1000	16	
157	N'Diop	" "	" "	36	62	-29	900	70	
158	South N'Diop	" "	" "	36	53	-17	1800	59	
159	Galagne	South of N'Dion	" "		30		2000	38	
160	N'Dofene	" " "	" "	39	50	-11	3400	83	
161	Diakhao	E. of Niakhor	" "	33	32	+1	1800	38	
162	Sorop	" "	" "	27			3800	42	
163	M'N'fara	So. Niakhar	" "		13		1200	17	
164	Sa'e	"	" "		10		230	10.2	Located in ceone
165	M'Boudaye	" "	" "	20	16	+4	200	16.2	
166	-	NE. Fatick	" "		10		200	13	
167	N'Gouye	NE Fatick	" "		12		390	14	
168	Bikal	" "	" "		12		280	14	
169	Diarer	" "	" "		10		800	16	
170	Binandar	W. Niakhar	" "		17		2000	17.1	
171	Lem Dar	" "	" "		17		900	17.1	
172	Diohine	" "	" "		12		1600	13	

1 foot = 0.3048 meters

WATER RESOURCES PROJECT  
SURVEY OF DUG WELLS - WEST CENTRAL SENEGAL

Index No.	Village Name	Village Location	Type of Well	Elev. (ft)	Depth swl(ft)	Elev. swl(ft)	Conductivity (microhos)	Well Depth	REMARKS
173	Godene	W. Niakhar	Village Well		15		3500	15.5	
174	M'Bouror	West of M'Bour	" "		30		1100	33	Bottomed in lime and marl
174	"	" "	School Well		17		120	17.2	Bottomed in sand
175	M'Bouror Serere	3km. NNW M'Bouror	Village Well		15		2000	19	
176	Keur Dagouad	3km. W. M'Bour	" "		13		625	13.3	
177	Crusment Peul	16km. SSE M'Bour	" "		10			10	Open hole in cranc in ceone
178	M'Diamane	" " "	" "	75	15	+60	700	15.3	
178	M'Diamane Gagn. baigar	16 km. SSE M'Bour	Chief's Well	75	15	+60	700	19	Bottomed in lime (marl)
179	"	9km. SE. M'Bour	Village Well		17		1600	23	
179	"	" "	" "		25		400	39	
180	Sidi-Bougor	6km. SE. M'Bour	Village Well		15		2000	16	
181	M'Dianda	25km. SSE M'Bour	Central Well	52	22	+30	2000	30	Marl 18 ft. Bottomed in limestone
181	"	" "	South Well	52	20	+32	700	40	
182	M'Dafane	" "	Village Well		10		400	22	
183	M'Gueniene	" "	Mission Well	49	28	+21	750	65	Marl at 40 ft. Limestone 4 65
184	"	2km. W. of above	Livestock Well		13		500	13.2	Marl at lime at 17 ft.
185	Keur M'Goyda	6 km. W. M'Gueniene	Village Well	72	11	+61	540	11	Bottomed in limestone
186	"	9km W. M'Gueniene	" "		12		300	14	Limestone 17 ft.
187	Bala-Bougor	NE. of M'Diamane	No. Well						Obtain water from Marizot
188	M'Anyane	10km. SW. Thiadiaye	Village Well		70		700	95	Sand laterite, marl, silex, limestone 60s
189	M'Fidou-deout	6km. SW Thiadiaye	" "		68		800	88	As above w/water
190	"	4km. SW. Thiadiaye	" "		17		950	19	Perched water?
191	Niomar	6km. N. Thiadiaye	" "		12		3000	15	
192	FAO	7km. N. Thiadiaye	" "		32		1100	58	Marl @ 13 ft.
193	Ning	3km. NNW. Diaganao	Village Well		10		1000	13	Bottomed in sand
194	Taset	24km. NNE. M'Bour	Market Well	82	67	+15	900	77	
194	"	" "	Village Well	82	60	+22	650	73	Evidence of marl
195	Keur Amadou Matay	20km. NNE M'Bour	" "		42		550	50	
196	Keur Abba Diac	15km. NNE. M'Bour	" "	55	38	+17	1500	44	Bottomed in Knaitic limestone
197	Keur Moussan	14km. NNE M'Bour	" "		32		1500	47	
198	"	" "	East Village		28		800	43	Bottomed in Crystalline limestone
199	Tene Toubab	11km. N. M'Bour	No. Village		22		900	25	Rock at 20 ft.
199	"	" "	Market Well		20		1800	23	
200	Malikounda Oualoff	9km. N. M'Bour	Village Well		28		350	35	Bottomed in Lat-rite @23' (top)
200	"	" "	" "		28		650	32	
201	Malikounda Bamba	7km. N. M'Bour	" "		33		1000	35	Bottomed in laterite
203	M'Gueniene Peul	4km. NW. of M'Guoniene	" "	60	none	at least -35ft.	No Water	95	Top of Eocene @ depth 10 ft.
202	M'Boulen	9km. ESE M'Bour	" "		21		900	30	
204	M'Gueleh	NE. M'Dafane	" "		12		850	13	Perched water
205	Fadial	E of Soal	" "		10		300	11	" " CT
206	M'Bissel	" "	" "		8		340	8.2	" " "
207	K'Samba Dia	SE Joal	" "	13	10	+3	400	11	" " in sand

1 foot = 0.3048 meters



**WATER RESOURCES PROJECT**  
**SURVEY OF DUG WELLS - WEST CENTRAL SENEGAL**

Index No.	Village Name	Village Location	Type of Well	Elev. (ft)	Depth swl(ft)	Elev. swl(ft)	Conductivity (micromhos)	Well Depth	REMARKS
208	Leoni	NE Joal	Village Well		13		2500	40	Bottomed in laterite
209	Ve'lingara	SE Joal	" "		16		750	29	Bottomed in lime below laterite
210	Papamana	" "	" "		10		400	11	
182	N'Dafane	" "	Spring Well No. edge of village		38		60	40	
182	"	" "	200 m. north of village		58		-	58.1	*No Sample possible
182	"	" "	" "		13		100	14	Perched water
211	Foua Fassan	20km. NE. Joal	Village Well		2		400	12.1	Perched in CT
212	Apn Babou	21km. NE. Joal	" "				650	60	Dug through marl bottomed in lime
213	"	3km. from above well	" "		76		650	76.4	Dug through much marl
214	N'Gol	7km. E. N'Diamane	" "		15		650	68*	Bottomed in lime dug in 1959*
215	Samrn	14km. E. N'Bour	" "		22		1150	30	Bottomed in marl
216	Sousiane	17km. E. M'Bour	" "		82		750	82.1	" " "
217	Fissel Diouka	20km. E. M'Bour	" "		17		400	80	Completed in lime
218	Diouka Tiaro	16km. E. M'Bour	" "		80		750	90	
146	Sandiora	20km. E. M'Bour	" "		22		250	45	Bottomed in lime
146	"	" "	" "		22		450	42	" " "
219	Dofanrar	SE Thiadiaye	School Well		7		400	17	Bottomed in laterite
220	Madandan	" "	Village Well		40		1000	60	
221	Boyar	So. Thiadiaye	" "	20	8	+12	950	28	
222	N'Tiol	" "	" "	43	12	+31	200	14	
223	Nianning	SE M'Bour	School Well	13	14	+1	2000	15	
223	"	" "	Central Village Well	13	13	0	1000	18	
223	"	" "	Irrigation Well	13	10	-3	4000	11	
223	"	" "	Mission Well	13	15	-2	4000	20	
224	Malikounda	Mo. of M'Bour	Village Well		18		340	19	
225	Babel	3km. SE Tone Toubes	" "		25		1100	29	
226	-	4km. E. Nianning	Livestock Well		48		3000	49	Newly dug marl well
227	Bala-bougar	10km. E. Nianning	Village Well		90		1200	95	" " " "
228	Couly	11km. E. M'Bour	" "		17		1300	21	Perched water
229	Miorhar	13km. E. M'Bour	" "		48		900	92	
230	Tico	15km. SSW Thies	" "		92		-	92	No water dug through lower Eocene marl dry well dug
231	Kissane	12km. SSW Thies	School Well		135		No water	137	Located in Marigot area
231	Kissane	12km. SW Thies	School Well		38		220	43	
232	Sanfre Diabassa	12km. So. Thies	Village Well	262	27	+235	220	42	Laterite well
233	Sanfre	1km. E. Sanfre Diabassa	" "	262	26	+234	240	29	" "
234	Sanfre (mission)	2 km. E. Sanfre "	Mission Well	262	48	+214	350	55	" "
235	Peler	12km. So. Thies	Village Well	262	19	+243	200	21	" "
236	Tatene Severe#1	" " "	" "	262	25	+237	180	29	Laterite well?
237	" " #2	" " "	" "		58		450	60	Marl well
238	Tatene Barbera	" " "	" "		25		105	28	Laterite well
239	Diak	15km. SSE Thies	" "	131	18	+113	350	58	Laterite?
239	"	" " "	School Well	131	23	+108	220	40	

1 foot = 0.3048 meters

WATER RESOURCES PROJECT  
SURVEY OF DUG WELLS - WEST CENTRAL SENEGAL

Index No.	Village Name	Village Location	Type of Well	Elev. (ft)	Depth swl(ft)	Elev. swl(ft)	Conduc-tivity (microhmhos)	Well Depth	REMARKS
240	Louty M'Bafoye	12km. E. M'Bour	Village Well	33	15	+18	450	32	Bottomed in laterite
241	Louty N'Dicyone	" "	" "		18		550	20	" " "
242	Louty Niar	" "	" "		15		-	15	
243	N'Diagne	11km. NE. M'Bour	" "						Bottomed in limestone
244	Louty N'Gagom	14km. E. M'Bour	" "		18		1500	28	
245	Sindiane Kibik	13km. NE. M'Bour	Chiefs Well		20		1500	37	Bottomed in limestone
246	M'Dadep	15km. N.E. M'Bour	Village Well		22		1000	40	Bottomed in limestone
247	Chirif	16km. NE. M'Bour	" "		22		800	37	
248	Tarhoum	9km. NE M'Bour	" "		30		?	41	
249	Babak	9km. So. Thies	" "	230	50	+160	400	54	Bottomed in laterite
249	Babak	8km. So. Thies	Satellite Village well	230	25	+205	400	34	" " "
250	Taoua	6km. S. Thies	Irrigation Well	200	15	+185	400	19	Bottomed in sand over-lying laterite
251	Taoua	5km. S. Thies	Livestock Well	211	20	+189	400	25	Laterite @ 15 ft.
252	Lalane	7km. N. Thies	Village Well	197	60	+137	?	60	Bottomed in marl
253	K. Mouri M'Daye	5km. NE. Thies	" "		11		400	12	Completed in sand
254	Fandine	6km. ENE Thies	" "		18		400	20	" " "
255	Koussone	8km. E. Thies	Mission Well		11		400	14	Dug wholly thru laterite
256	Damban-goye	7km. E. Thies	Village Well		12		400	12.1	Dug in sand
257	Keur Ma-sar Arom	7km. ESE Thies	" "	164	15	+159	400	15.1	Completed in sand
258	Pevkouk	4km. SE Thier	" "		20		400	28	Top of laterite at 8 ft.
259	K. Daouda Classe	6km. SE Thies	" "		11		400	11.1	Completed in sand
260	K. Ibra-hati Gueye	7km. SSE Thies	" "	197	19	+178	400	23	Completed in sand
261	K. Ibra-Fall	7km. S. Thies	" "	230	28	+202	400	32	" " Laterite
262	Diougane	10km. S. Thies	" "		40			43	" " "
263	Thies Silmane	2km. So. Thies	" "		40	+149	400±	43	
264	K. Demba Debe	10km. SSE Thies	" "	164	15		400±	17	
265	K. Madram Wade	7km. SSE Thies	" "		13		380	14	
266	K. Amadou Diogo	7km. SE Thies	" "		15		400±	15.1	
267	K. Sara Baxane	7km. SE Thies	" "		13		400±	18	
268	Karamako	7km. ESE Thies	" "		14		400±	17	

1 foot = 0.3048 meters