

PD-ABD-854

**REPertoire ET RAPPORT DE
SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUES
ENVIRONS DU BARRAGE DE MANANTALI
CARTE DE BAFOULABE (27)**

**Projet OMVS/USAID 625-0958
Eaux Souterraines**

Rapport Final

Volume III

June 1990

 **INTERNATIONAL SCIENCE
AND TECHNOLOGY
INSTITUTE, INC.**

PD-ABD-854

REPertoire ET RAPPORT DE
SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUES
ENVIRONS DU BARRAGE DE MANANTALI
CARTE DE BAFOULABE (27)

Projet OMVS/USAID 625-0958
Eaux Souterraines

Rapport Final

Volume III

Redige conjointement par:

OMVS/DIR/PES
International Science and Technology Institute, Inc.

June 1990



INTERNATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE, INC.
1129 Twentieth Street, N.W., Washington, DC 20036
202-785-0831 • Telex: 272785 ISTI UR • Fax: 202-223-3865

TABLE DES MATIERES

1 PRESENTATION DU PROJET	
1.1 Origine du projet	1
1.2 Objectifs du projet	2
1.3 Auteurs de ce rapport	3
1.4 Intervenants dans ce projet	3
2 DESCRIPTION DU MILIEU NATUREL	
2.1 Géographie physique	4
2.2 Réseau hydrographique	4
2.2.1 Cours d'eau principal	4
2.2.2 Cours d'eau secondaires	4
2.3 Géologie	5
2.3.1 Cadre Régional	5
2.3.2 Cadre Local (environs du Barrage)	5
2.4 Considérations structurales	6
2.5 Eaux souterraines	8
3 CARACTERISATION DU MILIEU AQUIFERE	
3.1 Prospection géophysique	9
3.2 Travaux de forage	9
3.3 Description structurale des environs du barrage	10
4 CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE	
4.1 Essai de perméabilité à niveau descendant (valeur KK du tableau)	16
4.2 Pompages d'essai	17
4.3 Productivité hydraulique par formation géologique	18
4.4 Chimie des eaux souterraines	20
5 CYCLE DES FLUCTUATIONS ANNUELLES	
5.1 Réservoir de Manantali - Variations limnimétriques	26
5.2 Fluctuations des niveaux piézométriques	28
5.2.1 Zone #1 - MA001, MA002 et MA003 - rive droite du Bafing aval du barrage	29
5.2.2 Zone #2 - MA004 - rive gauche du Bafing aval du barrage	29
5.2.3 Zone #3 - MA005 - rive gauche du Bafing aval du barrage	29
5.2.4 Zone #4 - MA006, MA007 et MA008 - rive droite du Bafing en amont du barrage	30
5.2.5 Zone #5 - MA009, MA010 et MA011 - rive droite du Bafing aval du barrage	30
5.2.6 Zone #6 - MA012, MA013 et MA014 - rive gauche du Bafing aval du barrage	31
5.2.7 Zone #7 - MA0015 - rive gauche du Bafing aval du barrage	31
5.2.8 Zone #8 - MA016 et MA017 - rive gauche du Bafing aval du barrage	32
5.2.9 Zone #9 - MA018, MA019 et MA020 - rive droite du Bafing en aval du barrage	33
6 CONCLUSIONS	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES UTILISES	

LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE # 1: Pour chacun des piézomètres, * Coupes géologiques et techniques, * Coupes géologiques avec les commentaires, * Descriptions stratigraphiques, * Guide lexicologique.
- ANNEXE # 2: Sections géologiques
- ANNEXE # 3: Analyses d'eau: * Commentaires pratiques, * Résultats des analyses/ fiches signalétiques, • Représentations graphiques.
- ANNEXE # 4: GES - Graphiques, Variations piézométriques en fonction du temps, Période d'observation du 30/09/88 au 01/01/90.
- ANNEXE # 5: Paramètres hydrologiques du barrage de Manantali, observés sur la période 1986 - 1989.
- ANNEXE # 6: Station météorologique de Mahina, observations climatologiques, période d'observation 1986 - 1989.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau #1: - Manantali barrage - perméabilité de fractures dans l'axe du barrage	7
Tableau #2: de synthèse des paramètres de base - tous ouvrages confondus	9
Tableau #3: de synthèse des caractéristiques techniques des piézomètres	10
Tableau #4: Décompte des accidents structuraux	10
Tableau #5: Inventaire des accidents structuraux par piézomètre	11
Tableau #6: Mètre linéaire foré et taux de fracturation par formation géologique	13
Tableau #7: Ventilation du nombre des accidents par formations géologiques et représentativité	13
Tableau #8: Résultats de l'interprétation des pompages d'essai réalisés dans les environs du barrage de Manantali, Mali.	18
Tableau #9: Décompte des débits (air lift) par formation géologique	19
Tableau #10: Faciès hydrogéochimique, TDS et SAR par piézomètre	20
Tableau #11: Résultats des analyses chimiques provenant du laboratoire DNHE	22
Tableau #12: Valeurs de pH et conductivité comparées entre Juin et Septembre 89	23
Tableau #13: Concentration comparée du Chlore (mg/l)	24
Tableau #14: Concentration comparée du Nitrate (NO ₃ ⁻ en mg/l)	24
Tableau #15: Février 1989 - concentration de l'élément Fer (Fe ⁺⁺)	25
Tableau #16: Février 1989 - Turbidité (Jackson Turbidity Unit - JTU)	25
Tableau #17: Remontée du niveau piézométrique entre les mois de juin et septembre 89.	28

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Zone du barrage - échelle stratigraphique	5
Figure 2 Variations du nbre accidents structuraux en fct de la profondeur forée dans le socle	12
Figure 3 Pourcentage des mètres linéaires forés par formation géologique	14
Figure 4 Taux de fracturation par formation géologique	15
Figure 5 Productivité par formation géologique	19
Figure 6 Année 1989: Variations limnimétriques du Bafing en aval du barrage de Manantali.	27
Figure 7- Période 1987 - 1989: Variations limnimétriques du réservoir du barrage de Manantali.	27

1 PRESENTATION DU PROJET

1.1 Origine du projet

L'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS) et l'Agence Américaine pour le Développement International (USAID) ont signé un Accord de Subvention pour le Projet d'Aménagement des Eaux Souterraines 625-0958, en date du 30 août 1983. La signature de cet Accord de Subvention a été possible suite à une étude environnementale réalisée par Gannet Flemming en 1970 et revue en 1979 par M. George C. Taylor.

Le projet, sur financement USAID, a démarré ses activités sur le terrain en janvier 1985 et s'est achevé le 30 juin 1990.

1.2 Objectifs du projet

Les buts et les réalisations escomptés (objectifs à court et moyen terme), énumérés dans le Document de Projet (Project Paper Document) étaient:

- 1) l'élaboration d'un plan directeur de gestion des eaux de surface et souterraines,
- 2) le développement d'un système de gestion des données pour le compte de l'OMVS,
- 3) la mise au point d'une méthode de compilation et d'analyse des données,
- 4) la formation du personnel OMVS à la mise en place du plan directeur de gestion des eaux de surface et souterraines,
- 5) la construction d'un réseau piézométrique OMVS.

L'objectif 1) et conséquemment, l'objectif 4) ont été révisés et redéfinis au cours de la période d'activités du projet, suite aux interventions des experts à court terme, M. M. Vandenbeusch du BRGM, M. E. Bolke, USGS et M. E. Weiss, USGS. Ce point est traité en détail dans le rapport d'évaluation final du projet (Réf.: Reeser et Dendrou). Au point 1) s'est substituée l'obligation de rédiger deux rapports de synthèse relatifs à la région du delta du fleuve Sénégal- Volume II - et aux environs du barrage de Manantali - Volume III.

Ce présent rapport constitue le Volume III couvrant les environs du barrage de Manantali.

De façon générale, les activités du projet, limitées à la vallée du fleuve Sénégal et aux environs du barrage de Manantali, ont été axées sur la collecte et l'analyse des données hydrogéologiques, climatiques et limnimétriques, et le développement d'un outil de gestion informatique de ces données. Celles-ci proviennent:

- * d'abord, de la construction du réseau piézométrique OMVS constitué de 569 piézomètres localisés dans les limites de la vallée du fleuve Sénégal entre Bakel et le barrage de Diama et de 20 piézomètres localisés autour du barrage de Manantali,
- * de la juxtaposition de puits villageois au réseau piézométrique OMVS portant le total des points d'observations hydrogéologiques à 1151 ouvrages,
- * ensuite, du suivi hydrogéologique de l'ensemble du réseau
- * du regroupement des données limnimétriques et climatiques recueillies par des Tiers.

L'OMVS cherche, dans le cadre de ce projet, à se doter d'un dispositif d'observation hydrogéologique lui permettant de suivre l'évolution de la nappe superficielle en fonction de l'exploitation des aménagements actuels et projetés dans les limites de la vallée du Fleuve Sénégal (barrages/ périmètres hydroagricoles).

L'analyse des données recueillies devrait permettre d'étudier:

- a) l'impact de l'exploitation des barrages de Diama et Manantali sur les aquifères au droit du lit mineur du fleuve,
- b) l'importance de la remontée de la nappe d'eau salée dans les limites des périmètres hydroagricoles, en particulier en aval de Podor,
- c) l'importance de la recharge naturelle des aquifères alluvionnaires et des aquifères sous-jacents à la vallée du fleuve Sénégal,
- d) les mécanismes de contamination liée à l'usage des engrais et pesticides,
- e) les potentialités hydrogéologiques des différents réservoirs aquifères.

1.3 Auteurs de ce rapport

Ce rapport, disponible en français et en anglais, a été rédigé par l'ingénieur conseil (ISTI) en collaboration avec M. A. Diagana, D.E.A en hydrogéologie, Université Cheick Anta DIOP, Dakar, suite à l'exploitation des bases informatiques GES (réalisation du projet) et Groundwater ainsi que des nombreux outils informatiques annexes (WP5, Lotus, Surfer, Grapher et autres).

M. Thomas Pekiutowsky, expert indépendant a rédigé les annexes #5 et #6. L'annexe #5 cumule les données hydrologiques moyennes mensuelles des environs du barrage de Manantali (période 1986 - 1989: 4 année) et l'annexe #6 présente les paramètres climatologiques moyens mensuels pour la même période.

1.4 Intervenants dans ce projet

La rédaction de ce rapport couvrant les environs du barrage de Manantali a été possible grâce à l'effort conjugué de plusieurs intervenants dont:

- * les effectifs nationaux du bureau de secteur de Manantali, responsables de la collecte et du pré-dépouillement des données sur le terrain,
- * les effectifs nationaux du bureau central (M. O. Ngom, chef de projet, Ndar Toute, St Louis), responsables de la coordination des activités sur le terrain de chacun des bureaux de secteur (M. L. Sangare, chef de secteur de St Louis, Sénégal, M. A. Ndiayes, chef du secteur de Rosso, Mauritanie et M. Toure, chef de secteur de Manantali, Mali).

Cette structure de projet sous la tutelle de l'OMVS/DIR (Département des Infrastructures Régionales) a bénéficié de l'appui d'experts techniques à long terme (ISTI) et à court terme (USGS, BRGM et INFORMISSION).

ISTI a appuyé l'OMVS dans la gestion quotidienne de ce projet pour atteindre les objectifs visés en détachant auprès du chef de la Cellule Eaux Souterraines (PES), un ingénieur conseil, M. D. Richard.

INFORMISSION a été responsable du développement et de la mise en place de la base de données informatisée (GES) grâce à l'intervention ponctuelle de MM. M. Fortin, L. Brunelle et M. M. Migneault, tous spécialistes en informatique).

Les organismes BRGM (M. M. Vandenbeusch, hydrogéologue) et USGS (M. E. Bolke, hydrogéologue, M. R. Hollway, hydrogéologue informaticien et M. E. Weiss, hydrogéologue, spécialiste en modèle) ont été responsables de l'orientation des travaux d'interprétation.

2 DESCRIPTION DU MILIEU NATUREL

2.1 Géographie physique

Les environs du barrage de Manantali, concernés par ce rapport, sont délimités par les latitudes $10^{\circ} 5'$ et $10^{\circ} 55'$ et les longitudes 13° et $13^{\circ} 30'$. Cette région renferme le Bafing, principal affluent du Fleuve Sénégal. Cet affluent rejoint un deuxième, le Bakoye, à la ville de Bafoulabe (point de confluence du Bafing et du Bakoye) à quelque 90 km au Nord Ouest du barrage, pour donner naissance au fleuve Sénégal.

Cette région s'inscrit dans une unité géomorphologique plus vaste, désignée Plateau Mandingue. Cette unité régionale est décrite dans le détail par P. MICHEL¹, lequel mentionne qu': " Il ne s'agit pas, comme le laisserait croire son nom, d'un vaste plateau homogène, mais d'une succession de plateaux d'altitudes variables, séparés par des alvéoles, des couloirs et des plaines. C'est uniquement sur ses bordures que le Plateau Mandingue présente une allure massive, se terminant à l'Ouest par la falaise de Tambaoura, au-dessus de la plaine de la Falémé, et au Sud par les Monts Mandingue, au-dessus du bassin de Sigiri".

Les cotes topographiques maximales observées sur les rives droite et gauche du Bafing² varient respectivement de 350 à 450 m/ 0 IGN et de 350 à 530 m/ 0 IGN.

Le Plateau Mandingue est le domaine géologique des formations infracambriennes constituées de dépôts silto-gréseux subhorizontaux (faible pendage) avec des alternances de grès siliceux et de grès schisteux. Ces dépôts sont recoupés par de nombreuses intrusions doléritiques (Dykes, Sills, batholites et lacolites).

La géomorphologie du site du barrage est caractérisée par un resserrement relativement prononcé des falaises subverticales qui bordent la partie basse de la vallée du Bafing. Dans les limites de la région du barrage, la cote de la partie amont du Bafing est de 171 m/0 IGN et celle correspondant à la partie aval: 115 m/0 IGN. Au niveau du barrage, la cote du lit du Bafing est à 152 m/ 0 IGN.

2.2 Réseau hydrographique

2.2.1 Cours d'eau principal

L'axe d'écoulement principal dans la région est le Bafing. De façon générale, son cours est orienté S-N et localement E-O à la hauteur du site du barrage (voir carte 1/200 000). Cet affluent dans son cadre naturel est pérenne.

2.2.2 Cours d'eau secondaires

Les cours d'eau secondaires sont non pérennes et sans nom à l'exception du Koundia en rive droite (RD) du Bafing. L'extension de leur cours est très limitée, 3 à 4 km en rive gauche (RG) et 10 à 30 km en RD. Ces cours d'eau secondaires tarissent en saison sèche et, en hivernage, ils constituent le réseau de drainage naturel des eaux de pluies en direction du cours d'eau principal.

Avec la mise en eau du barrage de Manantali (juillet 1987), le réseau hydrographique a été fractionné en zones amont et aval autour d'un axe central: le barrage.

La zone amont correspond à la région occupée par le réservoir du barrage. La superficie³ de ce réservoir varie de 272 km² à la cote 187 m/0 IGN et de 477 km² à la cote d'exploitation maximale: 208 m/0 IGN. Le volume d'eau pouvant être stocké à la cote d'exploitation maximale est estimée à 11 milliards m³ (selon Mr KONARE Directeur du Barrage Manantali).

¹ R.É.: MICHEL, 1969, Tome 1, p. 9-10 et 48-49.

² Voir la carte topographique IGN, 1/200,000 de Bafoulabe.

³ R.É.: Groupement de Manantali, 1979, Mission A2.1, Textes, p. 76.

La zone aval est la portion du réseau hydrographique subissant un déficit hydrique lié à la capacité de stockage du barrage.

L'ensemble de ce réseau hydrographique (cours d'eau principal et secondaires) délimite dans la région du barrage une partie d'un bassin versant de faible superficie (voir la carte de localisation du réseau piézométrique OMVS, 1/200,000).

2.3 Géologie

2.3.1 Cadre Régional

Dans les limites du Plateau Mandingue⁴, les différentes formations géologiques cartographiées sont:

- * *les formations récentes*: comprenant des alluvions anciennes et des terrasses,
- * *la Couverture du Protérozoïque Supérieur et Terminal*: représentée par les groupes successifs de *Nioro* (dolomie calcaire, grès feldspathiques, argilite, silicites et tillites), de *Bakoye* (argilites, silstones et grès) et de *Souroukoto* (grès, argilites).
- * *le socle du Protérozoïque Inférieur*: représenté par le Birrimien sédimentaire et volcano-sédimentaire (grauwackes et conglomérats, formations sédimentaires métamorphiques et complexe volcano-sédimentaire). Ces formations n'affleurent pas dans les limites du Plateau Mandingue.

Les affleurements du groupe de Bakoye occupent la majeure partie de la superficie de la région du barrage de Manantali.

2.3.2 Cadre Local (environs du Barrage)

Dans les limites des environs du barrage de Manantali, le Groupement de Manantali⁵, responsable de la construction du barrage, a codifié les différentes formations de la série lithostratigraphique du groupe de Bakoye (voir section 2.3.1). afin de procéder à la caractérisation géotechnique du site du barrage de Manantali.

Le lecteur trouvera schématiquement représentée, ci-après, la coupe géologique et les codes proposés par le Groupement de Manantali⁶, subdivisés en:

- * Formations Récentes/Quaternaire
- * Complexe Supérieur/série Bakoye
- * Complexe Inférieur/série Bakoye

Les descriptions ci-dessous sont des extraits du rapport du Groupement de Manantali:

⁴ R.É.: Carte Photogéologique du Laboratoire de géologie Dynamique St-Jérôme Marseille en collaboration avec la Direction Nationale de Géologie et des Mines du Mali 1/200 000.

⁵ R.É.: Groupement de Manantali, 1978, Mission a1.6, Volume 1, p. 19-23.

⁶ R.É.: Groupement de Manantali, 1979, Mission A2.1, Texte. p.19.

* Formations Récentes

Elles constituent les terrains de couverture que l'on peut subdiviser comme suit :

- dépôts alluvionnaires du Bafing, ceux ci sont essentiellement des silts argileux qui contiennent des traces d'oxyde de fer et des matières organiques. L'épaisseur de ces dépôts varie de 3 à 7 m au voisinage du fleuve, va en s'amenuisant vers les versants

- latéralement ces dépôts passent progressivement à un mélange d'alluvions et de produits provenant des flancs de la vallée appelés colluvions. L'épaisseur de ces dépôts est comprise entre 1 et 5m.

- le pied des versants est recouvert par des éboulis de pentes dans lesquels on trouve des blocs atteignant parfois plusieurs mètres cubes. L'épaisseur de ces éboulis peut atteindre 7m.

- sur le plateau, la couverture se limite à de petits placages de terre végétale et de petites accumulations de blocs.

• Complexe Supérieur :

Il est représenté par deux types de formations gréseuses que l'on distingue de haut en bas

Grès (C) : grès quartzites durs, compacts, massifs, très recristallisés (métamorphisé) à grains fins. Son épaisseur est supérieure à 50 m

Grès (B) : grès quartzites gris-verdatres très compacts homogènes, fortement cimentés par du quartz. Son épaisseur dépasse les 50 m.

* Complexe Inférieur

Il est représenté par trois types de formations gréseuses et une formation pélitique:

Grès 0 : grès à grains fins à moyens, de couleur beige à brun-gris. Son épaisseur varie de 10 à 36 m.

Grès (1A) : grès ferrugineux à grains fins à moyens, brun à brun-violacé. Les grains le quartz et les feldspath sont cimentés par un liant essentiellement quartzeux et ferrugineux. Son épaisseur varie de 10 à 37 m.

Pélite (1B) : alternance de niveaux pélitiques ferrugineux, de calcaires, de jaspes et /ou de tufs volcaniques dans lesquels s'intercalent de fins lits de grès à grains fins à moyens. Cette entité est très feuilletée dans les niveaux pélitiques. Son épaisseur varie de 6 à 25 m.

Grès (2) : grès quartzeux passant du brun gris à violacé progressivement envahi par des taches et des rubans plus clairs. Le grès, essentiellement quartzto-feldspathique, est cimenté par des silicates. Son épaisseur peut atteindre 35m.

Schistes argileux (3): gris foncés. Son épaisseur est supérieure à 13m.

2.4 Considérations structurales

Le site du barrage est formé par un resserrement relativement prononcé des falaises subverticales qui bordent, sur les deux rives, la partie basse de la vallée.

Cette rupture de pente très accusée qui marque le pied des falaises correspond approximativement à une discordance stratigraphique au sein des formations subhorizontales infra-Cambriennés.

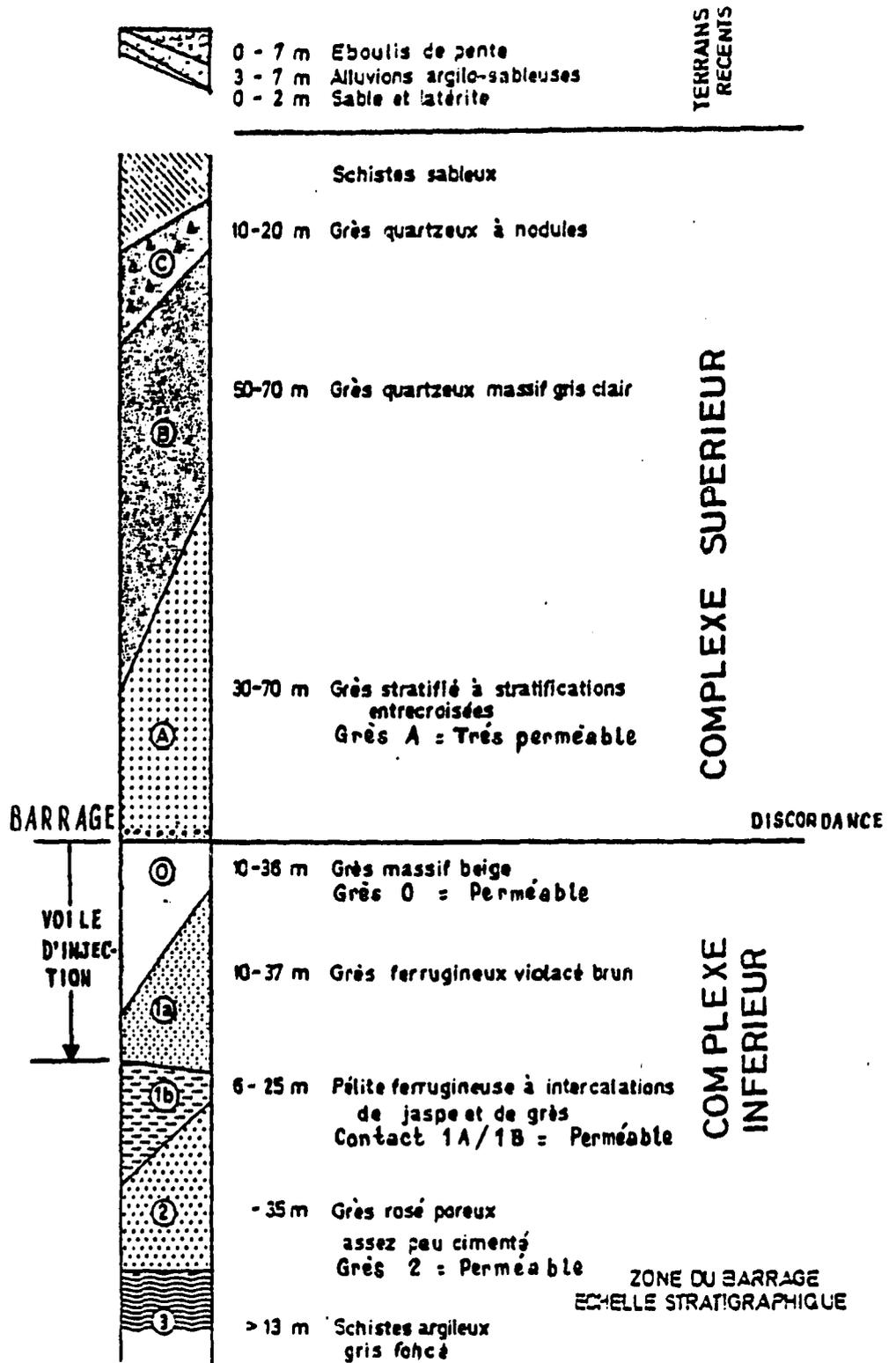


Fig. 1

6'

Les versants et les deux plateaux qui bordent le site présentent des structures très semblables formées d'entablement de grès quartzites, comparable d'une rive à l'autre. Ces niveaux sont entaillés parfois sur une très grande hauteur par des fractures verticales qui présentent pour certaines une extension régionale'. Ces fractures ont été étudiées par le Groupement de Manantali du point de vue des fuites d'eau qu'elles pourraient occasionner à la retenue. Les forages réalisés par le Groupement de Manantali sur les sommets des plateaux ont mis en évidence la présence d'une nappe aquifère 30 m au-dessus du fond de la vallée.

La zone médiane de la vallée du Bafing est caractérisée par un graben qui est bordé vers le nord par une zone très fortement fracturée, hachurée, qui déplace les couches de près de 70 m. Ce décrochement se fait en escalier. La largeur de la zone affectée par la faille est de l'ordre de 80 m. Vers le sud, le graben est délimité par une faille qui a été injectée par un dyke de dolérite de 20 à 25 m de large. Le déplacement vertical suivant cet accident est d'environ 30 m. La largeur totale affectée par le graben est d'environ 210 mètres.

Les terrains de couverture atteignent leur épaisseur maximum, soit environ 9 m, dans la zone du graben où existe un ancien lit du Bafing. Ces terrains, formés à proximité du fleuve par des dépôts silto-argileux à silto-sableux passent latéralement à des dépôts colluviaux ou éluviaux. Des éboulis occupent les pieds des deux versants. Leur épaisseur ne paraît pas excéder 8 m.

La partie basse de la vallée est recouverte approximativement pour moitié, par un pédiment parfois latéritique et pour l'autre moitié, par une terrasse alluviale qui borde le Bafing.

Le tableau #1 résulte de la compilation effectuée par le projet, des données recueillies par le Groupement de Manantali.

Tableau #1 - Manantali barrage - perméabilité de fractures dans l'axe du barrage

COMPLEXE	FORMATION	ELEV. 0		LUGEON	OBSERVATIONS
		RD	IGN RG		
SUPERIEUR	GRES C	290	-	-	-
SUPERIEUR	GRES B	230	210	-	-
SUPERIEUR	GRES A	175	160	100	très perméable jusqu'à 25-30 M
INFERIEUR	GRES 0	140	145	30	perméable grace aux diaclases
INFERIEUR	GRES 1A	130	130	4-5	impermeable sauf contact 1A/1B
INFERIEUR	PELITE 1B	110	110	2-12	pratiquement impermeable
INFERIEUR	GRES 2	?	?	5-27	perméable

UNITE LUGEON (U.L.) = Nombre de litres par minutes absorbés par mètre linéaire de forage sous une pression réelle de 10 bars

Les différents réseaux de fractures observés dans le voisinage du site, ont une direction Est-Ouest pour les fractures principales N-10-E pour les fractures secondaires.

L'origine des fractures est triple:

- * tectonique (failles, fractures) associée à des injections de dolérites,
- * diagénique, formée lors de la consolidation et de la cimentation des roches,
- * érosive, liée à la détente des roches. Ces fractures sont étroitement liées à la topographie. Ce type de fracture est rarement observé au-delà d'une profondeur de 30 mètres.

' Voir carte du projet (compilation partielle) et Groupement de Manantali, 1979, Mission A2.1, Texte, fig. 2.

* ECBM, 1979, Mission A.2.1, Textes p.38.

2.5 Eaux souterraines

Le milieu fracturé, caractéristique des environs du barrage de Manantali est, hydrogéologiquement, mal connu.

Les travaux du Groupement de Manantali ont détecté:

- * une nappe dans les versants situés au-dessus de la cote de la vallée du Bafing,
- une nappe artésienne localisée dans les pelites (pression hydrostatique 1 m au -dessus du fleuve),
- une nappe discontinue dans les alluvions du fleuve.

Le Groupement de Manantali a cherché à évaluer l'importance des fuites d'eau au voisinage immédiat du barrage (10-20 fractures ouvertes) et dans la zone du graben (faille de 30 m de large) en acceptant une double valeur de perméabilité: $4 * 10^5$ m/sec (selon le professeur Hettfeld) et $5 * 10^6$ m/sec (d'après les essais Lugeon).

Le débit total de ces fractures serait de l'ordre de 70 à 140 l/sec, soit un débit annuel de 2,3 à $5 * 10^6$ m³. Ces quantités sont faibles.

3 CARACTERISATION DU MILIEU AQUIFERE

Le milieu aquifère des environs du barrage de Manantali est constitué de roches consolidées fracturées. La perméabilité de ce milieu aquifère est strictement liée aux réseaux de fractures imbriquants les différentes masses rocheuses de la région. Par conséquent, avant d'entreprendre l'implantation des piézomètres sur le terrain, le projet a décidé d'effectuer une campagne géophysique en vue de localiser in-situ les divers linéaments structuraux pré-cartographiés lors de la photo-interprétation effectuée par le Groupement de Manantali.

3.1 Prospection géophysique

La campagne de prospection géophysique, effectuée par la DNHE, s'est déroulée du 7/1/88 au 15/2/88. Cette prospection géophysique a été réalisée selon la méthode électrique (trainées et sondages) permettant de localiser les éléments structuraux et selon la méthode magnétique, permettant la localisation des intrusions magmatiques. Les résultats obtenus sont consignés dans le rapport DNHE⁹.

Le choix de l'emplacement de chaque site de prospection géophysique était basé sur les critères suivants:

- * la proximité immédiate du barrage de Manantali dans sa partie aval et amont,
- * le passage présumé d'un linéament structural ou de son extension, pré-localisé à partir de la "carte des grandes fractures aux environs du barrage, 1/40,000"¹⁰.

Sur les 9 sites prospectés dans le cadre de cette campagne géophysique, 13 anomalies structurales ont été détectées.

Au total, le réseau piézométrique OMVS cumule 20 piézomètres¹¹. De ce réseau, 20/20 piézomètres ont été implantés sur des anomalies géophysiques. Au total, 7/9 sites de prospection géophysique sont localisés dans la partie aval du barrage et 2/9 sites dans la partie amont.

La faible représentativité des sites amont était liée à l'inaccessibilité de la zone au moment des travaux de forage.

3.2 Travaux de forage

Le projet Eaux Souterraines (PES) a financé et contrôlé, du 01/03/88 au 26/05/88, la mise en place par la DNHE d'un réseau piézométrique OMVS (20 forages).

Les caractéristiques techniques de chacun des 20 piézomètres résultants sont énumérées dans les (2) tableaux ci-après, lesquels sont issus de l'exploitation de la fonction "Rapport" de la base de données GES¹²:

- 1) "Tableau #2 de synthèse des paramètres de base - tous ouvrages confondus"; regroupant pour chaque piézomètre des informations relatives à:
 - la situation géographique,
 - au cadre physique, et,
 - au rattachement aux infrastructures avoisinantes (station météorologique et échelle limnimétrique),

⁹ R.é.: DNHE/OMVS, 1988.

¹⁰ R.é.: Groupement de Manantali, 1979, mission A2.1, texte, fig. 2.

¹¹ Voir la carte de localisation des travaux de forage du projet.

¹² GES = logiciel de banque de données conçu spécifiquement pour le projet pour la gestion des eaux souterraines.

2) "Tableau #3 de synthèse des caractéristiques techniques des piézomètres"; regroupant pour chaque piézomètre les informations relatives:

- aux caractéristiques techniques,
- aux valeurs de perméabilité,
- aux dates de réalisation des différents travaux et
- aux périodes du suivi hydrogéologique du réseau.

Dans ces tableaux, les codes suivants signifient:

HUE : Hors Unité Naturel d'Équipement, concept géographique inexistant dans les environs du barrage de Manantali, limité à la vallée du fleuve Sénégal,
 MAN : Entablement du Plateau Mandingue
 BA : Série lithostratigraphique du Groupe du Bakoye (voir description lithostratigraphique, section 2.3).
 N/R : Non Réalisé.

La colonne "Strat. crépine" désigne, par le code proposé par le Groupe de Manantali, la nature lithologique de la formation captée au droit de la crépine. Le lecteur trouvera à la section 2.3.2 de ce rapport, la description lithostratigraphique des codes utilisés. L'annexe #1 regroupe les coupes techniques et géologiques des piézomètres et à l'annexe #2, les sections géologiques. Le tracé de ces coupes et sections a été réalisé par le projet à l'aide du logiciel Groundwater.

3.3 Description structurale des environs du barrage

La mise en place du réseau piézométrique OMVS a nécessité des travaux de forage (20 piézomètres) cumulant 915.54 mètres linéaires, forés dans le socle. Plusieurs accidents structuraux (83) ont été interceptés dont (73) fractures et (10) zones de cisaillement. Ces accidents structuraux sont régulièrement marqués par des venues d'eau (V.E.) plus ou moins importantes (93.98% des accidents structuraux). Le tableau #4 montre pour les accidents structuraux (fractures et zones de cisaillement) et les venues d'eau leur représentativité et leur distance de séparation moyenne (colonne "M. FORE/NBRE V.E.").

Tableau #4: Décompte des accidents structuraux

TYPE	NBRE	SOCLE	M. FORE/ NBRE V.E.	M. FORE/ NBRE FRACT.	M. FORE/ NBRE CIS.	M. FORE/ NBRE ACC.	% ACC.
ACCIDENT		FORE(m)					
V.E.	78	915.54	11.68	N/A	N/A	N/A	93.98%
FRACT.	73	915.54	N/A	12.54	N/A	N/A	87.95%
ZONE CIS.	10	915.54	N/A	N/A	91.55	N/A	12.05%
ACC.	83	915.54	N/A	N/A	N/A	10.98	100.00%

Le tableau #5 dresse l'inventaire par piézomètre des différents accidents structuraux interceptés lors des travaux de forage et leur fréquence d'apparition (FA) au mètre linéaire (colonne "FREQ. ACC./ML FORE"), suivi des statistiques de base pour chaque colonne de ce tableau.

10

DATE : 01/04/90

ORGANISATION POUR LA NISSE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL (ONVS)
 DIRECTION DE L'INFRASTRUCTURE REGIONALE (DIR)
 CELLULE DES EAUX SOUVERAINES - SAINT-LOUIS
 PROJET ONVS/USAID 0625-0950

TABLEAU # 2 SYNTHESE DES PARAMETRES DE BASE - TOUS OUVRAGES COMPOSES

OUVRAGES	RTN		ALT. REPI/IGN (M)	SITUATION GEOGRAPHIQUE		CADRE PHYSIQUE			INFRASTRUCTURES AVOISINANTES		COURS D'EAU			
	X	Y		VILLAGE/PERIMETRE	DIST. NIRS PERIMETRE	V.B.R.	GEOM.	GEOL.	STATION METRO	ECHELLE LINIMETRIQUE	DIST.(KM)	NOM	DIST.(M)	
27-16-MA0016-NE	117.0	1464.2	130.937			NDE	MAN	BA	MANANTALI	15.500	MANANTALI/BARRAGE AMONT	15.500	BAPING	750
27-16-MA0017-NE	116.1	1464.2	130.100			NDE	MAN	PA	MANANTALI	15.500	MANANTALI/BARRAGE AMONT	15.500	BAPING	750
27-2A-MA0001-NE	141.0	1459.6	162.160			NDE	MAN	BA	MANANTALI	1.050	MANANTALI/BARRAGE AMONT	1.050	BAPING	650
27-2A-MA0002-NE	141.0	1459.6	162.127			NDE	MAN	BA	MANANTALI	1.000	MANANTALI/BARRAGE AMONT	1.000	BAPING	500
27-2A-MA0003-NE	141.5	1459.7	163.124			NDE	MAN	BA	MANANTALI	0.450	MANANTALI/BARRAGE AMONT	0.450	BAPING	200
27-2A-MA0004-NE	142.2	1458.4	161.603			NDE	MAN	BA	MANANTALI	1.050	MANANTALI/BARRAGE AMONT	1.050	BAPING	750
27-2A-MA0005-NE	141.4	1452.0	209.619			NDE	MAN	BA	MANANTALI	5.250	MANANTALI/BARRAGE AMONT	5.250	BAPING	5000
27-2A-MA0006-NE	141.9	1459.6	162.139			NDE	MAN	BA	MANANTALI	0.200	MANANTALI/BARRAGE AMONT	0.200	BAPING	400
27-2A-MA0010-NE	141.9	1459.7	161.059			NDE	MAN	BA	MANANTALI	0.200	MANANTALI/BARRAGE AMONT	0.200	BAPING	400
27-2A-MA0011-NE	141.9	1459.8	164.295			NDE	MAN	BA	MANANTALI	0.200	MANANTALI/BARRAGE AMONT	0.200	BAPING	150
27-2A-MA0012-NE	144.2	1459.1	162.261			NDE	MAN	BA	MANANTALI	0.200	MANANTALI/BARRAGE AMONT	0.200	BAPING	250
27-2A-MA0013-NE	144.5	1458.9	162.174			NDE	MAN	BA	MANANTALI	0.200	MANANTALI/BARRAGE AMONT	0.200	BAPING	250
27-2A-MA0014-NE	144.2	1458.9	162.184			NDE	MAN	EA	MANANTALI	0.200	MANANTALI/BARRAGE AMONT	0.200	BAPING	400
27-2A-MA0015-NE	124.6	1465.0	153.362			NDE	MAN	E	MANANTALI	15.500	MANANTALI/BARRAGE AMONT	15.000	BAPING	1500
27-2A-MA0008-NE	166.5	1455.5	259.647			NDE	MAN	BA	MANANTALI	16.900	MANANTALI/BARRAGE AMONT	16.900	BAPING	10500
27-2A-MA0007-NE	170.1	1458.2	255.506			NDE	MAN	BA	MANANTALI	17.500	MANANTALI/BARRAGE AMONT	17.500	BAPING	11400
27-2A-MA0009-NE	170.1	1459.4	259.040			NDE	MAN	BA	MANANTALI	10.250	MANANTALI/BARRAGE AMONT	10.250	BAPING	11750
27-2A-MA0018-NE	116.2	1465.7	163.249			NDE	MAN	PA	MANANTALI	4.050	MANANTALI/BARRAGE AMONT	4.050	BAPING	750
27-2A-MA0019-NE	116.1	1465.6	160.010			NDE	MAN	BA	MANANTALI	4.150	MANANTALI/BARRAGE AMONT	4.150	BAPING	550
27-2A-MA0020-NE	116.0	1465.4	160.164			NDE	MAN	BA	MANANTALI	4.250	MANANTALI/BARRAGE AMONT	4.250	BAPING	150

ORGANISATION POUR LA MISE EN VALEUR DU PLEUVIS SEURCAL (OVVS)
 DIRECTION DE L'INFRASTRUCTURE REGIONALE (DIR)
 CELLULE DES EAUX SOUTERRAINES - SAINT-LOUIS
 PROJET OVVS/RSAD 0625-0950

TABEAU # 3 SYNTHESE DES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES PIEZOMETRES

N°	ALB.	CARACTERISTIQUES TECHNIQUES						VALEURS DE PERMEABILITES (cm/sec)				DATES DE REALISATION			SP	VISITES PERIODELLES		ANALYSES D'EAU						
		PROF. (m)	PROF. (m/Sol)	CHÉPINE	PROF. STRAT. (m)	GÉOLOGIE	PROF. CHÉPINE	TYPE	ALT-TOIT (m/IGN)	SURFACE	ESSAI K	ESSAI Q	INPLANT.	NIVELLEN.		FORAGE	ESSAI K		ESSAI Q	DATE VISITE	DYNE. VISITE	DATE ROTATION	ROTATION	
1700	1454,2	140,937	17,00	16,36	1616	1315	101	5°17'	MOLENIÈRE	HA	121,8	N/R	N/R	2,7E-1	05/03/88	05/04/89	21/05/88	26/05/88	29/09/88	1	29	11/89	66	1
1701	1454,2	140,184	44,05	40,90	4015	1714	101	5°17'	GRES 2	HA	125,2	N/R	N/R	>1.0E-3	05/07/88	05/04/89	11/05/88	26/05/88	29/09/88	1	29	11/89	66	1
1702	1454,4	162,160	15,00	13,90	1333	1072	101	5°17'	MELITE-TM	HA	154,9	N/R	N/R	2,9E-3	01/07/88	04/04/89	22/04/88	27/04/88	30/09/88	1	27	11/89	66	1
1703	1454,4	162,127	44,63	43,60	4110	1722	500	5°17'	GRES 2	HA	155,2	N/R	N/R	>1.0E-3	01/03/88	04/04/89	20/04/88	21/04/88	30/09/88	1	27	11/89	66	1
1704	1454,2	161,124	47,05	45,91	4550	4246	304	5°17'	GREG 2	HA	157,8	N/R	N/R	1,4E-3	03/03/88	04/04/89	12/04/88	20/04/88	30/09/88	1	27	11/89	66	1
1705	1454,4	161,661	79,00	20,04	2010	2549	241	5°17'	GRES 0	HA	155,4	N/R	N/R	>1.0E-3	02/07/88	29/04/89	25/04/88	05/05/88	01/10/88	1	27	11/89	66	1
1706	1452,0	209,619	50,20	45,54	4560	4199	101	5°17'	GRES B	BA	206,7	N/R	N/R	>1.0E-3	26/05/88	07/04/89	04/06/88	01/02/89	05/02/89	6	29	11/89	66	1
1707	1454,4	162,119	46,22	43,65	3300	2712	500	5°17'	GRES 2	HA	156,1	N/R	N/R	>1.0E-3	01/07/88	04/04/89	01/07/88	07/07/88	30/09/88	1	27	11/89	66	1
1708	1454,2	161,059	51,65	50,17	5000	4696	104	5°17'	GRES 2	BA	157,6	N/R	N/R	5,1E-4	01/07/88	04/04/89	05/07/88	10/07/88	30/09/88	1	27	11/89	66	1
1709	1454,2	160,255	70,00	67,12	6604	6096	500	5°17'	GRES 2	HA	150,9	N/R	N/R	8,4E-4	01/07/88	04/04/89	04/04/88	15/03/88	30/09/88	1	27	11/89	66	1
1710	1454,1	162,261	62,25	60,64	6000	3696	104	5°17'	GRES 1A	HA	151,1	N/R	N/R	2,2E-4	02/07/88	20/07/89	16/03/88	07/04/88	01/10/88	1	27	11/89	66	1
1711	1454,2	162,170	26,41	25,06	2400	2179	101	5°17'	GRES 0	HA	151,4	N/R	N/R	>1.0E-3	02/07/88	20/05/89	07/04/88	14/01/89	30/12/88	4	27	11/89	66	1
1712	1454,1	162,194	20,40	20,74	7500	7212	500	5°17'	GRES 1A	HA	151,2	N/R	N/R	1,5E-1	02/07/88	20/01/89	20/01/88	14/04/88	01/10/88	1	27	11/89	66	1
1713	1454,2	162,102	23,70	22,00	2150	1849	101	5°17'	GRES 0	HA	151,9	N/R	N/R	2,1E-3	05/07/88	04/04/89	07/05/88	27/12/88	30/12/88	4	27	11/89	66	1
1714	1454,2	259,647	70,00	61,90	6290	5997	101	5°17'	GRES C	BA	251,7	N/R	N/R	1,0E-3	06/03/88	10/04/89	21/04/88	15/06/88	01/10/88	1	30	11/89	66	1
1715	1454,2	255,500	57,20	50,60	5001	4700	101	5°17'	GRES C	HA	247,1	N/R	N/R	>1.0E-1	06/03/88	11/04/89	24/06/88	04/07/88	01/10/88	1	30	11/89	66	1
1716	1454,4	259,648	70,00	54,60	5297	4996	101	5°17'	GRES C	HA	248,7	N/R	N/R	>1.0E-3	06/03/88	11/04/89	29/06/88	03/07/88	01/10/88	1	30	11/89	66	1
1717	1454,2	161,249	50,10	50,10	5000	5099	101	5°17'	GRES 1A	HA	156,7	N/R	N/R	>1.0E-3	02/03/88	05/04/89	24/11/88	02/01/89	01/10/88	1	27	11/89	66	1
1718	1454,4	160,034	50,00	52,27	3200	2899	101	5°17'	GRES 1A	HA	156,5	N/R	N/R	5,2E-4	02/07/88	05/04/89	16/11/88	26/11/88	01/01/89	4	27	11/89	66	1
1719	1454,0	160,164	71,00	72,60	7150	6849	101	5°17'	GRES 2	BA	150,2	N/R	N/R	3,1E-3	02/03/88	07/04/89	21/11/88	26/11/88	01/01/89	4	27	11/89	66	1

12.

Tableau #5: Inventaire des accidents structuraux par piézomètre

Piézo	V.E.	Socle	M. Foré/	<AccidentStructural >				M. Foré/	Fréq. Acc./
#		Foré(m)	Nbre V.E.	Nbre	Fract.	Nbre	Cis.	Nbre Acc.	mL Foré
MA0001	2	8.80	4.40	2	F	0	N/A	4.40	0.23
MA0002	2	38.73	19.37	2	F	0	N/A	19.37	0.05
MA0003	3	42.75	14.25	3	F	0	N/A	14.25	0.07
MA0004	3	74.53	24.84	3	F	0	N/A	24.84	0.04
MA0005	3	48.10	16.03	3	F	4	C	6.87	0.15
MA0006	6	65.93	10.99	4	F	2	C	10.99	0.09
MA0007	3	50.36	16.79	0	N/A	3	C	16.79	0.06
MA0008	3	60.00	20.00	3	F	1	C	15.00	0.07
MA0009	5	36.00	7.20	5	F	0	N/A	7.20	0.14
MA0010	7	47.60	6.80	7	F	0	N/A	6.80	0.15
MA0011	6	73.55	12.26	6	F	0	N/A	12.26	0.08
MA0012	5	32.25	6.45	5	F	0	N/A	6.45	0.16
MA0013	2	18.86	9.43	2	F	0	N/A	9.43	0.11
MA0014	4	72.48	18.12	4	F	0	N/A	18.12	0.06
MA0015	2	23.25	11.63	2	F	0	N/A	11.63	0.09
MA0016	4	14.00	3.50	4	F	0	N/A	3.50	0.29
MA0017	6	36.05	6.01	6	F	0	N/A	6.01	0.17
MA0018	3	52.80	17.60	3	F	0	N/A	17.60	0.06
MA0019	4	47.50	11.88	4	F	0	N/A	11.88	0.08
MA0020	5	72.00	14.40	5	F	0	N/A	14.40	0.07

PIEZO	V.E.	SOCLE	M. FORE/	<ACCIDENTSTRUCTURAL >				M. FORE/	FREQ. ACC./
#		FORE(m)	NBRE V.E.	NBRE	FRACT.	NBRE	CIS.	NBRE ACC.	ML FORE
NUMBER	20	20.00	20.00	20.0	N/A	20.0	N/A	20.00	20.00
MIN.	2	8.80	3.50	0.0	N/A	0.0	N/A	3.50	0.04
MAX.	7	74.53	24.84	7.0	N/A	4.0	N/A	24.84	0.29
AVERAGE	3.9	45.78	12.60	3.7	N/A	0.5	N/A	11.89	0.11
STD. DEV.	1.5	19.66	5.70	1.7	N/A	1.1	N/A	5.53	0.06

LEGENDE

V.E.	: Venue d'eau
M. Foré	: Nombre de mètres forés dans le socle
Nbre de Fract.	: Nombre de fractures interceptées dans le socle
Nbre de Cis.	: nombre de zones de cisaillement interceptées dans le socle
Nbre Acc.	: Nombre d'accidents (fractures + zones de cisaillement)
F	: Fractures
C	: Zones de cisaillement
N/A	: Non applicable

De ce tableau #5, le graphique de la fréquence d'apparition (FA) des accidents structuraux au mètre linéaire (colonne "FREQ. ACC./ML FORE") en fonction de la profondeur (PROF) du socle foré (colonne "SOCLE FORE (m)") a été tracé (voir figure #2). Les points portés au graphique n'ont pas été reliés et la courbe du meilleur ajustement (Power best fit curve, formule de type $Y = aX^b$) a été tracée à partir du logiciel GRAPHER. Cette courbe est définie par l'équation suivante:

$$FA = 1.01915 \cdot PROF^{-0.642231}$$

Cette formule montre que la fréquence d'apparition (FA) des accidents structuraux diminue avec l'augmentation de la profondeur forée dans le socle. A partir d'une certaine profondeur, il peut devenir non rentable de poursuivre les travaux de forage d'eau. Ce seuil doit être défini spécifiquement par chacun des entrepreneurs en forage en fonction du taux de fracturation spécifiques

Cette courbe met également en évidence les fractures d'origine érosive (voir section 2.5) dans les premiers 30 mètres forés dans le socle.

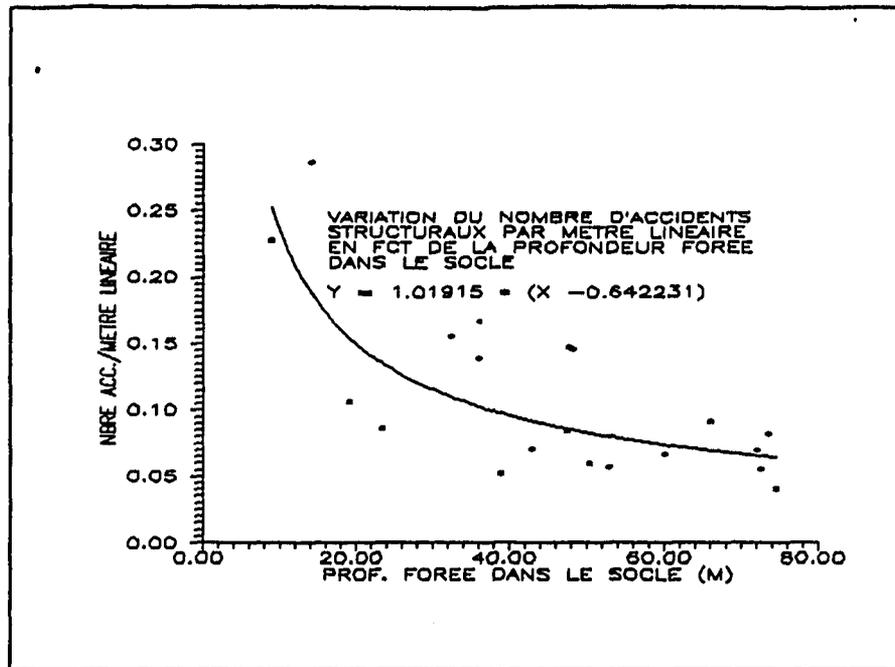


Figure 2 Variations du nbre accidents structuraux en fct de la profondeur forée dans le socle

Ce graphique ne tient pas compte de la spécificité structurale des différentes formations géologiques traversées par les piézomètres du réseau OMVS. L'ensemble des formations géologiques est considéré ici comme étant un milieu fracturé homogène ce qui n'est évidemment pas le cas.

En vue de déterminer la spécificité structurale de chaque formation géologique forée, le décompte du nombre d'accidents par formation géologique associé au mètre linéaire foré dans le socle relatif à chaque formation géologique a été établi. Le tableau #6 cumule les résultats obtenus en attribuant à chaque formation géologique un numéro de code (1 à 14) lequel sera utilisé dans les graphiques ultérieurs (figures 2 et 3). Le taux de fracturation spécifique à chaque formation géologique a été obtenu en divisant le mètre linéaire foré dans le socle relatif à chaque formation, par le nombre d'accidents structuraux correspondant.

Tableau #6: Mètre linéaire foré et taux de fracturation par formation géologique

PIEZO	#	-----FORMATIONS GEOLOGIQUES-----														mL total drilled
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
MA000	1	-	-	-	-	-	-	-	1.25	7.55	-	-	-	-	-	8.80
MA000	2	-	-	-	-	-	-	-	3.35	21.75	7.86	5.77	-	-	-	38.73
MA000	3	-	-	-	-	-	-	-	22.50	13.20	-	7.05	-	-	-	42.75
MA000	4	-	-	-	-	-	-	22.85	51.68	-	-	-	-	-	-	74.53
MA000	5	0.80	-	42.90	-	4.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48.10
MA000	6	-	65.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65.93
MA000	7	-	50.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50.36
MA000	8	-	60.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60.00
MA000	9	-	-	-	-	-	-	-	-	24.00	-	12.00	-	-	-	36.00
MA000	10	-	-	-	-	-	-	4.60	28.20	14.80	-	-	-	-	-	47.60
MA000	11	-	-	-	-	-	-	12.55	25.90	17.10	-	18.00	-	-	-	73.55
MA000	12	-	-	-	-	-	-	16.00	16.25	-	-	-	-	-	-	32.25
MA000	13	-	-	-	-	-	-	18.86	-	-	-	-	-	-	-	18.86
MA000	14	-	-	-	-	-	-	19.00	53.48	-	-	-	-	-	-	72.48
MA000	15	-	-	-	-	-	-	23.25	-	-	-	-	-	-	-	23.25
MA000	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.05	8.95	-	14.00
MA000	17	-	-	-	-	-	-	-	-	5.62	-	30.43	-	-	-	36.05
MA000	18	-	-	-	-	-	-	-	49.80	-	3.00	-	-	-	-	52.80
MA000	19	-	-	-	-	-	-	-	47.50	-	-	-	-	-	-	47.50
MA000	20	-	-	-	-	-	-	-	57.30	-	8.70	6.00	-	-	-	72.00
mL total/Fm	0.8	176.2	42.9	0	4.4	0	117.1	357.2	104.0	19.56	79.25	0	5.05	8.95		915.54
mL tot. foré	0.09	19.26	4.69	0.00	0.48	0.00	12.79	39.02	11.36	2.14	8.66	0.00	0.55	0.98		100.00
nbre fract./Fm	1	13	4	0	2	0	11	22	10	0	16	0	0	4		83
taux fract./Fh.25	0.07	0.09	N/A	0.45	N/A	0.09	0.06	0.10	0.00	0.20	N/A	0.00	0.45			0.09

Les codes 1 à 14 du tableau #6, sont énumérés dans le tableau #7, ci-dessous. Le lecteur trouvera à l'annexe #1, la description complète et détaillée des codes géologiques utilisés. Ces codes se rattachent, en partie, à la codification développée par le Groupement de Manantali (voir section 2.3.2.). Quelques codes supplémentaires ont été ajoutés pour tenir compte de la spécificité des travaux DNHE (codes 1,5,10,13,14). Le tableau #7 donne pour chaque code (1 à 14), un pourcentage reflétant la représentativité des accidents structuraux de chaque formation par rapport à l'ensemble des accidents structuraux (83).

Tableau #7: Ventilation du nombre des accidents par formations géologiques et représentativité

FM GEOL.	CODE #	NBRE ACCIDENTS	% ACCIDENTS
CS-SCH.	1	1	1.20%
CS-GRES C	2	13	15.66%
CS GRES B	3	4	4.82%
CS-GRES A	4	0	0.00%
CS-INDIF.	5	2	2.41%
C1-ARGIL.	6	0	0.00%
CI-GRES 0	7	11	13.25%
CI-GRES 1A	8	22	26.51%
CI-PEL 1B	9	10	12.05%
CI-1A/1B	10	0	0.00%
CI-GRES 2	11	16	19.28%
CI-SCH. 3	12	0	0.00%
CI-INDIF.	13	0	0.00%
CI-DOLER.	14	4	4.82%

15

Les figures #3 et #4 montrent, respectivement, la distribution par formation géologique:

- * du métrage linéaire, et,
- * du taux de fracturation.

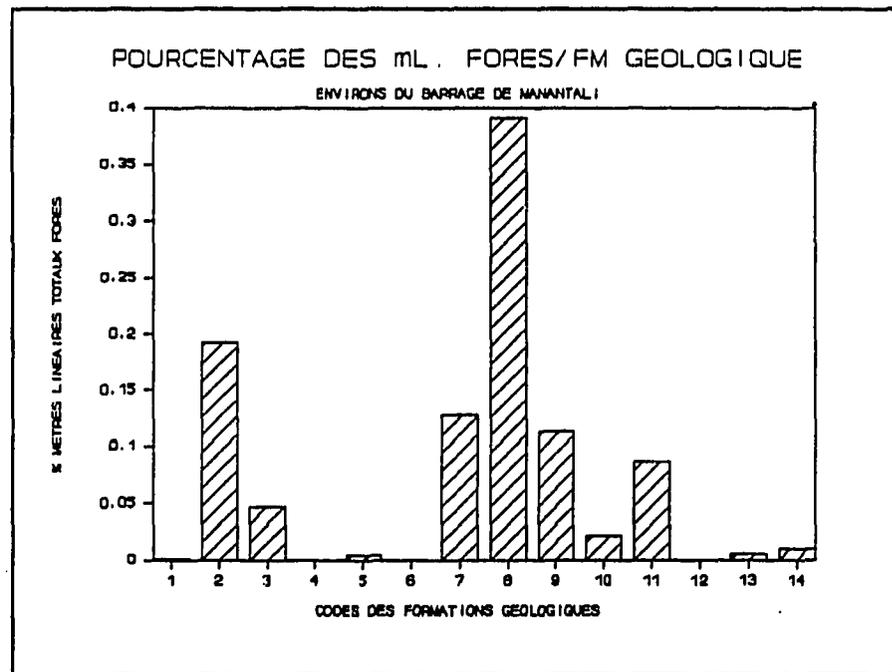


Figure 3 Pourcentage des mètres linéaires forés par formation géologique

Il ressort de la figure #3 que:

* le métrage linéaire cumulé des formations géologiques codées (1 = CS-SCH., 5 = CS-INDIF., 10 = CI-1A/1B, 13 = CI-INDIF., et 14 = CI-DOLER.) n'est pas représentatif de l'ensemble des formations géologiques codifiées. Ces formations correspondent aux codes supplémentaires ajoutés par le projet et ne sont pas significatives dans les environs du barrage,

* les formations géologiques codées (4 = CS-GRES A, 6 = C1-ARGIL. et 12 = CI-SCH. 3) n'ont pas été forées,

* le métrage linéaire cumulé du Complexe Inférieur (codes 6 à 14) est mieux représenté que celui du Complexe Supérieur (codes 1 à 5).

Par conséquent, les taux de fracturation relatifs aux formations géologiques dont le métrage linéaire n'est pas représentatif ou non foré ne seront pas comparés (voir figure #3) bien que ces taux soient indiqués au tableau #6. Ces derniers sont vraisemblablement sur-estimés. Une mention particulière doit être faite à la dolérite (code 14) du Complexe Inférieur. Cette roche est intrusive et a rempli les zones de cisaillement et les fractures. Sa nature et sa dureté relative par rapport aux autres formations d'origine sédimentaire rendent probable le taux de fracturation indiqué au tableau #6.

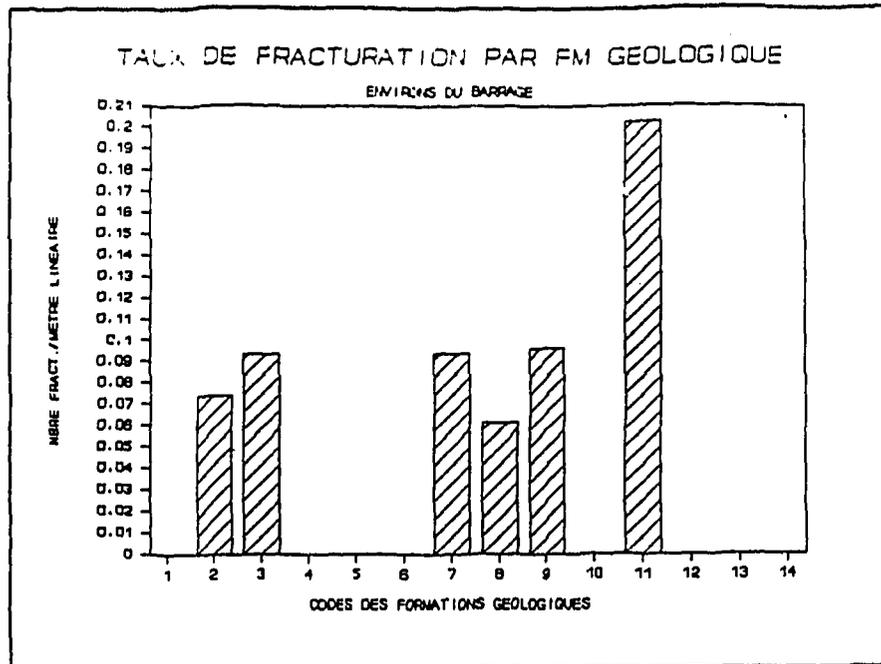


Figure 4 Taux de fracturation par formation géologique

Il ressort de la figure #3 que:

- * le grès 2 du Complexe Inférieur (code 11) présente le taux de fracturation le plus élevé (0.20 accidents structuraux/mètre linéaire) reflétant la nature quartzique de ce grès (grande compétence mécanique) par opposition aux autres formations géologiques (grès feldspathique, pelite et schiste),
- * les taux de fracturation des autres formations du Complexe Supérieur et/ou Inférieur sont comparables entre eux (0.06 à 0.1 accidents structuraux/mètre linéaire),
- * le grès 1A du Complexe Inférieur (code 8) présente le taux de fracturation le plus faible (0.06 accidents structuraux/mètre linéaire).

4 CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE

Dans le cadre de la caractérisation hydrogéologique du milieu aquifère, le projet a recherché les valeurs de coefficients de perméabilité sur l'ensemble des piézomètres réalisés dans la zone à l'étude (terrains sédimentaires non consolidés de la Vallée du Fleuve Sénégal et les terrains sédimentaires consolidés fracturés du Haut Bassin de la Vallée du Fleuve Sénégal). Trois méthodes de détermination de la perméabilité des terrains ont été déployées:

- * analyses granulométriques
- essais de perméabilité
- * pompages d'essai

Dans la région du barrage de Manantali, l'estimation granulométrique de la valeur du coefficient de perméabilité est sans intérêt. Les valeurs KB1 et KB2 des tableaux GES sont annotées N/R (non réalisé).

4.1 Essai de perméabilité à niveau descendant (valeur KK du tableau)

Hvorslev¹³ (1951) a développé la théorie permettant l'interprétation de l'essai de perméabilité à niveau descendant, méthode utilisée systématiquement par le projet sur l'ensemble du réseau OMVS couvrant la zone à l'étude (Vallée et le Haut Bassin du Fleuve Sénégal).

Cette méthode a été adaptée pour une application normalisée en *terrain non consolidé* par la SOCIETE D'ENERGIE DE LA BAIE JAMES. Les procédures de terrain, définies dans le manuel de l'inspecteur¹⁴ ont été adoptées par le projet. Bien que cet essai de perméabilité ne s'applique pas au socle fracturé, le projet l'a mis en oeuvre à titre expérimental.

L'application de cette méthode n'est pas liée à la géométrie des réservoirs captés. Toutefois, elle ne peut pas être utilisée dans les argiles plastiques (absentes dans les environs du barrage de Manantali) et tient compte de la géométrie de la partie lanternée du piézomètre.

Cette méthode est applicable pour des valeurs de transmissivité inférieures à 10^{-3} m²/sec. Lorsque les valeurs de transmissivité sont proches ou supérieures à cette limite, le rabattement est rapide (souvent instantané) et dans la pratique non-mesurable. Dans ce cas de figure, seul un pompage d'essai est valable pour obtenir les valeurs de perméabilité recherchées.

La représentation graphique de l'essai (t-log(λ)) doit **OBLIGATOIREMENT** générer une droite pour permettre l'interprétation des résultats. Dans le cas contraire, l'interprétation n'est pas possible.

Dans la pratique, la mise en charge hydraulique devrait être, idéalement, instantanée. La réalité du terrain (procédures de terrain et coefficient de transmissivité parfois élevée) permet rarement une mise en charge instantanée. On a observé plutôt les difficultés de réalisation suivantes:

- * un temps de remplissage (t) variant de quelques secondes à plusieurs minutes allant parfois jusqu'à l'impossibilité de remplir le tube PVC,
- * un mode de remplissage du tube PVC, inadéquat (injection d'eau en pression).

Ces observations engendrent une déformation de la droite t-vs-log(λ) autour d'un point d'inflexion situé généralement à t = 1 ou plus rarement à t = 2 minutes. Les bulles d'air injectées dans le PVC lors du remplissage nécessaire pour effectuer l'essai de perméabilité, remontent à la surface dans un temps t < 1 minute. Ce phénomène génère un rabattement artificiel qui n'est pas lié strictement aux paramètres hydrauliques intrinsèques de l'aquifère testé. Dans ces cas, les interprétations sont calées sur la partie linéaire de la courbe t - vs - log(λ) au delà du point d'inflexion.

Cette interprétation de l'essai est, dans ces cas, purement une appréciation qualitative des valeurs de perméabilité (approximation).

¹³ R.é.: Freeze, 1979, p.339.

¹⁴ R.é.: SEBJ, 1978.

Le lecteur trouvera, dans les tableaux GES, les codes:

- N/D : non déterminé (courbe non linéaire)
- * N/R : non réalisé
- * $>1.0E^3$ cm/sec (rabattement instantané ou trop rapide)

La consultation de l'ensemble des essais effectués (données brutes et interprétation) est possible à partir du système GES. Il est opportun à ce stade de souligner l'importance du jugement de l'hydrogéologue pour statuer sur la valeur intrinsèque de l'essai réalisé sur le terrain.

Les valeurs de perméabilité obtenues ainsi doivent être utilisées avec prudence lorsque l'on sait que la représentativité radiale de la valeur du coefficient de perméabilité résultant d'un tel essai est limitée au voisinage immédiat de la crépine (rayon de quelques mètres tout au plus).

4.2 Pompages d'essai

Pour la caractérisation hydrogéologique des formations captées par les piézomètres OMVS, 9 pompages d'essai de longue durée (variant de 24 h à 72 h 30') ont été réalisés sans procéder à un pompage de courte durée.

L'interprétation des essais a été faite selon la méthode de Jacob par M. TOURE, le chef de Secteur, bien que ces essais soient réalisés dans un milieu consolidé et fracturé, donc, non homogène.

Les valeurs moyennes de transmissivité (T descente + T remontée) et celles des coefficients d'emmagasinement (S) interprétées de ces pompages d'essai ont été reportées dans le tableau #8. Ce tableau cumule également la lithostratigraphie au droit de la crépine et précise son appartenance au Complexe Inférieur ou Supérieur (voir section 2.3.1).

La valeur de la perméabilité (KQ) a été calculée à partir de la formule:

$$KQ = T/E$$

T = transmissivité (m²/s)
E = longueur de la lanterne (m)
KQ = perméabilité (m/s)

Cette valeur de perméabilité (KQ) a été comparé à son équivalent provenant de l'interprétation des essais de perméabilité (KK).

Tableau #8: Résultats de l'interprétation des pompages d'essai réalisés dans les environs du barrage de Manantali, Mali.

PIEZO #	lanterne long.				Paramètres hydrodynamiques					
	base m/sol	sommet m/sol	crép. m	T moy. m ² /sec	S	KK sans unité	KQ cm/sec	strat. cm/sec	crépine	complexe CS ou CI
MA0001	13.90	9.32	3.01	N\R	N\R	2.90E-03	N\R	PELITE 1B	CI	
MA0002	43.60	36.22	5.88	3.40E-03	7.00E-04	>1.0E-3	4.61E-02	GRES 2	CI	
MA0003	45.93	41.16	3.04	3.00E-03	9.50E-04	1.40E-03	6.29E-02	GRES 2	CI	
MA0004	28.84	24.49	2.61	3.00E-03	N/D	>1.0E-3	6.90E-02	GRES 0	CI	
MA0005	45.54	40.99	3.01	N\R	N\R	>1.0E-3	N\R	GRES B	CS	
MA0006	63.90	58.97	3.01	N\R	N\R	3.00E-03	N\R	GRES C	CS	
MA0007	50.60	46.00	3.01	N\R	N\R	>1.0E-3	N\R	GRES C	CS	
MA0008	54.60	48.96	3.01	N\R	N\R	>1.0E-3	N\R	GRES C	CS	
MA0009	33.65	26.00	5.88	6.70E-03	1.20E-05	>1.0E-3	8.76E-02	GRES 2	CI	
MA0010	50.37	45.96	3.04	2.00E-03	7.00E-03	5.10E-04	4.54E-02	GRES 2	CI	
MA0011	67.32	59.96	5.88	N\R	N\R	8.40E-04	N\R	GRES 2	CI	
MA0012	40.44	35.96	3.04	2.70E-04	1.00E-05	2.20E-04	6.03E-03	GRES 1A	CI	
MA0013	25.00	20.79	0.00	N\R	N\R	>1.0E-3	N\R	GRES 0	CI	
MA0014	78.74	71.12	5.88	8.10E-04	3.20E-04	1.50E-03	1.06E-02	GRES 1A	CI	
MA0015	22.00	17.49	3.01	N\R	N\R	2.30E-03	N\R	GRES 0	CI	
MA0016	16.36	12.15	3.01	N\R	N\R	2.70E-03	N\R	DOLERITE	CI	
MA0017	40.90	36.34	3.01	4.90E-04	N/D	>1.0E-3	1.07E-02	GRES 2	CI	
MA0018	58.28	53.99	3.01	N\R	N\R	>1.0E-3	N\R	GRES 1A	CI	
MA0019	32.27	27.99	3.01	N\R	N\R	5.20E-04	N\R	GRES 1A	CI	
MA0020	72.00	67.49	0.00	3.30E-04	N/D	3.10E-03	7.32E-03	GRES 2	CI	

Les valeurs de perméabilité (KQ) varient de 10^{-3} à 10^{-2} cm/sec et celles de (KK) de 10^{-4} à $> 10^{-3}$ cm/sec. Ces valeurs se rapprochent de celles du Groupement de Manantali mesurées dans l'axe du barrage, $4 \cdot 10^{-3}$ cm/sec (selon le professeur Hettfeld) et $5 \cdot 10^{-4}$ cm/sec (selon les essais Lugeon)¹⁵. Les méthodes utilisés par le Groupement étaient différentes de celle du projet.

Ces valeurs de perméabilité sont caractéristiques des roches métamorphiques et/ou grès¹⁶. Les valeurs de perméabilité mesurées ne permettent pas une classification hydraulique des formations géologiques (colonne "strat. crépine") testées.

4.3 Productivité hydraulique par formation géologique

Le tableau #9 ventile la valeur du débit air lift total du piézomètre par formations géologiques traversées et cumule, pour chacune de ces formations, les valeurs de débit air lift (m³/h) mesurées. La productivité hydraulique spécifique à chaque formation est déduite de la valeur du débit air lift cumulée d'une formation divisée par le nombre de fractures inventoriées affectant la même formation. Du tableau #9, on note que certaines formations (1=CS-SCH., 5=CS-INDIF. et 13=CI-INDIF.), bien que fracturées, se caractérisent par une productivité nulle (fracture sèche).

La figure #5. montre la distribution de la productivité par formation. Cette figure montre que les formations du Complexe Supérieur sont de 2 à 3 fois plus productives que les formations du Complexe Inférieur et que le grès B est de loin le plus productif. Les formations du Complexe Supérieur constituent les murs du réservoir du barrage de Manantali.

¹⁵ Voir la section 2.5, de ce rapport.

¹⁶ R.é.: Freeze, 1979, p. 29.

20

Tableau #9: Décompte des débits (air lift) par formation géologique

PIEZO #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	q (m ³ /h)
MA000 1	-	-	-	-	-	-	-	-	8.0	-	-	-	-	-	8.0
MA000 2	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4	-	16.2	-	-	-	18.6
MA000 3	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	-	3.6	-	-	-	6.6
MA000 4	-	-	-	-	-	-	27.0	-	-	-	-	-	-	-	27.0
MA000 5	-	-	87.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	87.5
MA000 6	-	25.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.6
MA000 7	-	65.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65.4
MA000 8	-	93.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93.5
MA000 9	-	-	-	-	-	-	-	-	42.2	-	-	-	-	-	42.2
MA00 10	-	-	-	-	-	-	-	6.2	10.8	-	21.6	-	-	-	38.6
MA00 11	-	-	-	-	-	-	-	-	13.0	-	16.2	-	-	-	29.2
MA00 12	-	-	-	-	-	-	16.6	57.6	-	-	-	-	-	-	74.2
MA00 13	-	-	-	-	-	-	19.8	-	-	-	-	-	-	-	19.8
MA00 14	-	-	-	-	-	-	12.7	-	-	-	-	-	-	-	12.7
MA00 15	-	-	-	-	-	-	4.1	-	-	-	-	-	-	-	4.1
MA00 16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.9	-	3.9
MA00 17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33.2	-	-	-	33.2
MA00 18	-	-	-	-	-	-	-	64.0	-	-	-	-	-	-	64.0
MA00 19	-	-	-	-	-	-	-	28.9	-	-	-	-	-	-	28.9
MA00 20	-	-	-	-	-	-	-	1.5	-	-	20.1	-	-	-	21.6
TOTAL q (m ³ /h)	0.0	184.5	87.5	0.0	0.0	0.0	80.2	158.2	79.4	0.0	110.9	0.0	3.9	0.0	704.5
NBRE FRACT./FM	1	13	4	0	2	0	11	22	10	0	16	0	0	4	83
q (m ³ /h)/FRACT	0.0	14.2	21.9	N/A	0.0	N/A	7.3	7.2	7.9	N/A	6.9	N/A	N/A	0.0	8.5

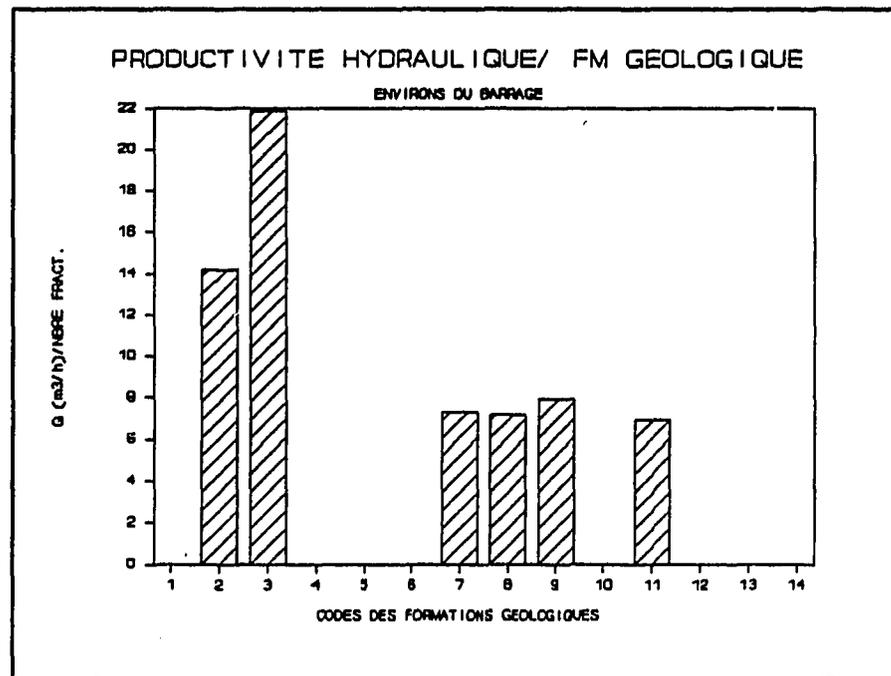


Figure 5 Productivité par formation géologique

21

4.4 Chimie des eaux souterraines

Lors de la mise en place du réseau OMVS, la DNHE a prélevé, en février 89, 20 échantillons d'eau souterraine (un par piézomètre). Ces échantillons ont été analysés pour la détermination des éléments majeurs (anions et cations) au laboratoire de la DNHE, Bamako, Mali.

Tous les résultats acquis (valeurs en ppm et epm, le calcul du S.A.R. et la représentation graphique de l'analyse) sont regroupés à l'annexe #3.

Le tableau #10. résume les principales caractéristiques chimiques (Solides Totaux Dissous (TDS), le coefficient d'absorption du sodium (SAR) et le faciès hydrogéochimique). Les résultats de ces analyses sont comparés aux formations géologiques identifiées au droit de la crépine et à la distance d'éloignement du piézomètre au cours d'eau le plus près. Le classement des piézomètres dans ce tableau a été effectué selon l'échelle chrono-stratigraphique des environs du barrage de Manantali.

Tableau #10: Faciès hydrogéochimique, TDS et SAR par piézomètre

Piézo #	Date Prélév.	mg/l Solides	S.A.R.	Faciès Hydrogéochimique	Strat. Crépine	Complexe CS ou CI	Distance BAFING	Base crép. 0/IGN
MA0008	04-Feb-89	366.0	0.1	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	GRES C	CS	11.75	204.06
MA0007	04-Feb-89	315.0	0.1	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	GRES C	CS	11.40	203.99
MA0006	04-Feb-89	61.0	0.0	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	GRES C	CS	10.50	194.74
MA0005	05-Feb-89	772.0	0.2	SULFATEE ET BICARBONATEE + (CA&MG)	GRES B	CS	5.00	243.07
MA0004	06-Feb-89	1770.0	0.1	CHLORUREE CALC.- MAGNESIENNE	GRES 0	CI	0.75	131.75
MA0013	06-Feb-89	211.0	0.2	SULFATEE CALCIQUE	GRES 0	CI	0.25	136.17
MA0015	05-Feb-89	323.0	0.3	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	GRES 0	CI	1.50	130.37
MA0019	06-Feb-89	1905.0	1.7	HYPER CHLORUREE CALCIQUE MAGNESIENNE	GRES 1A	CI	0.55	126.76
MA0012	06-Feb-89	9488.0	0.0	HYPER CHLORUREE CALCIQUE MAGNESIENNE	GRES 1A	CI	0.25	120.85
MA0018	06-Feb-89	306.0	0.1	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	GRES 1A	CI	0.75	103.97
MA0014	06-Feb-89	276.0	0.2	BICARBONATEE CALCIQUE	GRES 1A	CI	0.40	82.44
MA0001	06-Feb-89	2100.0	0.3	CHLORUREE CALC.- MAGNESIENNE	PELITE 1B	CI	0.65	147.25
MA0002	06-Feb-89	2190.0	0.2	CHLORUREE CALC.- MAGNESIENNE	GRES 2	CI	0.50	117.54
MA0020	06-Feb-89	3503.0	0.0	CHLORUREE CALC.- MAGNESIENNE	GRES 2	CI	0.15	87.17
MA0017	05-Feb-89	1366.0	0.2	HYPER SULFATEE-CALCIQUE MAGNESIENNE	GRES 2	CI	0.75	92.27
MA0010	06-Feb-89	343.0	0.1	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	GRES 2	CI	0.40	111.66
MA0003	06-Feb-89	400.0	0.1	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	GRES 2	CI	0.20	116.22
MA0009	06-Feb-89	764.0	0.1	CHLORUREE ET BICARBONATEE + (CA&MG)	GRES 2	CI	0.40	127.49
MA0011	06-Feb-89	317.0	0.1	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	GRES 2	CI	0.15	96.04
MA0016	05-Feb-89	281.0	0.1	BICARBONATEE CALCIQUE	DOLERITE	CI	0.75	113.59

Les faciès hydrogéochimiques des eaux souterraines sont triples

- * bicarbonatées calciques et magnésiennes (10/20),
- * chlorurées calciques et magnésiennes (8/20),
- * sulfatées calciques et bicarbonatées (2/20).

Ces faciès hydrogéochimiques variés reflètent mal la nature lithostratigraphique relativement homogène des formations, parfois métamorphisées, du Groupe de Bakoye (grès quartzeux et feldspathiques et schistes).

- 22'

Un classement des eaux souterraines basé sur la valeur des Solides Totaux Dissous (mg/l) établi en utilisant les limites de classe ci-dessous⁷ donne les résultats qui suivent.

limites	classe	nbre échantillons	
		surface	souterraine
0 < TDS < 1,000	douce	-	13/20
1,000 < TDS < 10,000	saumâtre	-	7/20
10,000 < TDS < 100,000	saline	-	0/20
100,000 < TDS	sursalée	-	0/20

De ce classement des eaux, il ressort une classification en eaux douces et saumâtres.

Un classement des eaux souterraines basé sur la valeur du S.A.R. (Coefficient d'absorption du sodium) établi en utilisant les limites de classe ci-dessous⁸ donne les résultats qui suivent.

classe code	limites	nbre échantillons/par classe	
		surface	souterraine
S1	0 < SAR < 10	-	20/20
S2	10 < SAR < 18	-	0/20
S3	18 < SAR < 26	-	0/20
S4	SAR > 26	-	0/20

De ce classement, il ressort que toutes les eaux analysées se situent dans la classe S1. La plage des valeurs du S.A.R. observée varie de 0 à 0,7. Ces valeurs du S.A.R. associées aux valeurs de conductivité électrique (100 à 5000 μ mhos/cm attribuent un degré d'aptitude à l'irrigation variant de "médioocre" à "excellente".

Du tableau #10, une relation entre les valeurs des solides totaux dissous et les paramètres suivants a été recherchée:

- 1) la distance d'éloignement du piézomètres à son cours d'eau le plus proche,
- 2) la cote de la position de la base de la crépine et,
- 3) la composition chimique (nature lithostratigraphique) de la formation captée.

Ces relations sont inexistantes.

Le tableau #11 énumère les teneurs (mg/l) pour les anions et cations majeurs caractéristiques des échantillons d'eau. Les anions chlore (CL-) et sulfate (SO₄--) déterminant le faciès hydrogéochimique des eaux varient beaucoup. Ce tableau établit un classement des piézomètres par site géographique numéroté 1 à 9. Sur un même site géographique peuvent exister plusieurs piézomètres captant des formations géologiques distinctes. On observe sur un site géographique regroupant plusieurs piézomètres captant différentes formations géologiques une diversité de faciès chimique reflétant une compartimentation verticale des eaux souterraines. Un changement de faciès hydrogéochimique peut même apparaître à l'intérieur d'une même formation géologique. Seul le site géographique #4, localisé en zone amont du barrage et captant le complexe Supérieur (grès C) présente une homogénéité de faciès chimique.

Par conséquent, ces constats supposent l'existence de plusieurs réseaux fracturés juxtaposés ou superposés, non communicants ni verticalement ni horizontalement.

⁷ R.é.: FREEZE, p. 84.

⁸ R.é.: FREEZE, p. 84.

23

Tableau #11 : Résultats des analyses chimiques provenant du laboratoire DNHE

PIEZO #	DATE PRELEV.	HCACO3 mg/l	CA++ mg/l	MG++ mg/l	NA+ mg/l	K+ mg/l	CL- mg/l	SO4--HCO3-- mg/l	CO3- mg/l	SOLIDES mg/l	FACIES HYDROGEOCHIMIQUE	SITE O	
MA0001	06-Feb-89	217.0	172.0	72.0	21.0	11.0	825.0	218.0	264.0	0.0	2100.0	CHLORUREE CALC.-MAGNESIENNE	1
MA0002	06-Feb-89	223.0	202.0	63.0	10.0	12.0	890.0	243.0	271.0	0.0	2190.0	CHLORUREE CALC.-MAGNESIENNE	1
MA0003	06-Feb-89	281.0	64.0	45.0	5.0	5.0	16.0	17.0	343.0	0.0	400.0	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	1
MA0004	06-Feb-89	192.0	226.0	137.0	5.0	6.0	745.0	183.0	235.0	0.0	1770.0	CHLORUREE CALC.-MAGNESIENNE	2
MA0005	05-Feb-89	212.0	103.0	20.0	10.0	4.0	48.0	325.0	257.0	0.0	772.0	SULFATEE ET BICARBONATEE + (CA&MG)	3
MA0006	04-Feb-89	40.0	8.0	9.0	0.0	2.0	0.0	0.0	49.0	0.0	61.0	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	4
MA0007	04-Feb-89	244.0	50.0	27.0	2.0	4.0	0.0	7.0	297.0	0.0	315.0	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	4
MA0008	04-Feb-89	277.0	64.0	25.0	5.0	2.0	1.0	27.0	339.0	0.0	366.0	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	4
MA0009	06-Feb-89	240.0	57.0	56.0	5.0	6.0	215.0	63.0	294.0	0.0	764.0	CHLORUREE ET BICARBONATEE + (CA&MG)	5
MA0010	06-Feb-89	259.0	74.0	9.0	2.0	3.0	4.0	12.0	317.0	0.0	343.0	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	5
MA0011	06-Feb-89	246.0	56.0	24.0	5.0	3.0	4.0	11.0	301.0	0.0	317.0	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	5
MA0012	06-Feb-89	150.0	459.0	337.0	2.0	38.0	3950.0	800.0	182.0	0.0	9486.0	HYPER CHLORUREE CALCIQUE MAGNESIENNE	6
MA0013	06-Feb-89	74.0	47.0	6.0	5.0	2.0	9.0	27.0	90.0	0.0	211.0	SULFATEE CALCIQUE	6
MA0014	06-Feb-89	190.0	66.0	5.0	5.0	3.0	4.0	26.0	232.0	0.0	276.0	BICARBONATEE CALCIQUE	6
MA0015	05-Feb-89	293.0	47.0	20.0	10.0	2.0	9.0	45.0	232.0	0.0	323.0	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	7
MA0016	05-Feb-89	219.0	47.0	0.0	2.0	0.0	2.0	2.0	266.0	0.0	281.0	BICARBONATEE CALCIQUE	8
MA0017	05-Feb-89	88.0	112.0	35.0	10.0	4.0	2.0	260.0	107.0	0.0	1366.0	HYPER SULFATEE-CALCIQUE MAGNESIENNE	8
MA0018	06-Feb-89	171.0	33.0	29.0	2.0	1.0	19.0	34.0	209.0	0.0	306.0	BICARBONATEE CALC.-MAGNESIENNE	9
MA0019	06-Feb-89	142.0	177.0	47.0	100.0	6.0	765.0	380.0	172.0	0.0	1905.0	HYPER CHLORUREE CALCIQUE MAGNESIENNE	9
MA0020	06-Feb-89	224.0	206.0	89.0	3.0	15.0	1500.0	600.0	272.0	0.0	3503.0	CHLORUREE CALC.-MAGNESIENNE	9

La dureté de l'eau ($\text{CaCO}_3 = \text{mg/l}$) est un caractère naturel¹⁹ lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium. Les valeurs de dureté mesurées sont élevées et suggèrent la présence de roches calcaires et dolomitiques, reflétant mal la composition chimique des roches constituant le Groupe de Bakoye (grès et schiste). Seul le Groupe de Nioro (voir section 2.3.1) renferme des dolomies calcaires et les affleurements de ce Groupe se situent approximativement à quelque 50-60 km au N.E. du barrage de Manantali. Toutes les eaux analysées sont classées "modérément dures", soit une valeur de dureté $> 75 \text{ mg/l}$ de CaCO_3 .

Les concentrations de l'ion sulfate des eaux analysées sont très variables. Les valeurs sont parfois importantes et excèdent 300 mg/l suggérant la présence de gypse ou un temps de contact avec la roche encalssante. La présence de sulfate en quantité supérieure à 300 mg/l peut entraîner une attaque du béton et accélérer la corrosion du fer. Une teneur supérieure à 480 mg/l rend l'eau impropre à l'agriculture²⁰.

¹⁹ Rodier, 1984, p. 1020.

²⁰ Rodier, 1984, p. 1094.

Tableau #12: Valeurs de pH et conductivité comparées entre Juin et Septembre 89

PIEZO #	CO_06/89 $\mu\text{S/cm}$	CO_09/89 $\mu\text{S/cm}$	pH_06/89	pH_09/89
MA0001	1830	620	7.5	6.4
MA0002	2400	1210	7.5	6.5
MA0003	600	174	7.4	5.7
MA0004	1850	500	7.6	7.0
MA0005	1000	n/m	7.3	n/m
MA0006	85	70	6.2	5.5
MA0007	415	400	6.8	7.2
MA0008	460	470	7.0	8.0
MA0009	1300	1600	7.2	7.1
MA0010	490	400	7.7	7.0
MA0011	430	80	7.3	6.5
MA0012	2600	2100	7.9	7.3
MA0013	350	195	7.0	6.5
MA0014	240	250	6.3	6.7
MA0015	520	n/m	7.7	n/m
MA0016	400	n/m	8.2	n/m
MA0017	1820	n/m	6.2	n/m
MA0018	205	115	6.5	6.5
MA0019	2700	2580	7.0	7.0
MA0020	5000	4600	7.3	7.0
Nbre	20	16	20	16
Min	85	70	6.2	5.5
Max	5000	4600	8.2	8.0
Moyenne	1235	960	7.2	6.7
Ecart type	1203	1194	0.5	0.6

La valeur moyenne de conductivité électrique des eaux souterraines varie de 1235 $\mu\text{S/cm}$ (saison sèche) à 960 $\mu\text{S/cm}$ (saison des pluies). Ces eaux sont caractéristiques d'une minéralisation importante²¹ dont l'origine, dans le Groupe de Bakoye (grès siliceux et feldspathiques, schistes), doit être recherchée dans l'altération chimique de la portion feldspathique de l'aquifère.

La diminution observée de la valeur moyenne de conductivité électrique (960 $\mu\text{S/cm}$) après la saison des pluies suppose une recharge efficace du réseau fracturé par infiltration des eaux de pluies, faiblement minéralisées.

Le pH moyen des eaux souterraines varie de 7.2 (saison sèche) à 6.7 (saison des pluies). Ces valeurs moyennes de pH sont caractéristiques des roches siliceuses. Le passage d'une eau légèrement basique à la fin de la saison sèche vers une eau légèrement acide après la saison des pluies suppose une recharge du réseau fracturé par les eaux de ruissellement acidifiées par les matières organiques.

²¹ Rodier, 1984, p. 1015.

Les tableaux #12 et #13 comparent pour deux dates d'échantillonnage différentes les teneurs des anions chlore (Cl-) et les nitrates (NO₃⁻). Pour les nitrates, la norme américaine des eaux potables est NO₃ < 45 mg/l.

Tableau #13: Concentration comparée du Chlore (mg/l)

PIEZO #	Date Prélèvement		Strat. Crépine	Complexe Site		Localisation		Cours d'eau	Dist. km
	Feb-89	Jul-89		CS_Cl	#	Barrage	Rive		
MA0001	825.0	244.0	PELITE 1B	Cl	1	AVAL	RD	BAFING	0.65
MA0002	890.0	532.0	GRES 2	Cl	1	AVAL	RD	BAFING	0.50
MA0003	16.0	352.0	GRES 2	Cl	1	AVAL	RD	BAFING	0.20
MA0004	745.0	236.0	GRES 0	Cl	2	AVAL	RG	BAFING	0.75
MA0005	48.0	222.0	GRES B	CS	3	AVAL	RG	BAFING	5.00
MA0006	0.0	168.0	GRES C	CS	4	AMONT	RD	BAFING	10.50
MA0007	0.0	160.0	GRES C	CS	4	AMONT	RD	BAFING	11.40
MA0008	1.0	376.0	GRES C	CS	4	AMONT	RD	BAFING	11.75
MA0009	215.0	224.0	GRES 2	Cl	5	AVAL	RD	BAFING	0.40
MA0010	4.0	400.0	GRES 2	Cl	5	AVAL	RD	BAFING	0.40
MA0011	4.0	272.0	GRES 2	Cl	5	AVAL	RD	BAFING	0.15
MA0012	3950.0	580.0	GRES 1A	Cl	6	AVAL	RG	BAFING	0.25
MA0013	9.0	320.0	GRES 0	Cl	6	AVAL	RG	BAFING	0.25
MA0014	4.0	144.0	GRES 1A	Cl	6	AVAL	RG	BAFING	0.40
MA0015	9.0	222.0	GRES 0	Cl	7	AVAL	RG	BAFING	1.50
MA0016	2.0	280.0	DOLERITE	Cl	8	AVAL	RG	BAFING	0.75
MA0017	2.0	380.0	GRES 2	Cl	8	AVAL	RG	BAFING	0.75
MA0018	19.0	78.0	GRES 1	Cl	9	AVAL	RD	BAFING	0.75
MA0019	765.0	92.0	GRES 1A	Cl	9	AVAL	RD	BAFING	0.55
MA0020	1500.0	484.0	GRES 2	Cl	9	AVAL	RD	BAFING	0.15

Tableau #14: Concentration comparée du Nitrate (NO₃⁻ en mg/l)

PIEZO #	Date Prélèvement		Strat. Crépine	Complexe Site		Localisation		Cours d'eau	Dist. km
	Feb-89	Jul-89		CS_Cl	#	Barrage	Rive		
MA0001	0.2	1.3	PELITE 1B	Cl	1	AVAL	RD	BAFING	0.65
MA0002	0.0	0.9	GRES 2	Cl	1	AVAL	RD	BAFING	0.50
MA0003	0.8	0.9	GRES 2	Cl	1	AVAL	RD	BAFING	0.20
MA0004	0.1	0.9	GRES 0	Cl	2	AVAL	RG	BAFING	0.75
MA0005	0.2	0.4	GRES B	CS	3	AVAL	RG	BAFING	5.00
MA0006	0.4	4.4	GRES C	CS	4	AMONT	RD	BAFING	10.50
MA0007	0.0	0.4	GRES C	CS	4	AMONT	RD	BAFING	11.40
MA0008	0.1	0.4	GRES C	CS	4	AMONT	RD	BAFING	11.75
MA0009	0.1	0.9	GRES 2	Cl	5	AVAL	RD	BAFING	0.40
MA0010	0.0	0.4	GRES 2	Cl	5	AVAL	RD	BAFING	0.40
MA0011	0.1	4.4	GRES 2	Cl	5	AVAL	RD	BAFING	0.15
MA0012	0.2	0.9	GRES 1A	Cl	6	AVAL	RG	BAFING	0.25
MA0013	0.0	4.4	GRES 0	Cl	6	AVAL	RG	BAFING	0.25
MA0014	0.1	0.0	GRES 1A	Cl	6	AVAL	RG	BAFING	0.40
MA0015	0.8	0.0	GRES 0	Cl	7	AVAL	RG	BAFING	1.50
MA0016	0.1	0.4	DOLERITE	Cl	8	AVAL	RG	BAFING	0.75
MA0017	0.4	0.0	GRES 2	Cl	8	AVAL	RG	BAFING	0.75
MA0018	0.1	0.4	GRES 1A	Cl	9	AVAL	RD	BAFING	0.75
MA0019	0.2	0.9	GRES 1A	Cl	9	AVAL	RD	BAFING	0.55
MA0020	0.1	4.4	GRES 2	Cl	9	AVAL	RD	BAFING	0.15

26

Les tableaux #14 et #15 montrent les teneurs en Fer (Fe++) et les valeurs de Turbidité. Les normes américaines relatives aux eaux potables sont pour le Fer < 0.3 mg/l et pour la turbidité (inférieure à 5 J.T.U). Les valeurs mesurées de la turbidité sont très élevées et reflètent une recharge efficace du réseau fracturé par les eaux de surface.

Tableau #15: Février 1989 - concentration de l'élément Fer (Fe++)

PIEZO #	Fe++ mg/l	Strat. Crépine	Complex CS_CI	Site #	Localisation Barrage Rive	Cours d'eau	Dist. km
MA0001	0.0	PELITE 1B	CI	1	AVAL RD	BAFING	0.65
MA0002	0.0	GRES 2	CI	1	AVAL RD	BAFING	0.50
MA0003	0.1	GRES 2	CI	1	AVAL RD	BAFING	0.20
MA0004	0.6	GRES 0	CI	2	AVAL RG	BAFING	0.75
MA0005	2.2	GRES B	CS	3	AVAL RG	BAFING	5.00
MA0006	0.1	GRES C	CS	4	AMONT RD	BAFING	10.50
MA0007	0.1	GRES C	CS	4	AMONT RD	BAFING	11.40
MA0008	0.1	GRES C	CS	4	AMONT RD	BAFING	11.75
MA0009	0.0	GRES 2	CI	5	AVAL RD	BAFING	0.40
MA0010	0.0	GRES 2	CI	5	AVAL RD	BAFING	0.40
MA0011	0.0	GRES 2	CI	5	AVAL RD	BAFING	0.15
MA0012	0.0	GRES 1A	CI	6	AVAL RG	BAFING	0.25
MA0013	0.1	GRES 0	CI	6	AVAL RG	BAFING	0.25
MA0014	0.4	GRES 1A	CI	6	AVAL RG	BAFING	0.40
MA0015	0.1	GRES 0	CI	7	AVAL RG	BAFING	1.50
MA0016	0.8	DOLERITE	CI	8	AVAL RG	BAFING	0.75
MA0017	1.6	GRES 2	CI	8	AVAL RG	BAFING	0.75
MA0018	0.0	GRES 1A	CI	9	AVAL RD	BAFING	0.75
MA0019	0.2	GRES 1A	CI	9	AVAL RD	BAFING	0.55
MA0020	0.0	GRES 2	CI	9	AVAL RD	BAFING	0.15

Tableau #16: Février 1989 - Turbidité (Jackson Turbidity Unit - JTU)

PIEZO #	Turb. JTU	Strat. Crépine	Complex CS_CI	Site #	Localisation Barrage Rive	Cours d'eau	Dist. km
MA0001	29.0	PELITE 1B	CI	1	AVAL RD	BAFING	0.65
MA0002	5.0	GRES 2	CI	1	AVAL RD	BAFING	0.50
MA0003	72.0	GRES 2	CI	1	AVAL RD	BAFING	0.20
MA0004	10.0	GRES 0	CI	2	AVAL RG	BAFING	0.75
MA0005	36.0	GRES B	CS	3	AVAL RG	BAFING	5.00
MA0006	11.0	GRES C	CS	4	AMONT RD	BAFING	10.50
MA0007	10.0	GRES C	CS	4	AMONT RD	BAFING	11.40
MA0008	11.0	GRES C	CS	4	AMONT RD	BAFING	11.75
MA0009	38.0	GRES 2	CI	5	AVAL RD	BAFING	0.40
MA0010	2.0	GRES 2	CI	5	AVAL RD	BAFING	0.40
MA0011	9.0	GRES 2	CI	5	AVAL RD	BAFING	0.15
MA0012	55.0	GRES 1A	CI	6	AVAL RG	BAFING	0.25
MA0013	22.0	GRES 0	CI	6	AVAL RG	BAFING	0.25
MA0014	16.0	GRES 1A	CI	6	AVAL RG	BAFING	0.40
MA0015	8.0	GRES 0	CI	7	AVAL RG	BAFING	1.50
MA0016	8.0	DOLERITE	CI	8	AVAL RG	BAFING	0.75
MA0017	31.0	GRES 2	CI	8	AVAL RG	BAFING	0.75
MA0018	24.0	GRES 1A	CI	9	AVAL RD	BAFING	0.75
MA0019	52.0	GRES 1A	CI	9	AVAL RD	BAFING	0.55
MA0020	12.0	GRES 2	CI	9	AVAL RD	BAFING	0.15

27

5 CYCLE DES FLUCTUATIONS ANNUELLES

5.1 Réservoir de Manantali - Variations limnimétriques

Le remplissage du barrage de Manantali a débuté le 18 juillet 87. Depuis cette date, le remplissage a été effectué progressivement sous le contrôle du Groupement de Manantali en fonction des préoccupations géotechniques et des besoins en eau des utilisateurs le long de la vallée du fleuve Sénégal. Le remplissage complet sera terminé au cours de la saison des pluies 1990 lorsque le plan d'eau du réservoir aura atteint la cote maximale d'exploitation (208 m/ 0 IGN).

Ce remplissage crée une formidable surcharge hydraulique dans les environs du barrage de Manantali passant en quelques années de la cote 154 m/ 0 IGN à la cote 208 m/ 0 IGN, soit une charge hydraulique équivalente à 54 mètres d'eau.

La figure #6 montre la variation limnimétrique du Bafing en aval du barrage pour la période 1989.

La figure #7 montre l'évolution du plan d'eau du réservoir depuis juillet 1987 jusqu'au 31 décembre 1989. L'annexe #5 donne à titre documentaire, les volumes d'eau stockés dans le réservoir de Manantali en fonction du temps, les débits mensuels moyens (m^3/sec) lâchés à partir du barrage dans le cadre de la régularisation du débit du fleuve Sénégal, les volumes d'eau mensuels moyens (m^3) cumulés par année et les variations journalières des débits lâchés (m^3/sec).

Les fluctuations limnimétriques du réservoir amont du barrage de Manantali sont étroitement liées au cycle climatique de la région: une saison des pluies de mai à octobre avec un maximum des précipitations observé en août. L'annexe #6 présente, pour la période 1986 - 1989, les principaux paramètres climatiques (T_{min} , T_{max} , T_{moyen} (celsius), l'humidité relative(%), la vitesse des vents (m/s), l'évaporation Piche (mm), la précipitation (mm), le nbre de jours de pluies, l'insolation (h/jr), l'évapotranspiration Penman totale (mm) et l'évaporation Penman (mm)) mesurés à la station météorologique de Mahina, ville localisée à 90 km au N.O. du barrage.

En moyenne²² pour la période 1986 - 1989: soit 4 années, la précipitation moyenne annuelle est de 814 mm pour 60 jours de pluies, l'évaporation Piche est de 2559 mm et la durée d'insolation de 2520 heures.

Schématiquement, le barrage de Manantali stocke les eaux de pluies à partir de juillet jusqu'à la fin du mois d'octobre et par la suite perd naturellement par évaporation 2.5 mètres auxquels se rajoutent les volumes d'eau lâchés en vue de régulariser le débit du fleuve Sénégal.

²² Réf.: annexe #6 de ce rapport, p. 4.

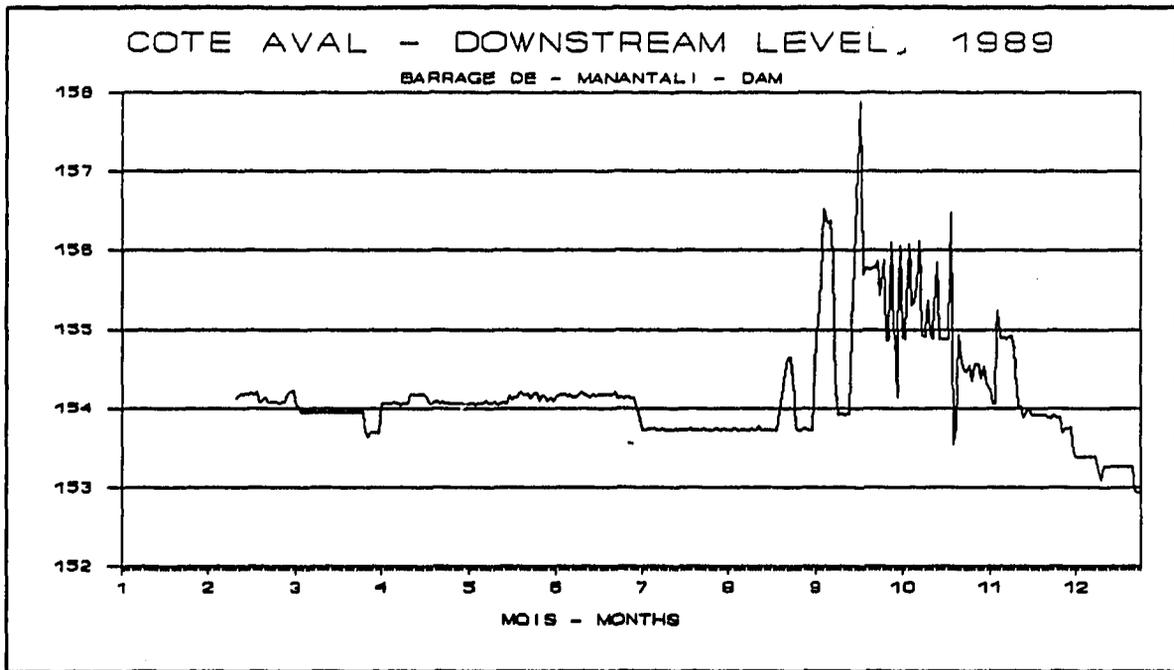


Figure 6 Année 1989: Variations limnimétriques du Bafing en aval du barrage de Manantali.

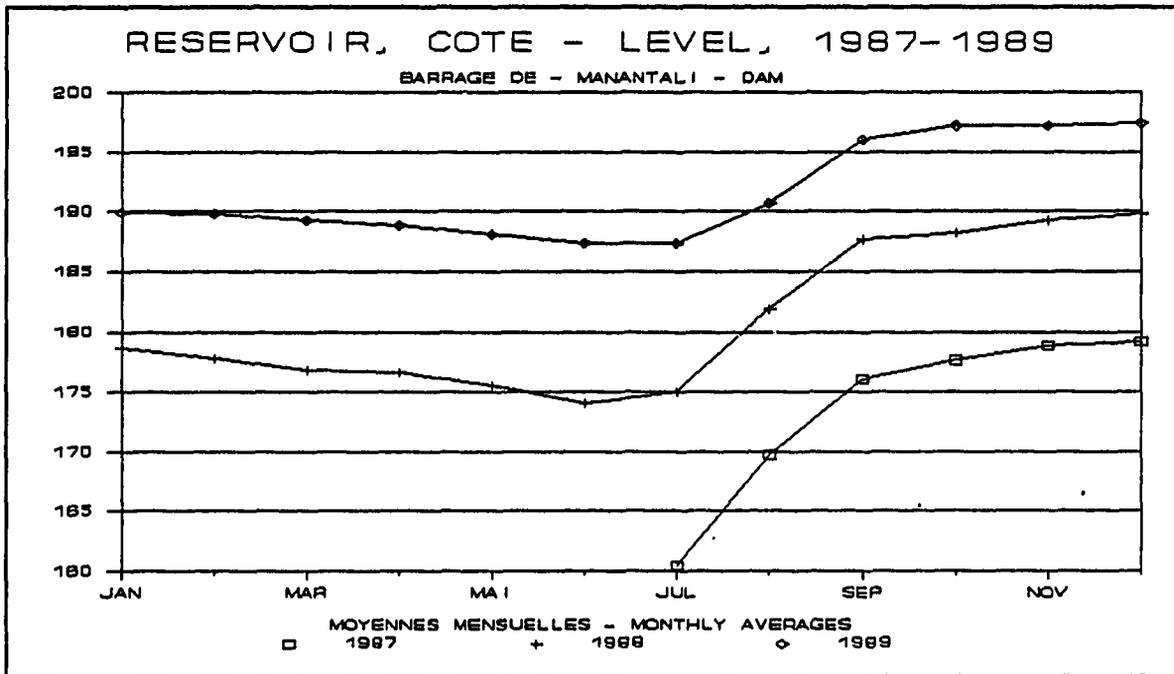


Figure 7 Période 1987 - 1989: Variations limnimétriques du réservoir du barrage de Manantali.

29

5.2 Fluctuations des niveaux piézométriques

Le personnel du secteur de Manantali procède périodiquement à des mesures de profondeur de niveau d'eau par rapport aux points repères des piézomètres: le sommet du tubage acier, lesquels ont été nivelés. La périodicité des mesures est hebdomadaire à bi-mensuelle.

Les mesures résultantes de ce suivi périodique sont acheminées au bureau central à St Louis et saisies dans la base de données GES. La fonction graphique de la base de données GES permet de visualiser les fluctuations piézométriques par ouvrage pour une période donnée et de les comparer aux variations limnimétriques du Bafing (amont et/ou aval du barrage - au choix) et aux précipitations journalières. Les graphiques caractéristiques des 9 sites géographiques ont été tracés (voir annexe #4) pour la période: 30/09/88 au 01/01/90. Selon le site géographique concerné, une ou plusieurs courbes isopièzes peuvent être représentées (un, deux ou trois piézomètres) sur le même graphique.

Le tableau #17 identifie, pour l'ensemble des piézomètres localisés dans les environs du barrage de Manantali, la cote IGN de l'embase de béton correspondant dans la pratique à l'élévation topographique, les cotes du niveau d'eau (isopièzes) relatives aux mois de Juin et Septembre 1989 et les formations géologiques. De ces données de base, les calculs de la remontée (isopièzes septembre - juin) et de la profondeur du niveau d'eau (septembre) par rapport au sol ont été effectués.

Tableau #17: Remontée du niveau piézométrique entre les mois de juin et septembre 89.

Piezo #	Surface m/0 IGN	Sommet NS_06/BSNS_09/89 m/0 IGN	NS_06/BSNS_09/89 m/0 IGN	Rem.NS_09 m	NS_09 m/sol	Strat. Crépine	Complexe CS_CI	Coordonnées MTU-X	Coordonnées MTU-Y	Site #	Local. Barrage Rive	Cours d'eau	Dist km	
MA0001	161.15	151.83	157.63	160.08	2.45	1.07	PELITE 1B	CI	343.0	1459.6	1	AVAL RD	BAFING	0.65
MA0002	161.14	124.92	158.36	160.05	1.69	1.09	GRES 2	CI	343.0	1459.6	1	AVAL RD	BAFING	0.50
MA0003	162.15	120.99	158.64	160.55	1.91	1.59	GRES 2	CI	343.5	1459.7	1	AVAL RD	BAFING	0.20
MA0004	160.59	136.10	156.87	157.95	1.08	2.64	GRES 0	CI	342.2	1458.4	2	AVAL RG	BAFING	0.75
MA0005	288.61	247.62	288.22	N/A	N/A	N/A	GRES B	CS	341.4	1452.0	3	AVAL RG	BAFING	5.00
MA0006	258.65	199.67	243.48	246.87	3.39	11.78	GRES C	CS	366.5	1455.5	4	AMONT RD	BAFING	4.00
MA0007	254.59	208.59	247.14	250.87	3.73	3.72	GRES C	CS	370.1	1458.2	4	AMONT RD	BAFING	5.00
MA0008	258.66	209.70	247.14	250.84	3.70	7.82	GRES C	CS	370.1	1458.4	4	AMONT RD	BAFING	5.00
MA0009	161.14	135.14	159.52	160.76	1.24	0.39	GRES 2	CI	343.9	1459.6	5	AVAL RD	BAFING	0.40
MA0010	162.03	116.07	159.30	160.84	1.54	1.19	GRES 2	CI	343.9	1459.7	5	AVAL RD	BAFING	0.40
MA0011	163.36	103.40	159.33	161.33	2.00	2.03	GRES 2	CI	343.9	1459.8	5	AVAL RD	BAFING	0.15
MA0012	161.29	125.33	157.06	157.81	0.75	3.48	GRES 1A	CI	344.2	1459.1	6	AVAL RG	BAFING	0.25
MA0013	161.17	140.38	156.44	159.93	3.49	1.24	GRES 0	CI	344.5	1458.9	6	AVAL RG	BAFING	0.25
MA0014	161.16	90.06	156.46	159.93	3.47	1.24	GRES 1A	CI	344.2	1458.9	6	AVAL RG	BAFING	0.40
MA0015	152.37	134.88	149.18	N/A	N/A	N/A	GRES 0	CI	324.6	1465.0	7	AVAL RG	BAFING	1.50
MA0016	129.95	117.80	122.30	N/A	N/A	N/A	DOLERITE	CI	317.0	1464.2	8	AVAL RG	BAFING	0.75
MA0017	133.17	96.83	118.37	N/A	N/A	N/A	GRES 2	CI	318.1	1464.2	8	AVAL RG	BAFING	0.75
MA0018	162.25	108.26	156.34	161.15	4.81	1.10	GRES 1A	CI	338.2	1465.7	9	AVAL RD	BAFING	0.75
MA0019	159.03	131.04	155.86	159.81	3.95	-0.78	GRES 1A	CI	338.1	1465.6	9	AVAL RD	BAFING	0.55
MA0020	159.17	91.68	155.95	N/A	N/A	N/A	GRES 2	CI	338.0	1465.4	9	AVAL RD	BAFING	0.15

Toutes les cotes de ce tableau sont comparables avec celles des figures #6 et #7. De ce tableau et de façon générale, on observe que:

- 1) les piézomètres, forés dans la série lithostratigraphique du Complexe Supérieur et localisés en amont et aval en rives gauche et droite du barrage, captent une ou plusieurs nappes dont les courbes isopièzes sont largement au-dessus du plan d'eau du réservoir,
- 2) tous les autres piézomètres, forés dans la série lithostratigraphique du Complexe Inférieur et localisés en aval du barrage en rives droite et/ou gauche, captent une ou des nappes dont l'altitude (Juin 89) des niveaux d'eau (118.37 à 159.52 m/0 IGN) correspond sensiblement à l'élévation du fond de la vallée du Bafing, avec une profondeur du niveau d'eau variant de -0.78 à + 3.48 m/sol,
- 3) la profondeur des niveaux d'eau par rapport au sol est faible (NS < 3.7 m/sol), indépendamment de la cote topographique du piézomètre. La surface piézométrique semble être contrôlée par le relief

lequel évoque une recharge verticale efficace.

5.2.1 Zone #1 - MA001, MA002 et MA003 - rive droite du Bafing aval du barrage

La zone géographique #1 regroupe 3 piézomètres crépinés dans la pélite 1B (MA001) et le grès 2 (MA002 et MA003) du Complexe Inférieur.

Les fluctuations piézométriques sont comparables d'un ouvrage à l'autre et sont indépendantes des variations du plan d'eau dans le réservoir du barrage (axe du barrage situé à environ 1 km de la zone).

Les mesures périodiques comparées de niveau d'eau entre les piézomètres révèlent une différence constante de charge hydraulique relative aux conditions hydrauliques à chaque réseau fracturé capté. On enregistre une différence de charge hydraulique $Dh=1.01$ m entre les deux nappes pouvant détermier un gradient hydraulique vertical. Toutefois, les charges hydrauliques des deux nappes captées sont supérieures à celle du Bafing aval ce qui confirme la réalimentation constante du Bafing par les réseaux fracturés.

La remontée du niveau d'eau consécutive à la saison des pluies (mai à septembre) est observable vers la fin de juillet, soit 2 mois après le démarrage de la saison des pluies (mi-mai). L'amplitude maximale (entre 1.69 et 2.45 m selon le piézomètre concerné) de cette remontée est observée vers la mi-septembre, 2.5 mois plus tard. L'intensité des précipitations est observable directement sur le profil piézométrique qui évolue en dents de scie.

Par la suite, on observe un rabattement (2 mois équivalent à la remontée) suivi d'un palier de stabilisation, correspondant à la saison sèche (observable du début de novembre jusqu'à la fin de juillet).

Par conséquent, la recharge du réseau fracturé est liée à l'infiltration des eaux de pluies et à la réalimentation à partir du Bafing. La décharge du réseau semble être principalement l'évaporation.

5.2.2 Zone #2 - MA004 - rive gauche du Bafing aval du barrage

La zone géographique #2 regroupe un seul piézomètre crépiné dans le grès 0 du Complexe Inférieur.

Les fluctuations piézométriques (MA004) sont similaires à celles de la zone #1. Elles sont indépendantes des variations du plan d'eau dans le réservoir du barrage (axe du barrage à 1 km de la zone).

La remontée du niveau d'eau consécutive à la saison des pluies (mai à septembre) est observable vers la fin de juillet, soit 2 mois après le démarrage de la saison des pluies (mi-mai). L'amplitude maximale (1.08 m) de cette remontée est observée vers le début octobre, 3 mois plus tard. L'intensité des précipitations est observable directement sur le profil piézométrique qui évolue en dents de scie.

Par la suite, on observe un rabattement (2 mois équivalent à la remontée) suivi d'un palier de stabilisation, correspondant à la saison sèche (observable du début de novembre jusqu'à la fin de juillet).

Par conséquent, la recharge du réseau fracturé est liée à l'infiltration des eaux de pluies. La décharge du réseau semble être principalement l'évaporation et l'égouttement du réseau vers la ligne de résurgence: le Bafing.

5.2.3 Zone #3 - MA005 - rive gauche du Bafing aval du barrage

La zone géographique #3 renferme un seul piézomètre crépiné dans le grès B du Complexe Supérieur.

Ce piézomètre est hydrographiquement, le seul ouvrage, localisé dans le bassin versant du Balinn juxtaposé à celui du Bafing. Cet ouvrage est situé à environ 5 km du barrage. Le sommet de sa crépine est à la cote 247.62 m/0 IGN soit approximativement 55 mètres au dessus du plan d'eau du réservoir correspondant à l'année 1989.

Le niveau piézométrique mesuré est sub-affleurant (288.22 m/0 IGN juin 89) par rapport à la cote topographique du piézomètre (288.61 m/0 IGN).

Les fluctuations piézométriques de cet ouvrage montrent deux valeurs maximales de la remontée du niveau d'eau au cours de l'année 89. La première correspond au mois de mars (difficilement explicable) et la seconde à la saison des pluies.

Dès le mois d'août, ce forage devient artésien pour une période de 4 mois reflétant une recharge efficace du réseau fracturé maillant les hauts sommets topographiques avoisinants lequel se vidange dans les bas-fonds.

La remontée du niveau d'eau observée en milieu de la saison sèche pourrait, hypothétiquement, s'expliquer par l'arrêt du pompage du puits ou du forage dans le village. Les observations de terrain sont muettes sur ce sujet.

5.2.4 Zone #4 - MA006, MA007 et MA008 - rive droite du Bafing en amont du barrage

La zone géographique #4 regroupe 3 piézomètres crépinés dans le grès C du Complexe Supérieur.

Les fluctuations piézométriques sont identiques pour les piézomètres MA007 et MA008 et comparables à celles du piézomètre MA006. Elles sont indépendantes des variations du plan d'eau (187 à 197 m/0 IGN) dans le réservoir du barrage car la surface piézométrique (243.48 à 247.14 m/0 IGN) y est supérieure.

Les mesures périodiques comparées des niveaux d'eau entre les piézomètres révèlent une différence de charge hydraulique ($D_h = 3.6\text{m}$) entre le piézomètre MA006 (4.0 km du réservoir) et les deux autres piézomètres (5.0 km du réservoir). Cette différence de charge infère un gradient hydraulique vertical entre les différentes nappes. Toutefois, les charges hydrauliques des nappes captées sont supérieures à celle du Bafing aval ce qui confirme la réalimentation constante du Bafing par les réseaux fracturés.

La remontée du niveau d'eau consécutive à la saison des pluies (mai à septembre) est observable vers la fin de juillet, soit 2 mois après le démarrage de la saison des pluies (mi-mai). L'amplitude maximale (environ 3.7 m) de cette remontée est observée vers la mi-septembre, 2.5 mois plus tard.

Après la recharge du réseau fracturé par l'infiltration des eaux de pluies, on observe un rabattement (durée 10 mois équivalent à la remontée) soutenu et progressif des niveaux piézométriques tout au long de la saison sèche. Ceci correspond à la phase de vidange de cet aquifère fracturé.

Par conséquent, la recharge du réseau fracturé est liée à l'infiltration des eaux de pluies et sa décharge à l'évaporation.

5.2.5 Zone #5 - MA009, MA010 et MA011 - rive droite du Bafing aval du barrage

La zone géographique #5 regroupe 3 piézomètres crépinés à des profondeurs différentes dans le grès 2 du Complexe Inférieur.

Les fluctuations piézométriques sont identiques d'un ouvrage à l'autre et elles sont indépendantes des variations du plan d'eau dans le réservoir du barrage (axe du barrage situé à 0.3 km de la zone).

Les mesures périodiques comparées de niveau d'eau entre les piézomètres révèlent une différence de charge hydraulique $D_h = 0.60\text{ m}$ reflétant un gradient hydraulique vertical entre les nappes captées. Toutefois, les charges hydrauliques des nappes captées sont supérieures à celle du Bafing aval ce qui confirme la réalimentation constante du Bafing par les réseaux fracturés.

Au cours du pompage d'essai effectué sur le MA009 (descente = 24 h et remontée = 24 h), on observe, à la fin de l'essai, une stabilisation des rabattements à $t=950\text{ mn}$ évoquant une limite d'alimentation après avoir observé à $t=70\text{ mn}$ et à $t=650\text{ mn}$ une double rupture de pente attestant l'existence d'une double limite étanche.

La remontée du niveau d'eau consécutive à la saison des pluies (mai à septembre) est observable vers la fin de juillet, soit 2 mois après le démarrage de la saison des pluies (mi-mai). L'amplitude maximale (entre 1.24 et 2.00 m selon le piézomètre concerné) de cette remontée est observée vers la mi-septembre, 2.5 mois plus tard. L'intensité des précipitations est observable directement sur le profil piézométrique qui

évolue en dents de scie.

Par la suite, on observe un rabattement (durée de 2 mois équivalent à la remontée) suivi d'un palier de stabilisation, correspondant à la saison sèche (observable du début de novembre jusqu'à la fin de juillet).

Par conséquent, le Bafing constitue une limite d'alimentation d'un aquifère fracturé anisotrope.

5.2.6 Zone #6 - MA012, MA013 et MA014 - rive gauche du Bafing aval du barrage

La zone géographique #6 regroupe 3 piézomètres crépinés à des profondeurs différentes dans le grès 1A (MA012 et MA014) et le grès 0 (MA013) du Complexe Inférieur.

CAS MA012

Les fluctuations piézométriques du MA012 sont identiques à celles observées en rive droite du fleuve à la zone #5 (MA009, MA010 et MA011) et sont indépendantes des variations du plan d'eau dans le réservoir du barrage (axe du barrage à 0.3 km de la zone).

La remontée du niveau d'eau suite à la saison des pluies (mai à septembre) est observable vers la fin de juillet, soit 2 mois après le démarrage de la saison des pluies (mi-mai). L'amplitude maximale (0.75 m) de cette remontée est observée vers la mi-septembre, 2.5 mois plus tard. L'intensité des précipitations est observable directement sur le profil piézométrique qui évolue en dents de scie.

Par la suite, on observe un rabattement (durée de 2 mois équivalent à la remontée) suivi d'un palier de stabilisation, correspondant à la saison sèche (observable du début de novembre jusqu'à la fin de juillet).

Au cours du pompage d'essai effectué sur le MA012 (descente = 48 hres et remontée = 48 hres), on observe, à la fin de l'essai, une stabilisation des rabattements à t=95 mn évoquant une limite d'alimentation.

CAS MA013 ET MA014

Les fluctuations piézométriques du (MA013 et MA014) sont comparables entre elles et leurs profils piézométriques se distinguent du MA012.

Le palier de stabilisation n'est pas observé et la réaction de l'aquifère aux événements pluviométriques est instantanée.

La remontée du niveau d'eau suite à la saison des pluies (mai à septembre) est observable vers la mi-juin, soit 1 mois après le démarrage de la saison des pluies (mi-mai). L'amplitude maximale (3.49 m) de cette remontée est observée vers la mi-août, 2.0 mois plus tard. L'intensité des précipitations est observable sur le profil piézométrique qui évolue en dents de scie, toutefois, son profil est moins accentué que le MA012.

Après la recharge du réseau fracturé par l'infiltration des eaux de pluies, on observe un rabattement (durée de 10 mois équivalent à la remontée) soutenu et progressif des niveaux piézométriques tout au long de la saison sèche. Ceci correspond à la phase de vidange de cet aquifère fracturé.

Au cours du pompage d'essai effectué sur le MA012 (descente = 48 hres et remontée = 48 hres), les rabattements observés sur les piézomètres MA013 et MA014 ne montre pas de stabilisation à l'instar de la station de pompage.

Par conséquent, les piézomètres de cette zone captent deux nappes distinctes. La recharge du réseau fracturé est liée à l'infiltration des eaux de pluies et sa décharge à l'évaporation.

5.2.7 Zone #7 - MA0015 - rive gauche du Bafing aval du barrage

La zone géographique #7 renferme le piézomètre MA015 crépiné dans le grès 0 du Complexe Inférieur.

Les fluctuations piézométriques de cet ouvrage sont indépendantes des variations du plan d'eau

dans le réservoir du barrage (axe du barrage à 16,4 km de la zone).

Le niveau piézométrique mesuré est sub-affleurant (149.18 m/0 IGN juin 89) par rapport à la cote topographique du piézomètre (152.37 m/0 IGN).

Les fluctuations piézométriques de cet ouvrage montrent une valeur maximale correspondant à la saison des pluies. Dès le mois d'août, ce forage devient artésien pour une période de 3 mois reflétant une recharge efficace du réseau fracturé maillant les hauts sommets topographiques avoisinants lequel se vidange dans les bas-fonds.

La remontée du niveau d'eau (> 3.0 m) consécutive à la saison des pluies (mai à septembre) est observable vers le début de juillet, soit 1.5 mois après le démarrage de la saison des pluies (mi-mai). Au mois de septembre, ce forage devient artésien pour une période de 3 mois reflétant une recharge efficace du réseau fracturé maillant les hauts sommets topographiques avoisinants lequel se vidange dans les bas-fonds.

Après la recharge du réseau fracturé par l'infiltration des eaux de pluies, on observe un rabattement soutenu et progressif des niveaux piézométriques tout au long de la saison sèche. Ceci correspond à la phase de vidange de cet aquifère fracturé.

Par conséquent, la recharge du réseau fracturé est liée à l'infiltration des eaux de pluies et sa décharge à l'évaporation.

5.2.8 Zone #8 - MA016 et MA017 - rive gauche du Bafing aval du barrage

La zone géographique #8 regroupe 2 piézomètres crépinés à des profondeurs différentes dans le grès 2 (MA017) du Complexe Inférieur et une roche intrusive dolérite (MA016). Les fluctuations piézométriques sont totalement différentes d'un ouvrage à l'autre et elles sont indépendantes des variations du plan d'eau dans le réservoir du barrage (axe du barrage à 21.6 km et 23 km de la zone).

CAS MA016

Les précipitations annuelles influencent le piézomètre MA016 (Dolérite). La remontée du niveau d'eau consécutive à la saison des pluies (mai à septembre) est observable vers le début de juillet, soit 1.5 mois après le démarrage de la saison des pluies (mi-mai). L'amplitude maximale de cette remontée n'a pas été observée mais serait de l'ordre de grandeur égale à 7.5 à 8 m.

Dès le mois d'août, ce forage devient artésien pour une période de 2 mois reflétant une recharge efficace du réseau fracturé maillant les hauts sommets topographiques avoisinants lequel se vidange dans les bas-fonds.

Au cours de la saison sèche, on observe un rabattement continu témoignant de l'évaporation de la nappe et des mécanismes de vidange (réalimentation d'un réseau fracturé annexe).

CAS MA017

Le piézomètre MA017, au cours du pompage d'essai (48 h) s'est comporté comme une nappe captive, en régime transitoire. Les précipitations annuelles n'influencent pas ce piézomètre. L'examen du profil piézométrique suggère une faible réalimentation par un réseau fracturé annexe. Cette réalimentation est effective bien au-delà de la fin des saisons des pluies.

Par conséquent, la recharge du réseau fracturé pour une partie (MA016) du réseau fracturé est liée à l'infiltration des eaux de pluies et sa décharge à l'évaporation et la réalimentation d'un réseau annexe. La recharge de l'autre partie du réseau fracturé (MA017) est tributaire de la drainance du réseau annexe et sa décharge n'est pas observable.

5.2.9 Zone #9 - MA018, MA019 et MA020 - rive droite du Bafing en aval du barrage

La zone géographique #9 regroupe 3 piézomètres crépinés dans le grès 1A (MA018 et MA019) et le grès 2 (MA020) du Complexe Inférieur.

Les fluctuations piézométriques sont comparables d'un piézomètre à l'autre et sont indépendantes des variations du plan d'eau dans le réservoir du barrage.

Les mesures périodiques comparées des niveaux d'eau entre les piézomètres révèlent une différence de charge hydraulique ($D_h = 0.5$ m) entre les piézomètres MA018 et MA019, reflétant un gradient hydraulique vertical entre les nappes captées. Toutefois, les charges hydrauliques des nappes captées sont supérieures à celle du Bafing aval ce qui confirme la réalimentation constante du Bafing par les réseaux fracturés.

Le piézomètre MA020, au cours du pompage d'essai (48 h) s'est comporté comme une nappe captive, en régime transitoire.

La remontée du niveau d'eau consécutive à la saison des pluies (mai à septembre) est observable vers la mi-juin, soit 1 mois après le démarrage de la saison des pluies (mi-mai). L'amplitude maximale (environ 3.95 m à environ 5 m) de cette remontée est observée vers la mi-septembre, 3 mois plus tard.

Dès le mois d'août, les forages (MA019 et MA020) deviennent artésien pour une période de 1 mois reflétant une recharge efficace du réseau fracturé maillant les hauts sommets topographiques avoisinants lequel se vidange dans les bas-fonds.

Après la recharge du réseau fracturé par l'infiltration des eaux de pluies, on observe un rabattement soutenu et progressif des niveaux piézométriques tout au long de la saison sèche. Ceci correspond à la phase de vidange de cet aquifère fracturé.

6 CONCLUSIONS

Le réseau piézométrique OMVS (20 piézomètres) est localisé dans les environs du barrage de Manantali et réparti sur 9 zones géographiques distinctes en amont et en aval du barrage. Le remplissage du réservoir du barrage a débuté le 18 juillet 87 (cote départ 154 m/0 IGN) et depuis, il tend vers sa cote d'exploitation maximale (208m/0 IGN). Malgré le remplissage planifié, les cotes de la retenue de Manantali baissent entre janvier et juin à cause d'une part des lâchures effectuées pour soutenir l'étiage et satisfaire les besoins des usagers en aval de Bakel et d'autre part à cause de l'évaporation sur la retenue elle-même.

Lors de la mise en place du réseau, les travaux de forage ont identifié plusieurs aquifères fracturés, appartenant à la série lithostratigraphique du Groupe de Bakoye (grès siliceux et feldspatiques et schistes). Ce Groupe a été subdivisé, conformément à la codification proposée par les Ingénieurs du Groupe de Manantali, en deux Complexes Inférieur et Supérieur. Schématiquement, le Complexe Inférieur se rattache au fond de la vallée du Bafing et le Complexe Supérieur aux falaises de bordure du réservoir de Manantali.

La relation entre la fréquence d'apparition des accidents structuraux (nbre de fractures/mètre linéaire) et la profondeur forée dans le socle a été recherchée. Cette fréquence, sans tenir compte de la composition géochimique des roches encaissantes, diminue avec la profondeur forée dans le socle. Lorsque la composition géochimique est prise en considération, il apparaît que le grès 2 du Complexe Inférieur est le plus fracturé (0.2 accidents structuraux/mètre linéaire) et que toutes les autres formations (Complexe Supérieur et Inférieur) sont comparables entre elles (0.06 à 0.1 accidents structuraux/mètre linéaire).

La productivité hydraulique par formation lithostratigraphique [(Q air lift m³/h)/nbre d'accidents structuraux] a été également recherchée. Les formations du Complexe Supérieur (falaise de bordure du réservoir) ont une productivité hydraulique (14 à 22 m³/h/accidents structuraux) de loin supérieure à celle du Complexe Inférieur (environ 7 m³/h/accidents structuraux).

Les 20 analyses chimiques des eaux souterraines montrent une grande diversité de faciès hydrogéochimiques tels:

- * bicarbonatées calciques et magnésiennes (10/20),
- * chlorurées calciques et magnésiennes (8/20),
- * sulfatées calciques et bicarbonatées (2/20).

Les eaux sont souvent douces et parfois saumâtres. Leur aptitude à l'irrigation varie de "médocre" à "excellente" selon la minéralisation de l'eau.

Les résultats chimiques supposent l'existence de plusieurs réseaux fracturés juxtaposés ou superposés et non communicants. Ces différents réseaux délimitent plusieurs aquifères anisotropes.

La comparaison des valeurs moyennes des paramètres physicochimiques (conductivité électrique et pH) entre la fin de la saison sèche et la fin de la saison des pluies montre une diminution (de la saison sèche à la saison des pluies) qui suppose une recharge verticale des réseaux fracturés par infiltration des eaux de pluies, faiblement minéralisées. Les hautes valeurs de turbidité, mesurées sur les échantillons d'eaux souterraines sont théoriquement caractéristiques de celles des eaux de surface ce qui tend à confirmer l'infiltration des eaux de pluies.

Les fluctuations piézométriques du réseau (cycle 88/89) ont été analysées en relation avec les variations du plan d'eau du barrage de Manantali et les précipitations.

De façon générale, sur l'ensemble du réseau OMVS (20 piézomètres), on observe indépendamment de la position géographique des piézomètres (aval ou amont du barrage) que:

- 1) la principale source de recharge des aquifères demeure l'infiltration des eaux de pluies limitée au mois d'août et de septembre (2 mois par année)
- 2) les pertes d'eau sont liées principalement, à l'évaporation (10 mois par année) et l'évapotranspiration et à l'égouttement probable d'un réseau fracturé à un autre,
- 3) la charge hydraulique (proportionnelle à une colonne d'eau = 54 m) provoquée par la mise en eau du réservoir de Manantali n'influence pas la piézométrie des nappes captées par le réseau OMVS,

4) la profondeur des niveaux d'eau par rapport au sol est faible ($NS < 3.7$ m/sol). La surface piézométrique semble, alors, être contrôlée par le relief lequel contrôle évoque une recharge verticale efficace.

De façon spécifique, à l'exception de la zone #3 où MA005 est localisé à l'extérieur du bassin du Bafing, les courbes des fluctuations piézométriques se classent en trois catégories:

1) Remontée - descente - suivi d'un palier

Dans cette catégorie se regroupe la majorité des piézomètres localisés en aval du barrage et distants approximativement d'un kilomètre de la rivière Bafing.

Les valeurs piézométriques mesurées sont systématiquement supérieures à la cote limnimétrique aval du Bafing.

Par conséquent, le Bafing constitue une limite de résurgence des eaux souterraines, alimenté par l'égouttement des divers systèmes fracturés avoisinants. Le palier observé s'expliquerait par une absence de fluctuations piézométriques liée à la convergence des lignes d'écoulement en direction du lit mineur du Bafing.

2) Remontée - descente progressive sans palier

Dans cette catégorie se regroupent tous les piézomètres localisés:

1) en aval du barrage et distants de plus d'un kilomètre de la limite de résurgence que constitue le Bafing,

2) dans les zones géographiques situées en amont du barrage et,

3) en aval du barrage dans le corridor d'un kilomètre en bordure du Bafing où le réseau fracturé ne communique pas avec le Bafing (zone #6).

Les courbes de fluctuations piézométriques de ces ouvrages ne montrent pas de palier de stabilisation.

Par conséquent, la descente progressive sans palier s'expliquerait par un réseau fracturé capté non communiquant avec le Bafing.

3) Remontée faible continue

Dans cette catégorie se trouve le piézomètre MA017. Ce piézomètre capte un réseau annexe hydrauliquement isolé de la limite de résurgence, le Bafing. Pour son alimentation et ceci, pour la période d'observation 1989, ce réseau fracturé semble être tributaire d'un autre réseau annexe.

Les observations du projet montrent que l'écoulement des eaux souterraines contribue à soutenir le débit du Bafing, et ceci, tout au long de l'année. Cette observation, vraie avant juillet 87, reste encore valable même après la mise en eau du barrage de Manantali. En effet, les surfaces piézométriques des nappes des plateaux ceinturant le réservoir du barrage sont nettement au-dessus de la cote actuelle et prévue (208m/0 IGN) d'exploitation de ce réservoir.

Cependant, ce constat ne signifie pas que le réservoir de Manantali n'a pas d'influence sur les formations avoisinantes au droit immédiat de ses limites (falaise de grès du Complexe Supérieur).

Avant la mise en eau du barrage, dans les falaises de grès du Complexe Supérieur, il existait des zones largement fracturées non saturées. Le rehaussement artificiel du plan d'eau du réservoir favorisera une alimentation de ces zones non saturées. Cette zone est délimitée par le plan des falaises, la surface piézométrique en conditions naturelles, avant la mise en eau du barrage, et un plan horizontal passant par la cote d'exploitation du réservoir.

Cette définition volumétrique nécessite l'existence de plusieurs réseaux inter-connectés communiquant avec le réservoir de Manantali. Cette hypothèse n'est pas confirmée par nos observations piézométriques.

Si tel était le cas, lors de la remontée du plan d'eau du réservoir, celui-ci contribuerait à alimenter le réseau fracturé non saturé et lors de sa descente, le réseau restituerait une partie des eaux accumulées. Cette zone serait en quelque sorte un réservoir tampon. Lors de la stabilisation du plan d'eau autour de la cote d'exploitation du barrage (environ 200 m/0 IGN), un nouvel équilibre piézométrique s'établirait. Les fortes différences de cote entre la piézométrie des points d'observation et la cote d'exploitation prévue du plan d'eau suggère un rayon d'influence du réservoir de faible extension.

Le nombre de points d'observation du réseau piézométrique OMVS ne permet pas d'apporter des réponses à cette question.

L'installation d'une ou de plusieurs lignes piézométriques perpendiculaires sur les plateaux en bordure du réservoir et sur des sites jugés structurellement représentatifs, permettrait d'apporter des éléments de réponses à cette question.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

MICHEL P., 1969 - Les Bassins des Fleuves Sénégal et Gambie, Etude Géomorphologique, Tome 1, Tome 2 et Tome 3, Thèse présentée pour l'obtention du doctorat d'Etat ès-Lettres à l'université de Strasbourg, Dakar, 1969.

GROUPEMENT DE MANANTALI, 1977 - Etudes et Exécution du Barrage et de l'Usine Hydroélectrique de Manantali, Rapport Final, Mission A 1.6 Reconnaissances géologiques et géotechniques, Volume 2: reconnaissance sur site géophysique et forages, Groupement de Manantali, ingénieurs conseils.

GROUPEMENT DE MANANTALI, 1978 - Etudes et Exécution du Barrage et de l'Usine Hydroélectrique de Manantali, Rapport Final, Mission A 1.6 Reconnaissances géologiques et géotechniques, Volume 1: rapport de synthèse, Groupement de Manantali, ingénieurs conseils.

GROUPEMENT DE MANANTALI, 1979 - Etudes et Exécution du Barrage de Manantali, Rapport Final, Mission A 2.1 Reconnaissances complémentaires, Volume 1: Topographie, hydrométrie, analyses d'eau, Groupement de Manantali, ingénieurs conseils.

GROUPEMENT DE MANANTALI, 1979 - Etudes et Exécution du Barrage de Manantali, Rapport Final, Mission A 2.1 Reconnaissances complémentaires, Volume 2.A: Géologie et géotechnique - TEXTES, Groupement de Manantali, ingénieurs conseils.

GROUPEMENT DE MANANTALI, 1979 - Etudes et Exécution du Barrage de Manantali, Rapport Final, Mission A 2.1 Reconnaissances complémentaires, Volume 2.A: Géologie et géotechnique - ANNEXES, Groupement de Manantali, ingénieurs conseils.

DNHE, (1988) - Programme d'exécution de 121 forages et d'installation de 94 pompes manuelles dans le cadre du projet de réinstallation des populations touchées par la construction du barrage de Manantali. rapport final, Ministère de l'Industrie, de l'Hydraulique et de l'Energie, Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie, Direction Hydrogéologique.

DNHE/OMVS, 1988 - Rapport projection géophysique de la zone du barrage de Manantali pour l'implantation de 19 piézomètres, Ministère du Développement Industriel et du Tourisme, Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie.

CASTANY G., 1982 - Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Dunod Université.

PES, 1989 - CEFIGRE - OMVS, Technologies Nouvelles et Gestion des Grands Fleuves, L'expérience OMVS et des Pays Membres, OMVS, Direction des Infrastructures Régionales, Cellule Eaux Souterraines. Projet OMVS/USAID 625-0958

SEBJ, 1978 - Essai de perméabilité in-situ, Fascicule no 7, Manuel de l'Inspecteur, Société D'Energie de la Baie James, Service Géologique et Mécanique des sols, Mars 1978, révisé en Janvier 1979.

FREEZE ALLAN R. & CHERRY JOHN A., 1979 - Groundwater, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J., 07632.

FLETCHERG Driscoll, 1986 - Groundwater And Wells, Ph D. Principal Author and Editor, Second Edition, Published by Johnson division, St Paul, Minesota, 55112.

DNHE, 1989 - Programme OMVS Exécution de 20 piézomètres à Manantali, Rapport Final, Ministère de l'Industrie de l'Hydraulique et de l'Energie, Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie, établi par M. Bagayoko et S. M. Fofana.

RODIER, J. 1984 - L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, avec la collaboration de H. Beuffe, M. Bourgaud, J.P. Broutin, Ch. Geoffray, G. Kovacsik, J. Laporte, E. Pattee, M. Plissier, L. Rodi, J. Vial, 7 ième édition, Dunod.

DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES UTILISES

PES, 1989 - Cartes de Compilation 1/50 000, Bafoulabé 2a, 2b, 2c, 1b, 1d et 2d

PES, 1990 - Carte de localisation du réseau piézométrique OMVS et des forages d'alimentation en eau potable (P.R.M.)

IGN, 1972 - Bafoulabé, Carte à 1/200,000, République du Mali - feuille ND-29-VIII, Carte topographique

Laboratoire de Géologie Dynamique St-Jérôme Marseille, 1984 - Carte Photogéologique du Mali Occidental au 1/200,000, feuille ND-29-VIII, Bafoulabe, République du Mali, Ministère du Développement Industriel, Direction de la Géologie et des Mines.

REPertoire HYDROGEOLOGIQUE

**CARTE TOPOGRAPHIQUE 1:200,000
27 BAFOULAE**

- Pour chacun des piézomètres:
- * Coupes géologiques et techniques
 - * Coupes géologiques avec les commentaires
 - * Descriptions stratigraphiques, * Guide lexicologique

ANNEXE 1

41-

COMMENTAIRES UTILES

A) GENERAUX

Les représentations graphiques des coupes géologiques et techniques de cette annexe, accompagnées des tableaux explicitant les descriptions hydrogéologiques, sont issues de l'exploitation d'un progiciel GROUNDWATER.

L'identification des fichiers est de type *.WLT et *.WLC.

Le symbole * correspond au numéro du piézomètre concerné et les extensions:

WLT: regroupent toutes les données géologiques relatives au piézomètre concerné,

WLC: regroupent toutes les données techniques relatives au piézomètre concerné.

Le lecteur trouvera ci-après, la liste exhaustive de tous les fichiers traités dans le cadre de cette annexe, correspondant à autant de piézomètres regroupés dans les limites de la carte topographique 1/200,000 concernée.

Tous les piézomètres, traités dans cette annexe, sont localisés sur la carte 1/200,000 accompagnant ce document.

La liste exhaustive des piézomètres relative à cette carte résulte de l'exploitation d'un logiciel utilitaire XTREE.

Volume: 1

Path: C:\GWDATA\27-1E

4 tagged files using 662 bytes

271E	.CHM	128	.a..	9-27-89	4:02	am
MA015	.CHM	128	.a..	9-27-89	4:02	am
MA016	.CHM	128	.a..	9-27-89	4:02	am
MA017	.CHM	128	.a..	9-27-89	4:29	am

Path: C:\GWDATA\27-2E

11 tagged files using 1,406 bytes

MA001	.CHM	128	.a..	9-27-89	5:48	am
MA002	.CHM	128	.a..	9-27-89	5:06	am
MA003	.CHM	128	.a..	9-27-89	5:02	am
MA004	.CHM	128	.a..	9-27-89	4:38	am
MA005	.CHM	128	.a..	9-27-89	4:36	am
MA009	.CHM	128	.a..	9-27-89	10:41	pm
MA010	.CHM	128	.a..	9-27-89	4:56	am
MA011	.CHM	128	.a..	9-27-89	4:59	am
MA012	.CHM	128	.a..	9-27-89	4:51	am
MA013	.CHM	128	.a..	9-27-89	4:44	am
MA014	.CHM	128	.a..	9-27-89	4:41	am

Path: C:\GWDATA\27-2E

3 tagged files using 384 bytes

MA006	.CHM	128	.a..	9-28-89	2:08	am
MA007	.CHM	128	.a..	9-28-89	2:18	am
MA008	.CHM	128	.a..	9-27-89	4:10	am

Path: C:\GWDATA\27-2E

3 tagged files using 384 bytes

MA018	.CHM	128	.a..	9-27-89	2:08	am
MA015	.CHM	128	.a..	9-27-89	2:08	am
MA020	.CHM	128	.a..	9-27-89	2:02	am

Best Available Document

-43-

DISK

Volume: PROJECT 1

Path: C:\NEWDATA\27-2F
6 tagged files using 7,824 bytes

MA010	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:14	am
MA011	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:15	am
MA012	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:16	am
MA013	.WLT	384	.a..	9-27-89	8:16	pm
MA014	.WLT	384	.a..	9-27-89	10:32	am
MA017	.WLT	768	.a..	1-22-90	6:17	am

Path: C:\NEWDATA\27-2D
32 tagged files using 17,792 bytes

MA001	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:14	am
MA002	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:15	am
MA003	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:16	am
MA004	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:17	am
MA005	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:18	am
MA009	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:21	am
MA010	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:22	am
MA011	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:23	am
MA012	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:24	am
MA013	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:25	am
MA014	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:26	am
MA001	.WLT	384	.a..	1-22-90	6:06	am
MA002	.WLT	512	.a..	9-27-89	10:20	am
MA003	.WLT	768	.a..	9-27-89	10:22	am
MA004	.WLT	384	.a..	9-27-89	8:16	pm
MA005	.WLT	768	.a..	9-27-89	10:22	am
MA009	.WLT	384	.a..	1-22-90	6:17	am
MA010	.WLT	384	.a..	9-27-89	10:22	am
MA011	.WLT	512	.a..	9-27-89	10:23	am
MA012	.WLT	384	.a..	9-27-89	10:32	am
MA013	.WLT	384	.a..	3-05-90	3:36	pm
MA014	.WLT	384	.a..	9-27-89	10:32	am

Path: C:\NEWDATA\27-2E
6 tagged files using 4,384 bytes

MA006	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:19	am
MA007	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:20	am
MA008	.WLC	1,152	.a..	9-25-89	4:21	am
MA009	.WLT	384	.a..	9-27-89	10:22	am
MA007	.WLT	512	.a..	9-27-89	10:22	am
MA010	.WLT	384	.a..	9-27-89	10:22	am

Best Available Document

44

Disk Volume: MAGUETTE

6-26-90 11:48:17 am Page 2

Path: C:\MGUETTE\27-88
6 tagged files using 4,934 bytes

MGU15	.WLC	1,111	.000	9-25-88	4:37	am
MGU16	.WLC	1,111	.000	9-25-88	4:38	am
MGU17	.WLC	1,111	.000	9-25-88	4:40	am
MGU18	.WLC	1,111	.000	9-27-88	10:44	am
MGU19	.WLC	1,111	.000	9-27-88	10:45	am
MGU20	.WLC	1,111	.000	9-27-88	10:47	am

BEST AVAILABLE

45

B) OBSERVATIONS SUR LA COLONNE "COMMENTAIRES GEOLOGIQUES"

L'utilisation du progiciel GROUNDWATER impose certaines contraintes de saisie liées à l'impression des différents rapports:

- * la coupe géologique
- * le tableau de synthèse.

L'espace alloué à l'impression des commentaires dans le tableau de synthèse est limité à 22 caractères. Toutefois, cette limite (22 caractères) peut être débordée lors du tracé de la coupe géologique.

Par conséquent, dans la pratique afin d'assurer la lisibilité des tableaux de synthèse et des coupes géologiques, le principe de codification suivant a été adopté:



XXXX 22 caractères XXXX style libre

- ██ SEQ 1: limitée à 4 caractères.
- ████ SEQ 2: limitée à 6 caractères.
- ██████ SEQ 3: limitée à 10 caractères.

DEFINITION DES SEQUENCES + CODES UTILISES

SEQ 1: Formation géologique. Les codes géologiques utilisés sont ceux de la banque GES (voir ci-après).

SEQ 2: Couleur. La définition des couleurs utilisera les deux premières lettres de la couleur concernée.

EX.: un échantillon brun sera codifié: BR;
un échantillon brun gris sera codifié: BR/GR;.

- N.B.:
- 1) La séquence 1 est obligatoire.
 - 2) L'ordre de ces séquences doit être obligatoirement respecté.
 - 3) Si l'information relative à une de ces séquences est manquante, poursuivre avec la séquence suivante.
 - 4) Au-delà de la SEQ 2, les commentaires sont en style libre. Ceux-ci apparaîtront seulement à l'impression de la coupe géologique détaillée.

46

GUIDE LEXICOLOGIQUE

Toutes les représentations graphiques et le tableau caractérisant un piézomètre # ... , regroupés à l'annexe # 1, sont issus du logiciel GROUNDWATER/LITHOCON. D'origine anglophone, il peut être utile de préciser les traductions ci-après. La traduction n'est pas rigoureuse et tient compte de la spécificité des travaux réalisés par le projet.

LITHOLOGY	= DESCRIPTION LITHOSTRATIGRAPHIQUE
WELL CONSTRUCTION DETAILS	= COUPE TECHNIQUE DU PIEZOMETRE
WELL CAP	= COUVERCLE DE PROTECTION
CASING	= TUBE D'ACIER PEINT EN ROUGE
LINER	= TUBE PVC PLEIN
DRILLED HOLE	= TROU DE FORAGE
WELL SCREEN	= CREPINE EN PVC
PLUG	= BOUCHON DE FERMETURE A LA BASE DU PIEZOMETRE
GRAVEL PACK	= GRAVIER FILTRE
STATIC WATER LEVEL	= NIVEAU STATIQUE MESURE PAR RAPPORT AU SOL
SCALE	= ECHELLE
PROJECT	= PROJET
FILE	= FICHIER, CORRESPOND AU # DU PROJET
LOCATION	= LOCALISATION, CORRESPOND AU NOM DE LA CARTE 1/50.000
WELL NO	= NO DU PIEZOMETRE
DRILLER	= FOREUR, CORRESPONDANT AU NOM DE L'ENTREPRISE RESPONSABLE DES TRAVAUX DE FORAGE
ELEVATION (m)	= ELEVATION EXPRIMEE EN METRES PAR RAPPORT AU ZERO IGN
DATE DRILLED	= DATE D'EXECUTION DU FORAGE
TYPE OF RIG	= TECHNIQUE DE FORAGE
DEPTH	= PROFONDEUR
THICKNESS (m)	= EPAISSEUR EXPRIMEE EN METRES

GROUNDWATER/CODIFICATION DES DESCRIPTIONS STRATIGRAPHIQUES

CODES	DESCRIPTIONS LITHOLOGIQUES	
	ABREGEES ²²	COMPLETES
F1	TR-INDIF.	terrain non consolidé, indifférencié
F2	TR-EBOULIS	terrain non consolidé, éboulis
F3	TR- ALLUV	terrain non consolidé, alluvionnaire
F4	TR-SA/LAT.	terrain non consolidé, sable latért.
F5	CS-SCHISTE	complexe supérieur - schisteux
F6	CS-GRES C	complexe supérieur - Grés C
F7	CS-GRES B	complexe supérieur - Grés B
F8	CS-GREA	complexe supérieur - Grés A
F9	CS-INDIF.	complexe supérieur - indifférencié
F10	CI-ARGILITE	complexe inférieur - Argilite
SHIFT F1	CI-GRES O	complexe inférieur - Grés O
SHIFT F2	CI-GRES 1A	complexe inférieur - Grés-1A
SHIFT F3	CI-PEL 1B	complexe inférieur - Pélite 1B
SHIFT F4	CI-1A/1B	complexe inférieur Grés 1A et/ou pélite 1B
SHIFT F5	CI-GRES 2	complexe inférieur Grés 2
SHIFT F6	CI-SCH. 3	complexe inférieur Schiste 3
SHIFT F7	CI-INDIF.	complexe inférieur indifférencié
SHIFT F8	CI-DOLERITE	complexe inférieur Doléritique
SHIFT F9	CI- ?	Code non utilisée
SHIFT F10	CI- ?	Code non utilisée

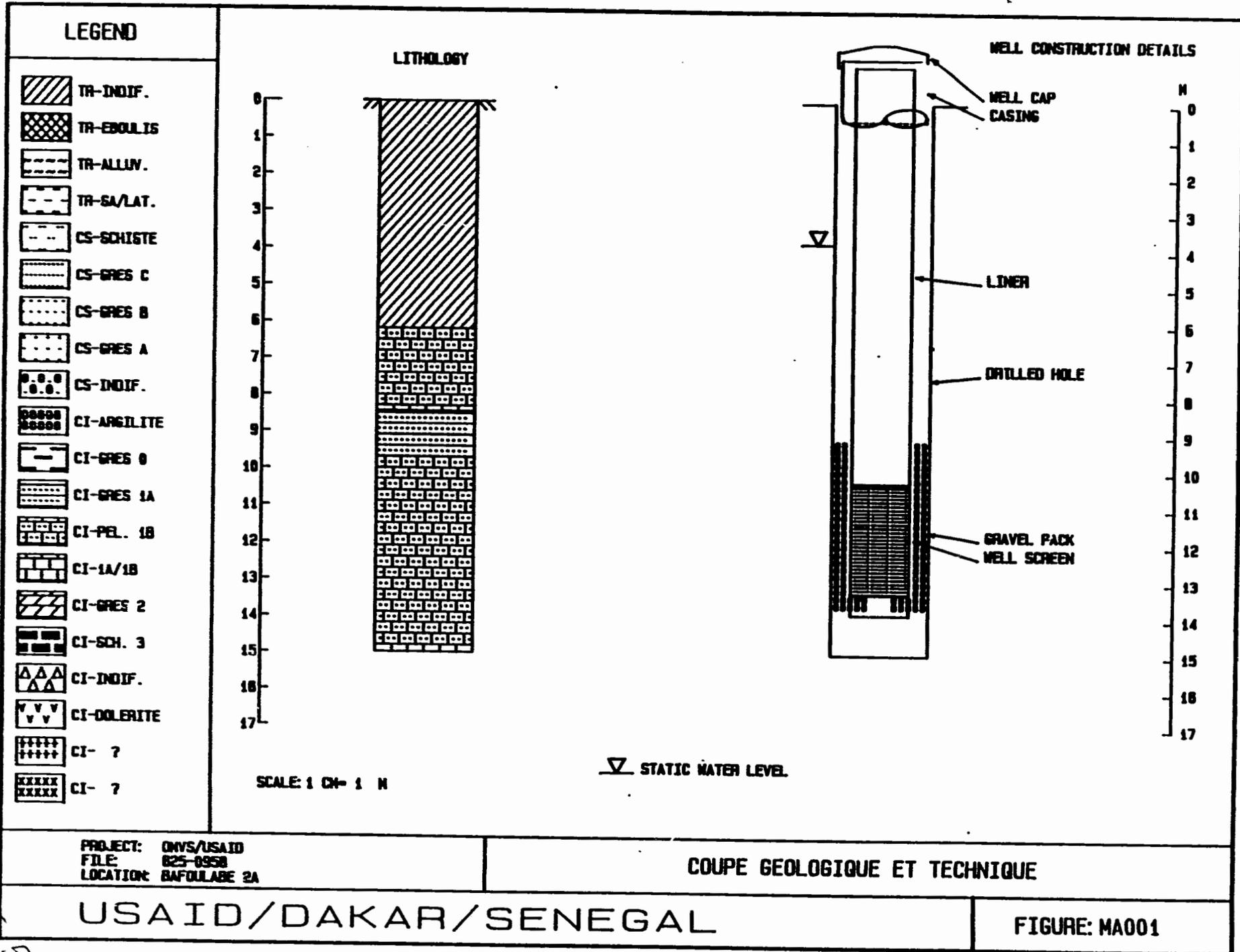
²² La description abrégée est limitée à un maximum de 11 caractères pour des contraintes de représentations graphiques.

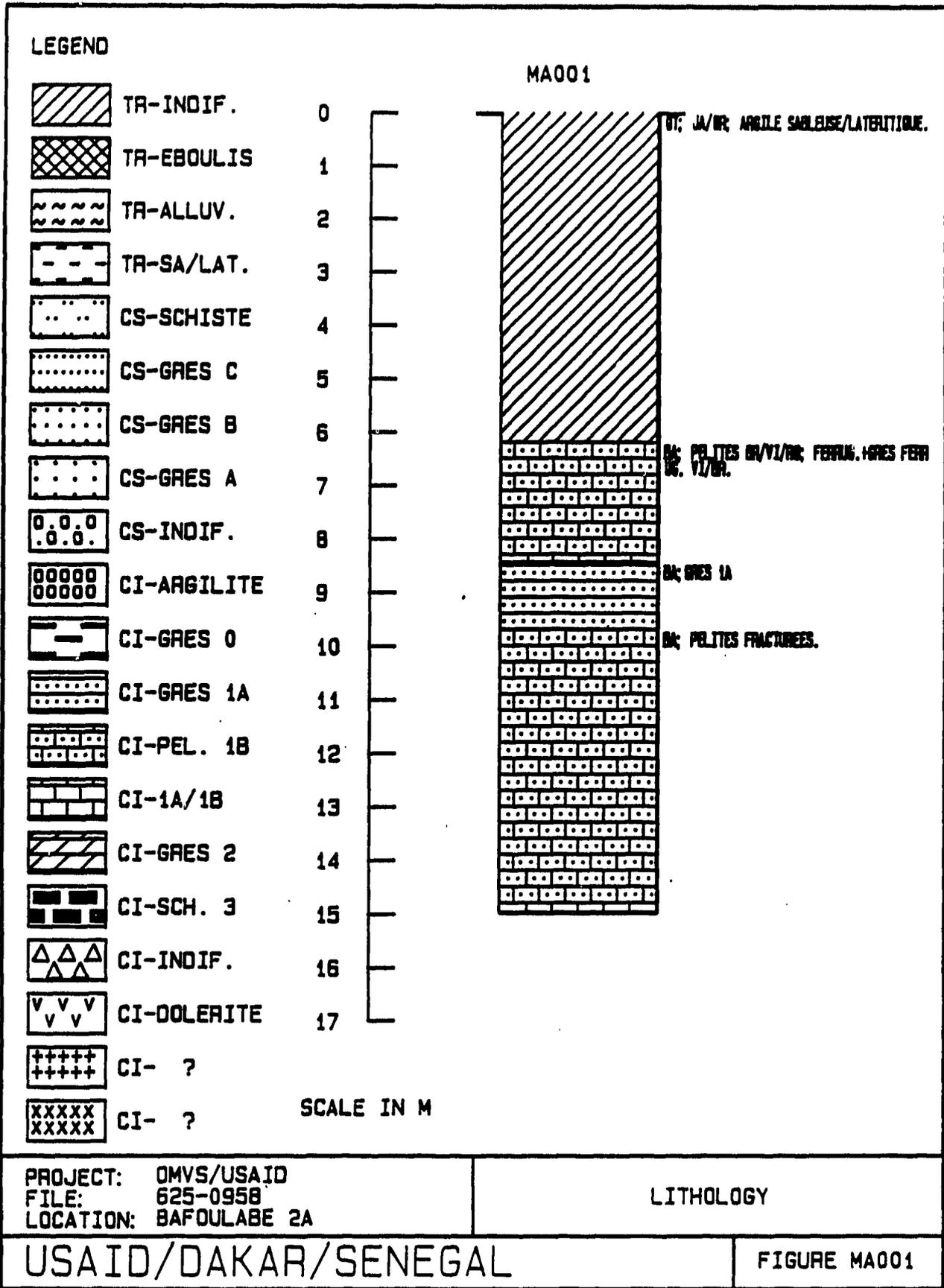
- 48

GROUNDWATER/CODIFICATION GEOLOGIQUE²⁴

CODES	DESCRIPTIONS GEOLOGIQUES
ACT	Quaternaire - Dépôts Actuels ou Subactuels
PNK	Quaternaire - Dépôts Post-Nouakchottiens
NK	Quaternaire - Nouakchottien
IN	Quaternaire - Inchirien
OG	Quaternaire - Ogollen
QAM	Quaternaire - Moyen et Ancien
QT	Quaternaire - Indifférencié
CT	Tertiaire - Continental Terminal
EC	Tertiaire - Eocène à Faciès Continental
EMI	Tertiaire - Eocène Inférieur à Faciès Marin
EMM	Tertiaire - Eocène Moyen à Faciès Marin
EMP	Tertiaire - Eocène à Faciès Marin/Paléocène
EM	Tertiaire - Eocène à Faciès Marin Indifférencié
M	Secondaire - Maestrichtien
CO	Primaire - Cambrien Ordovicien/Série MBout et Bakel
BA	Précambien - Protérozoïque/Groupe du Bakoye.

²⁴ La codification géologique utilisée est rigoureusement celle adoptée par la banque GES





SL

WELL LOG

PROJECT: OMVS/USBAII
 LOCATION: SAFOULABE BA
 WELL NO.: MA001
 DRILLER: DAK

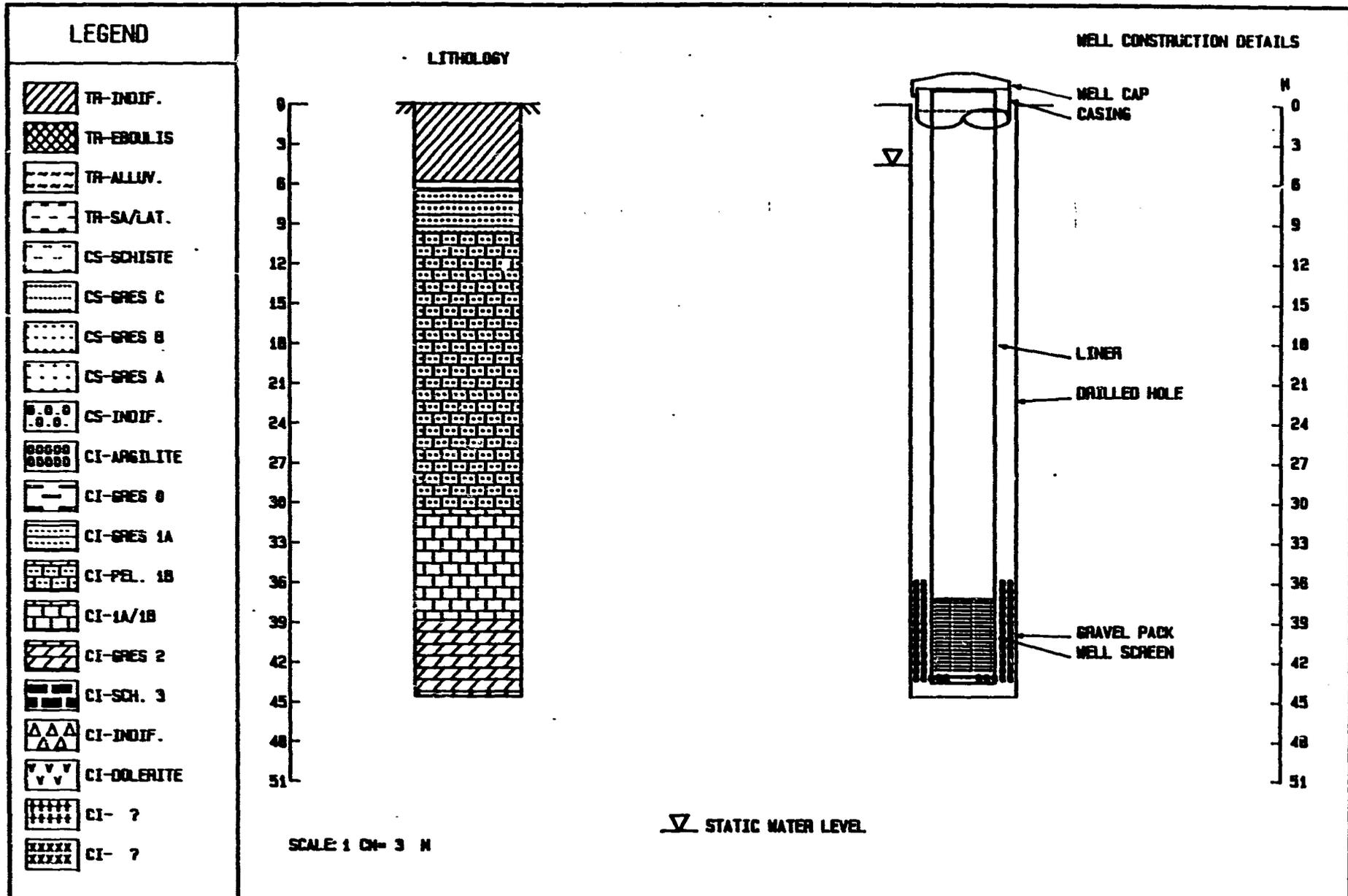
DATE: 10/10/1983
 ELEVATION: 151.45
 DATE COLLECTED: 10/10/83
 TYPE OF LOG: MARKED LOG

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
0.00	6.20	161.15	154.95	6.20	TR-INDIF., QT; JAVOR; AR
6.20	8.45	154.95	152.70	2.25	CI-PEL. 15. BA; PELITES
8.45	9.70	152.70	151.45	1.25	CI-GRES 15. BA; GRES 1A
9.70	15.00	151.45	146.15	5.30	CI-PEL. 15. BA; PELITES

USAID/DAKAR/SENEGAL

BEST AVAILABLE

52

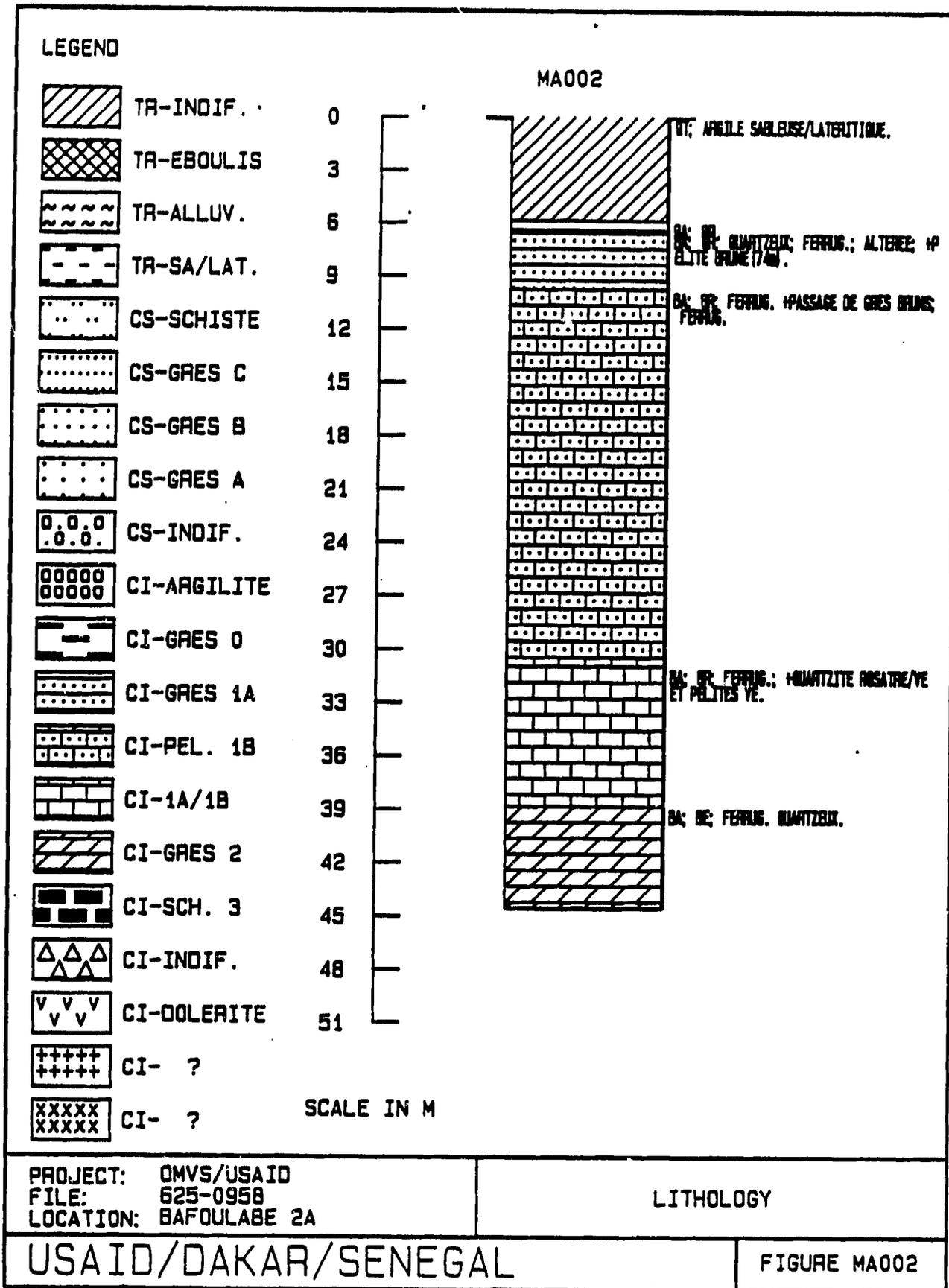


PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 825-0958
 LOCATION: BAFOLABE 2A

COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIG E 2



54'

WELL LOG

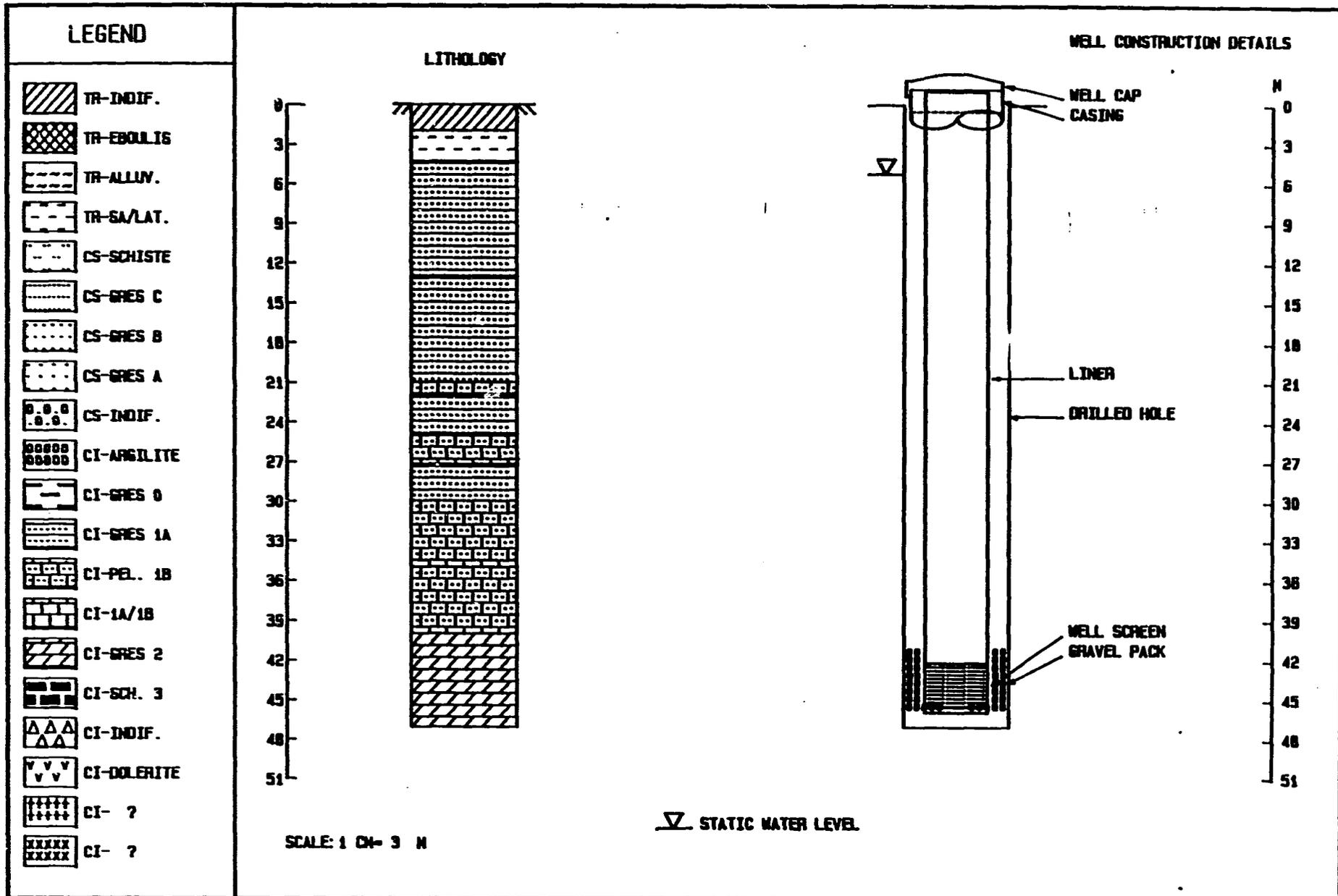
PROJECT: OMVS/USAID
 LOCATION: BAFOLUABE CA
 WELL NO.: 1MA02
 DRILLER: DNHE

FILE NO.: 115-1351
 ELEVATION: 131.13
 DATE DRILLED: 20/04/80
 TYPE OF RIG: MARTEL TYPE B1 7500

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
0.00	5.90	161.14	155.24	5.90	TR-INDIF., QT; ANSILE GA
5.90	6.45	155.24	154.69	0.55	CI-PEL. 1A, BA; BR.
6.45	9.80	154.69	151.34	3.35	CI-GRES 1A, BA; BR; QUAR
9.80	31.00	151.34	130.14	21.20	CI-PEL. 1B, BA; BR; FERR
31.00	38.86	130.14	122.28	7.86	CI-1A/1B, BA, BR; FERR
38.86	44.63	122.28	116.51	5.77	CI-GRES 2, BA; BR; FERR

USAID/DAKAR, SENEGAL

5



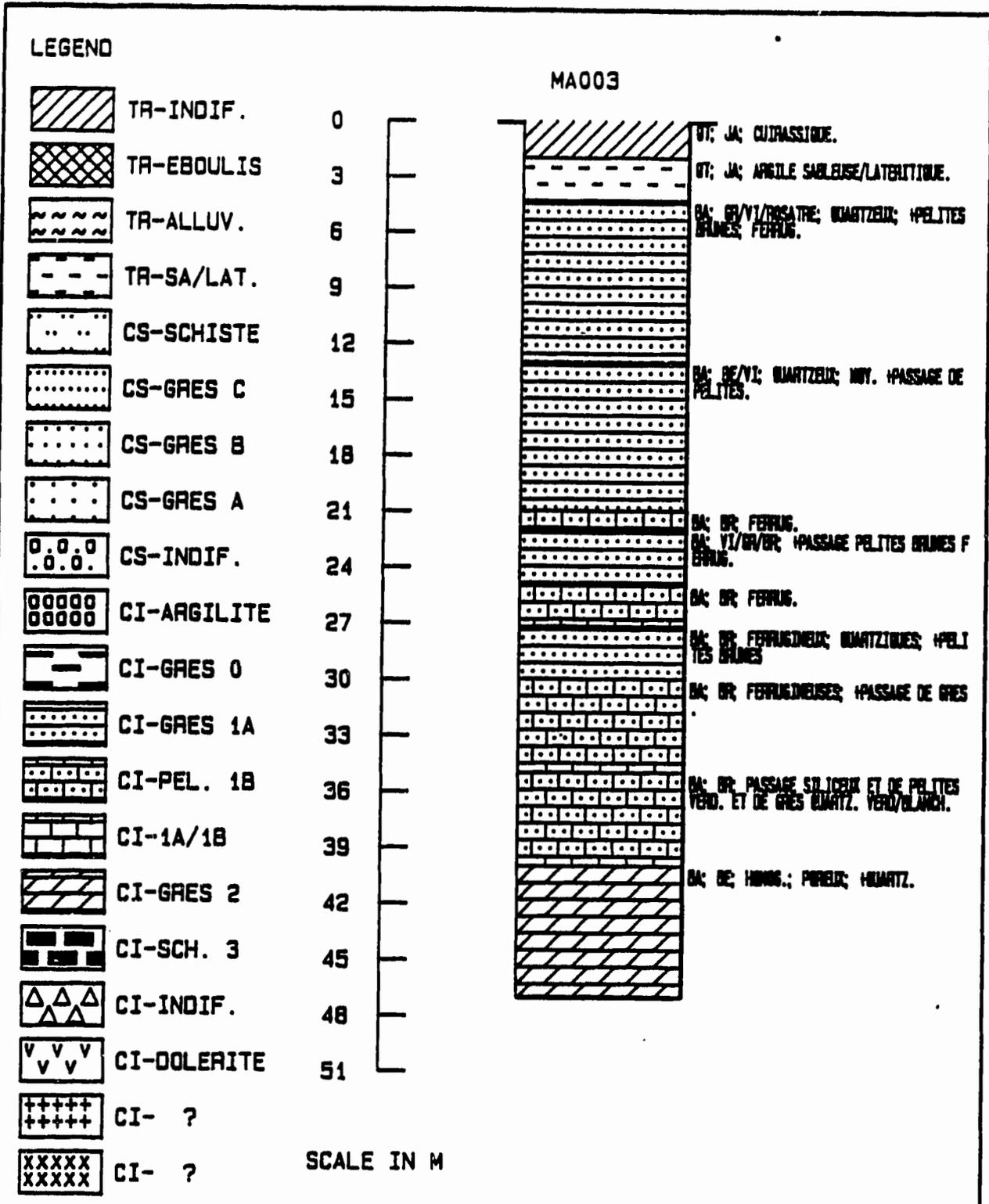
PROJECT: ONVS/USAID
 FILE: 825-0958
 LOCATION: BAFOLABE 2A

COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE

USAID / DAKAR / SENEGAL

FIG E: 13

56.



PROJECT: OMVS/USAID FILE: 625-0958 LOCATION: BAFOULABE 2A	LITHOLOGY
USAID/DAKAR/SENEGAL	FIGURE MA003

51

WELL LITHOLOGY

PROJECT: OMVS/USAID
 LOCATION: BAFOLABE 2A
 WELL NO.: MA003
 DRILLER: DNHE

FILE NO.: 835-0958
 ELEVATION (M): 182.148
 DATE DRILLED: 12/04/82
 TYPE OF RIG:

MARTEAU FOND DU TROU

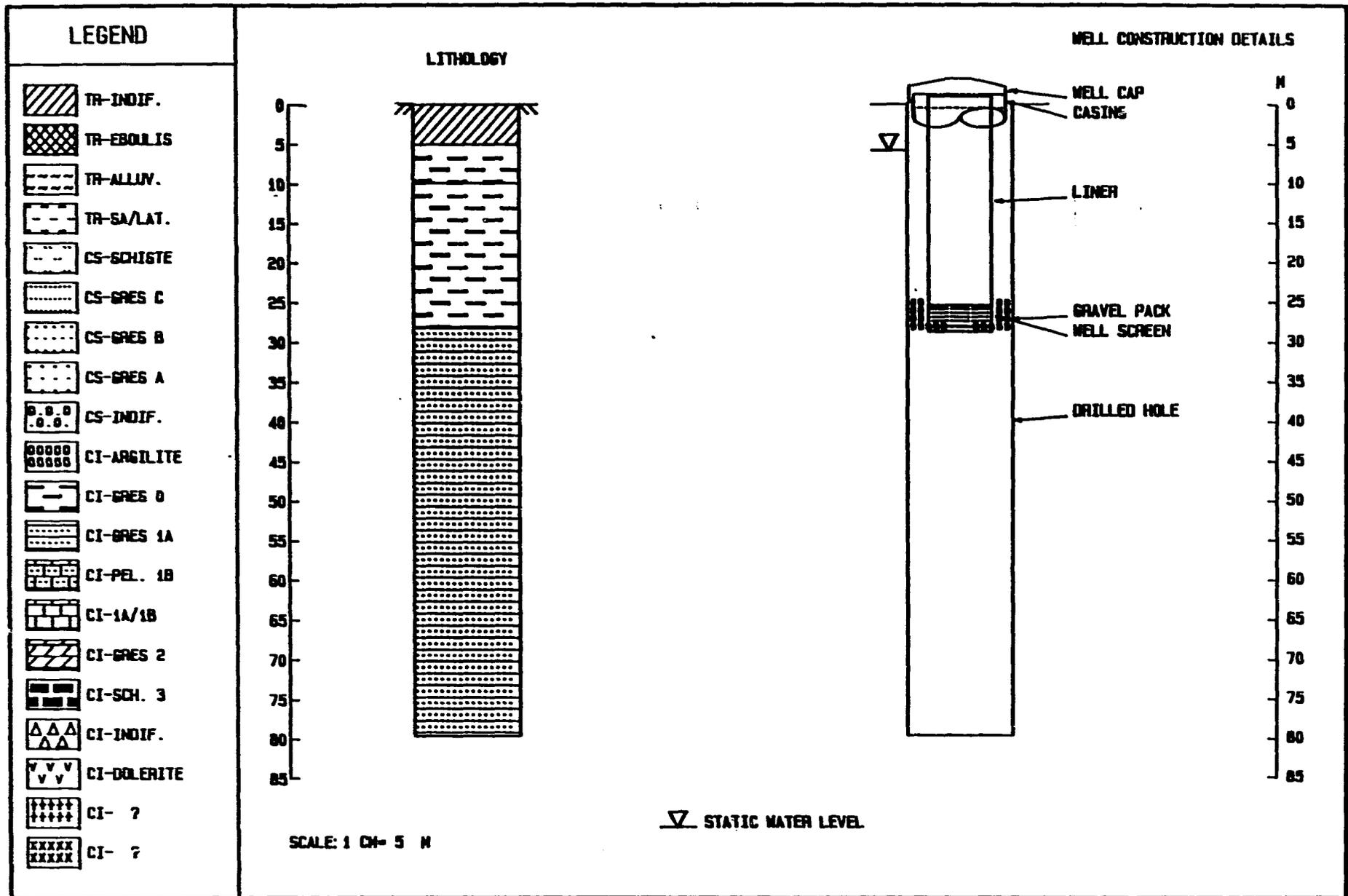
28

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
0.00	2.00	182.15	180.15	2.00	TR-INDIF., BT; JA; CUIRA
2.00	4.30	180.15	157.85	2.30	TR-SA/LAT. G; JA; FOCI
4.30	13.00	157.85	149.15	8.70	CI-GRES 1A, BA; GR/VI/RO
13.00	21.00	149.15	141.15	8.00	CI-GRES 1A, BA; BE/VI; Q
21.00	22.00	141.15	140.15	1.00	CI-PEL. 1B, BA; BR; FERR
22.00	25.00	140.15	137.15	3.00	CI-GRES 1A, BA; VI; GR/BR
25.00	27.20	137.15	134.95	2.20	CI-PEL. 1B, BA; BR; FERR
27.20	30.00	134.95	132.15	2.80	CI-GRES 1A, BA; BR; FERR
30.00	35.00	132.15	127.15	5.00	CI-PEL. 1B, BA; BR; FERR
35.00	40.00	127.15	122.15	5.00	CI-PEL. 1B, BA; BR; FERR
40.00	47.05	122.15	113.10	7.05	CI-GRES 2, BA; BR; FERR

29

USAID/DAKAR/SENEGAL

58

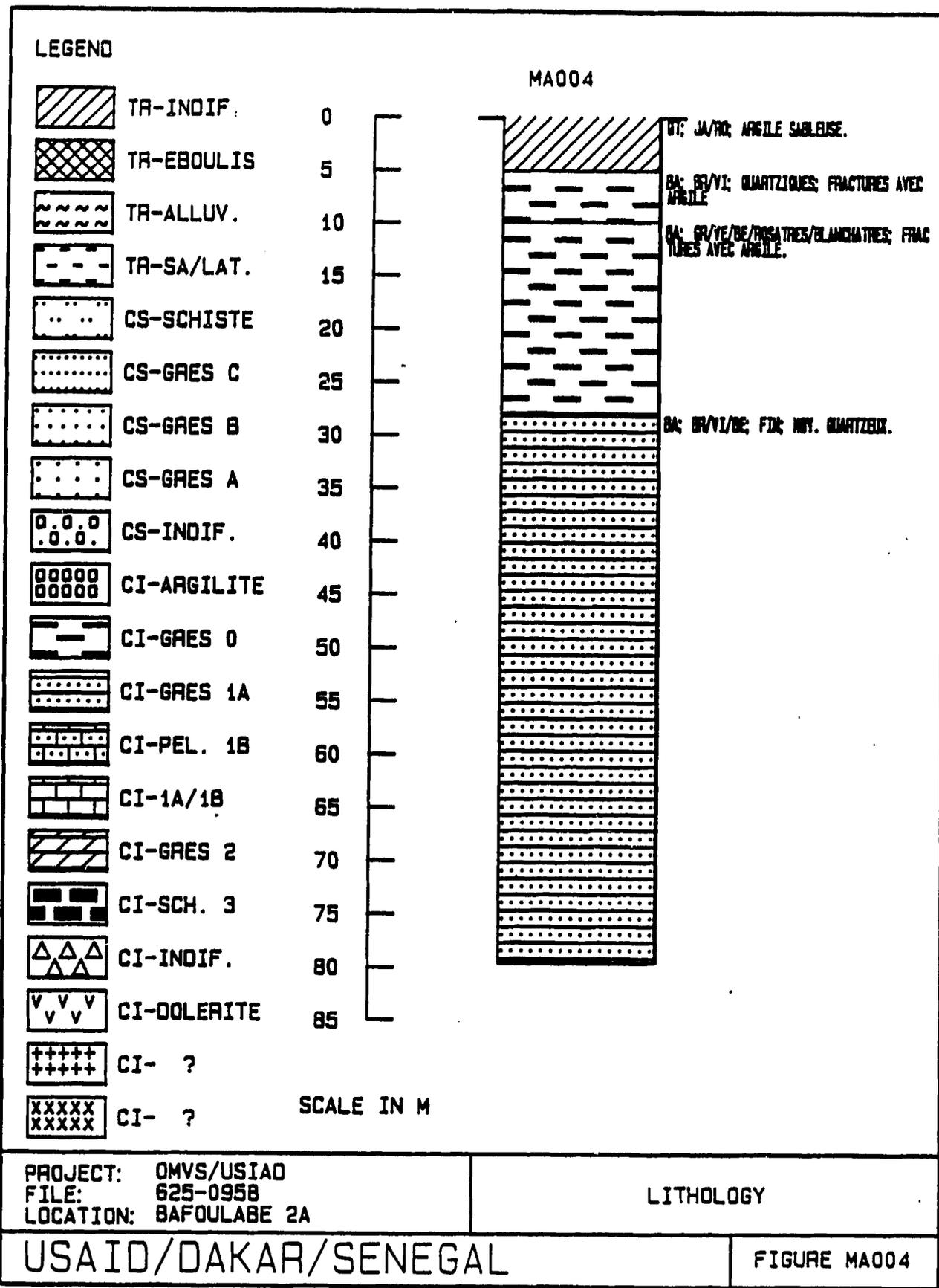


PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 825-0958
 LOCATION: BAFOLABE 2A

COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE

USAID / DAKAR / SENEGAL

FIG E: MA004



WELL LITHOLOGY

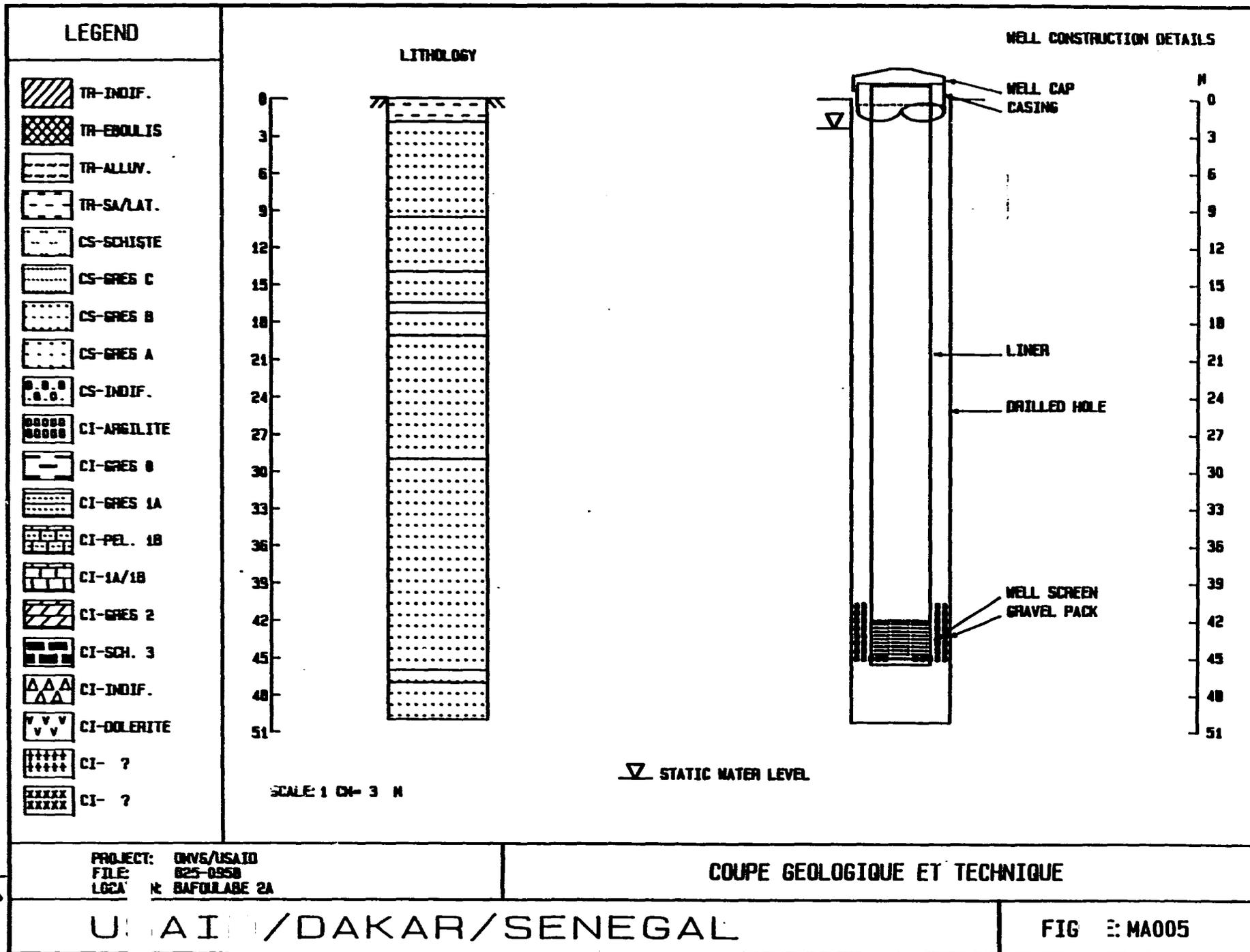
PROJECT: DMVB/USA.2
 LOCATION: SAFOULABE 2A
 WELL NO.: MA004
 DRILLER: DNRE

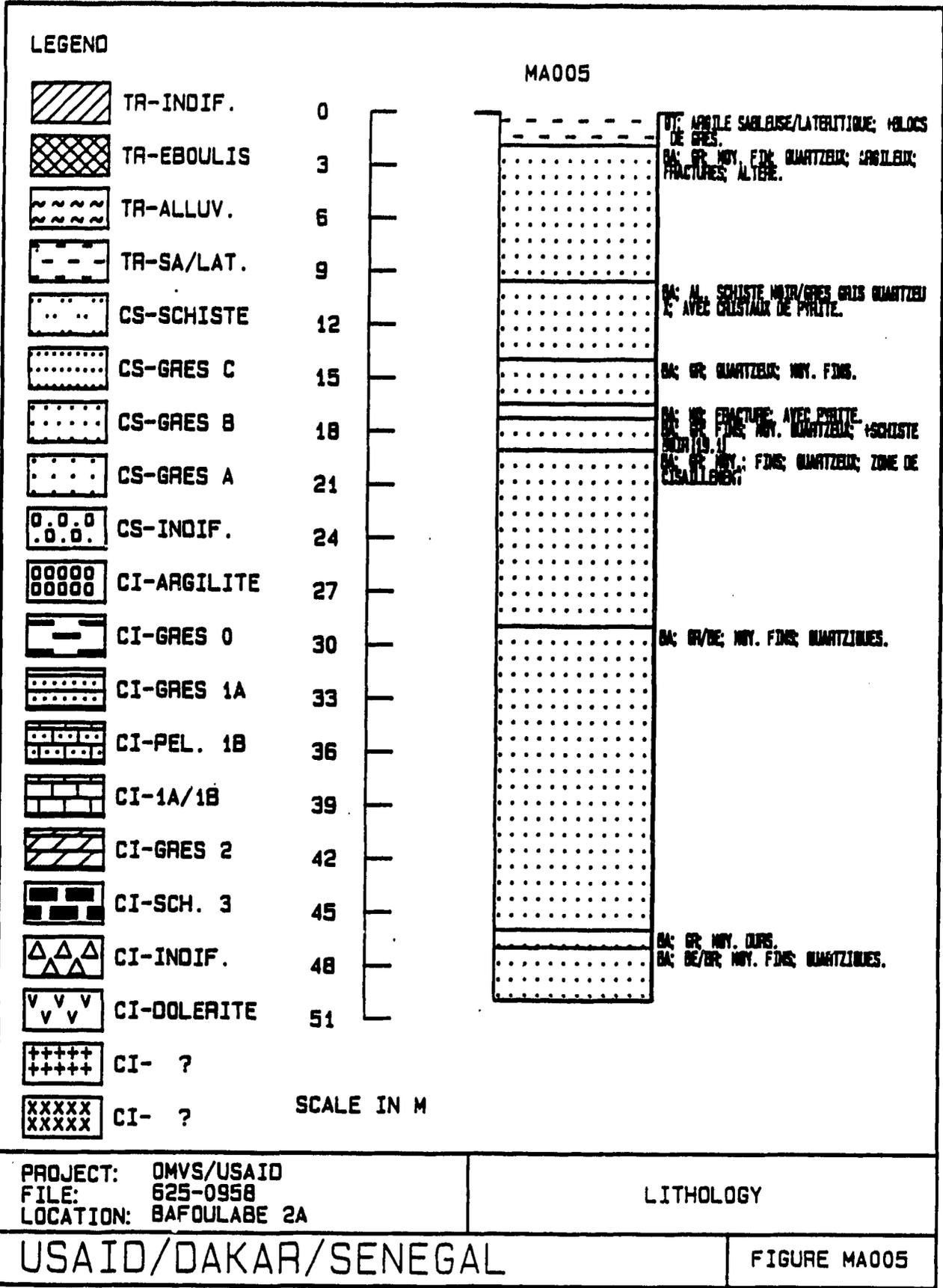
FILE NO.: 1331-0383
 ELEVATION (M): 130.10
 DATE DRILLED: 25/04/08
 TYPE OF RIG: MARTEAU FORNE DE TROU

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
0.00	5.15	160.19	155.04	5.15	TR-INDIF., QT, CARB: RR
5.15	10.00	155.04	150.19	4.85	CI-GRES 0, SA; BR-VI; CC
10.00	28.00	150.19	132.19	18.00	CI-GRES 0, SA; BR-VI; CC
28.00	79.38	132.19	80.51	51.38	CI-GRES 0, SA; BR-VI; CC

USAID/DAKAR/SENEGAL

61





67

WELL LOG

PROJECT: OMVS/USAID
 LOCATION: BAFOLABE BA
 WELL NO.: MA025
 DRILLER: DNHE

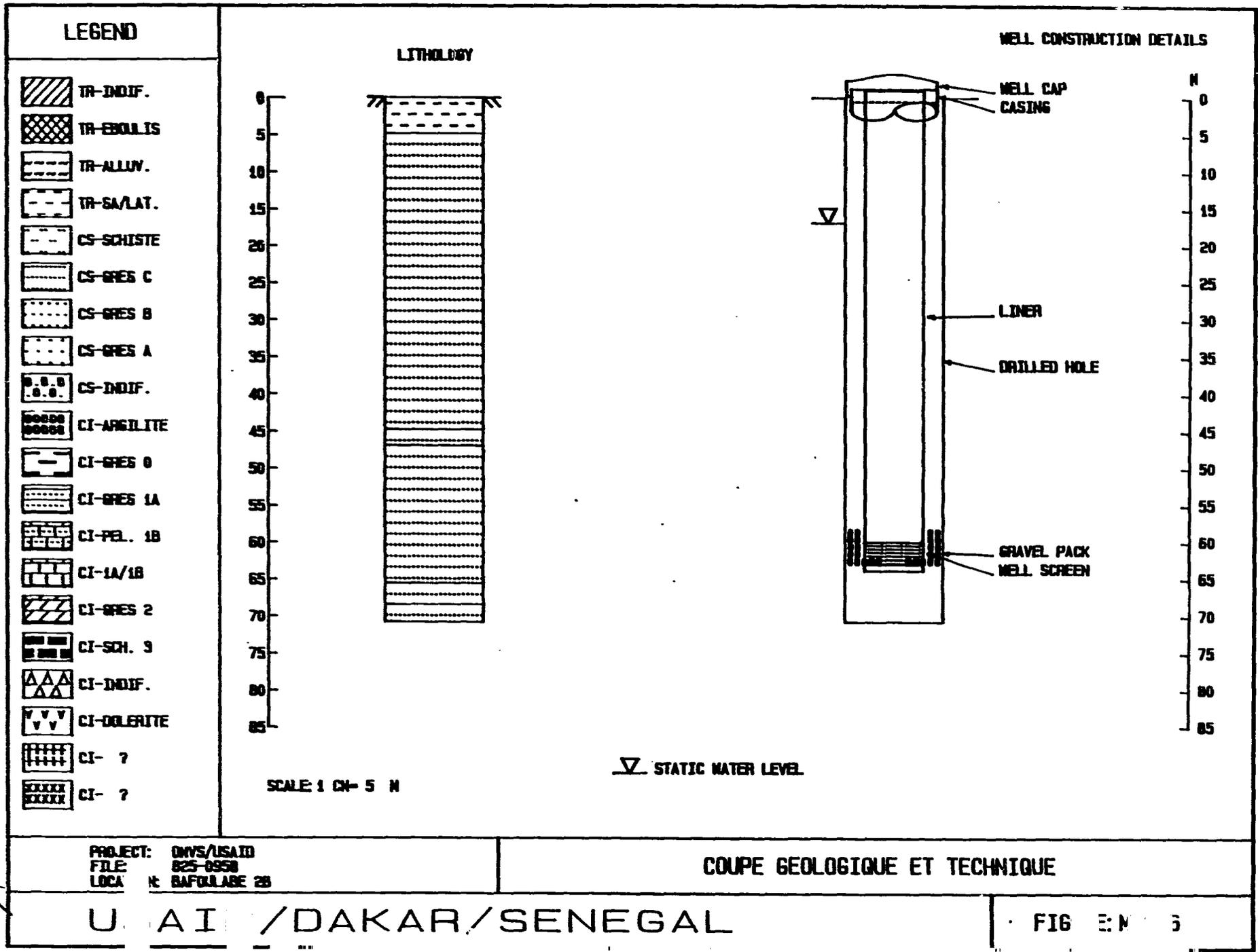
FILE NO.: 1925-1928
 ELEVATION (M): 288.608
 DATE DRILLED: 04/06/68
 TYPE OF RIG: MARTEAU FOND DE TROU

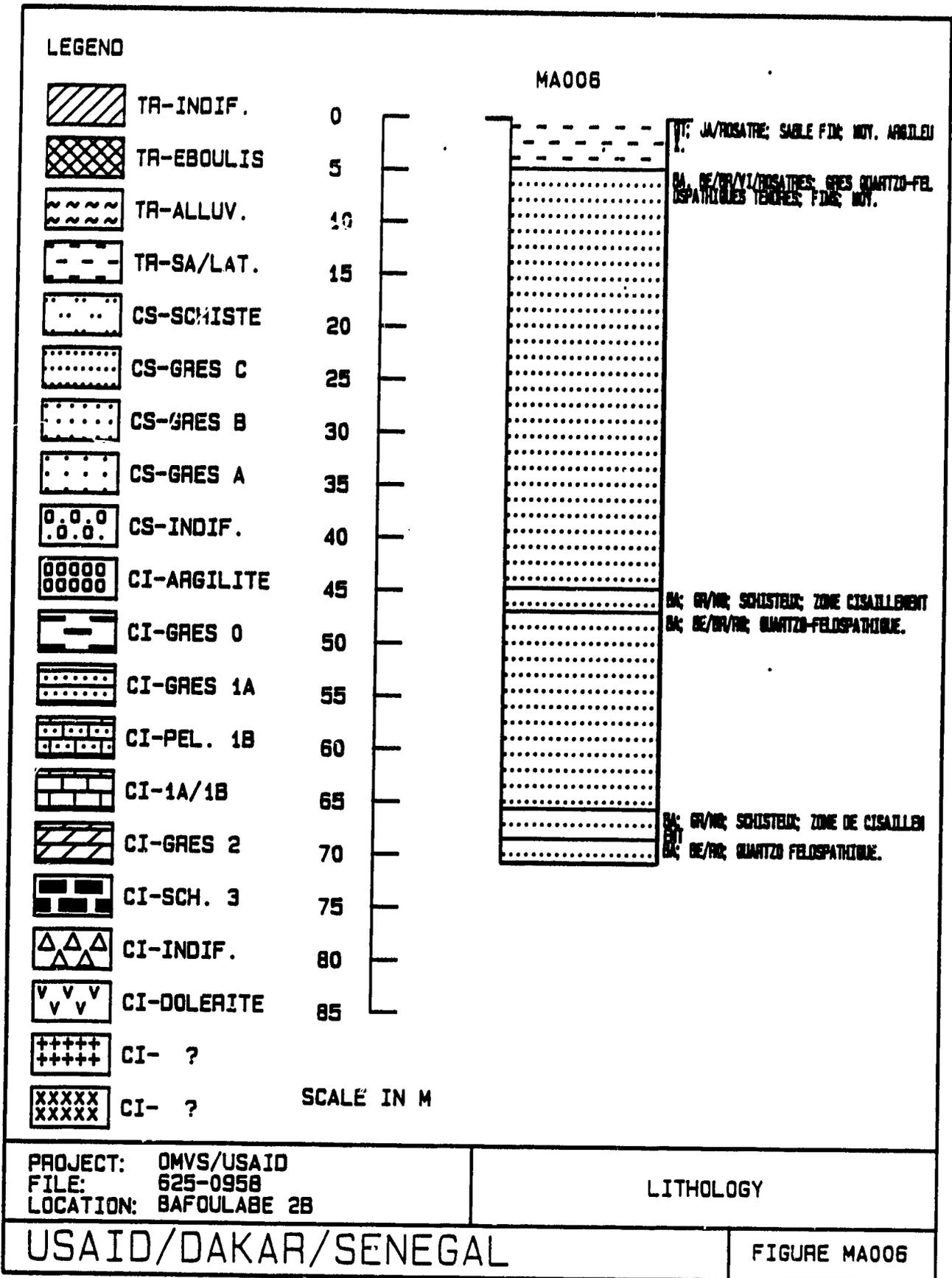
DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
0.00	1.90	288.61	286.71	1.90	TR-SA/LAT., CT; ARGILE S
1.90	9.60	286.71	279.01	7.70	CS-GRES S, SA; GR, MOY.
9.60	14.00	279.01	274.61	4.40	CS-GRES S, SA; AL. SCHIS
14.00	16.50	274.61	272.11	2.50	CS-GRES S, SA; GR; QUART
16.50	17.30	272.11	271.31	0.80	CS-SCHISTE, SA; NO; BRAC
17.30	19.10	271.31	269.61	1.80	CS-GRES S, SA; GR; FIAB.
19.10	29.00	269.61	259.61	9.90	CS-GRES S, SA; GR, MOY.
29.00	46.00	259.61	242.61	17.00	CS-GRES S, SA; GR, SE; MC
46.00	47.00	242.61	241.61	1.00	CS-GRES S, SA; GR; MOY.
47.00	50.00	241.61	238.61	3.00	CS-GRES S, SA; SANDR; MO

USAID/DAKAR/SENEGAL

Best Available Document

64





66

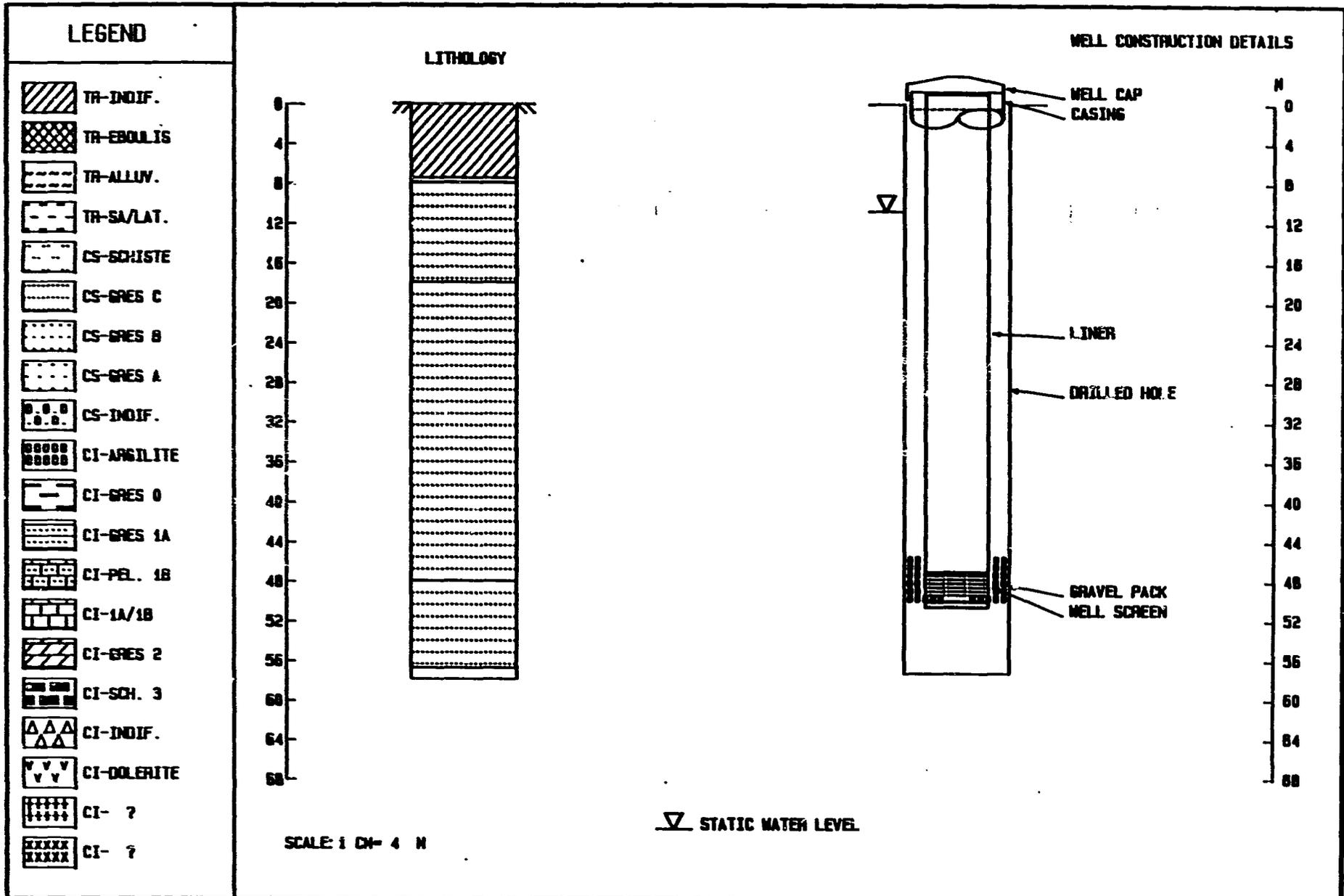
WELL LITHOLOGY

PROJECT:OMVS/USAID
 LOCATION:BAFOULABE 25
 WELL NO.:MA006
 DRILLER:DNHE

FILE NO.:985-0923
 ELEVATION (M): 228.343
 DATE DRILLED:21/06/85
 TYPE OF RIG:MARTEAU PONS DE TROL

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
0.00	4.90	220.65	223.75	4.90	TR-SAL/LAT., QT; JAROSAT
4.90	44.80	223.75	183.85	39.90	CC-GRES C, SA; SE/SR/VI/
44.80	47.00	183.85	181.65	2.20	CS-GRES C, SA; GR/NO; SO
47.00	55.35	181.65	163.00	18.35	CS-GRES C, SA; SE/SR, RC;
55.35	58.48	163.00	160.16	3.13	CS-GRES C, SA; GR/NO; SO
58.48	70.83	160.16	157.32	12.35	CC-GRES C, SA; SE, RC; SL

USAID/DAKAR/SENEGAL



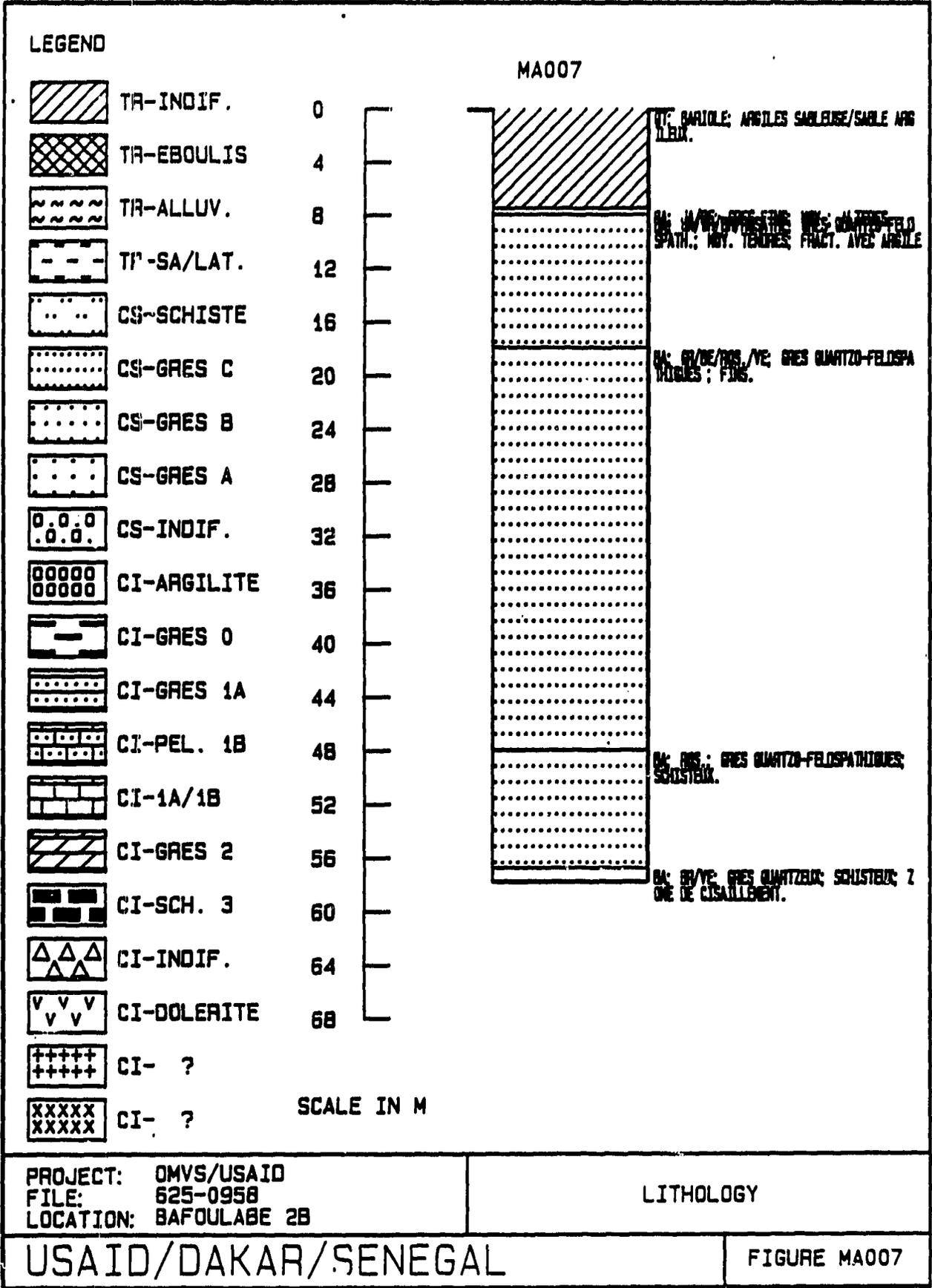
PROJECT: ONVS/USAID
 FILE: 825-8558
 LOCAL: BAFOULABE 28

COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE

UNAI / DAKAR / SENEGAL

FIG 3 7

89-



64

WELL LOG

EXPLORATION: S. 1001
 LOCATION: BAFOLLEBE 23
 WELL NO.: XA107
 DRILLER: KMC

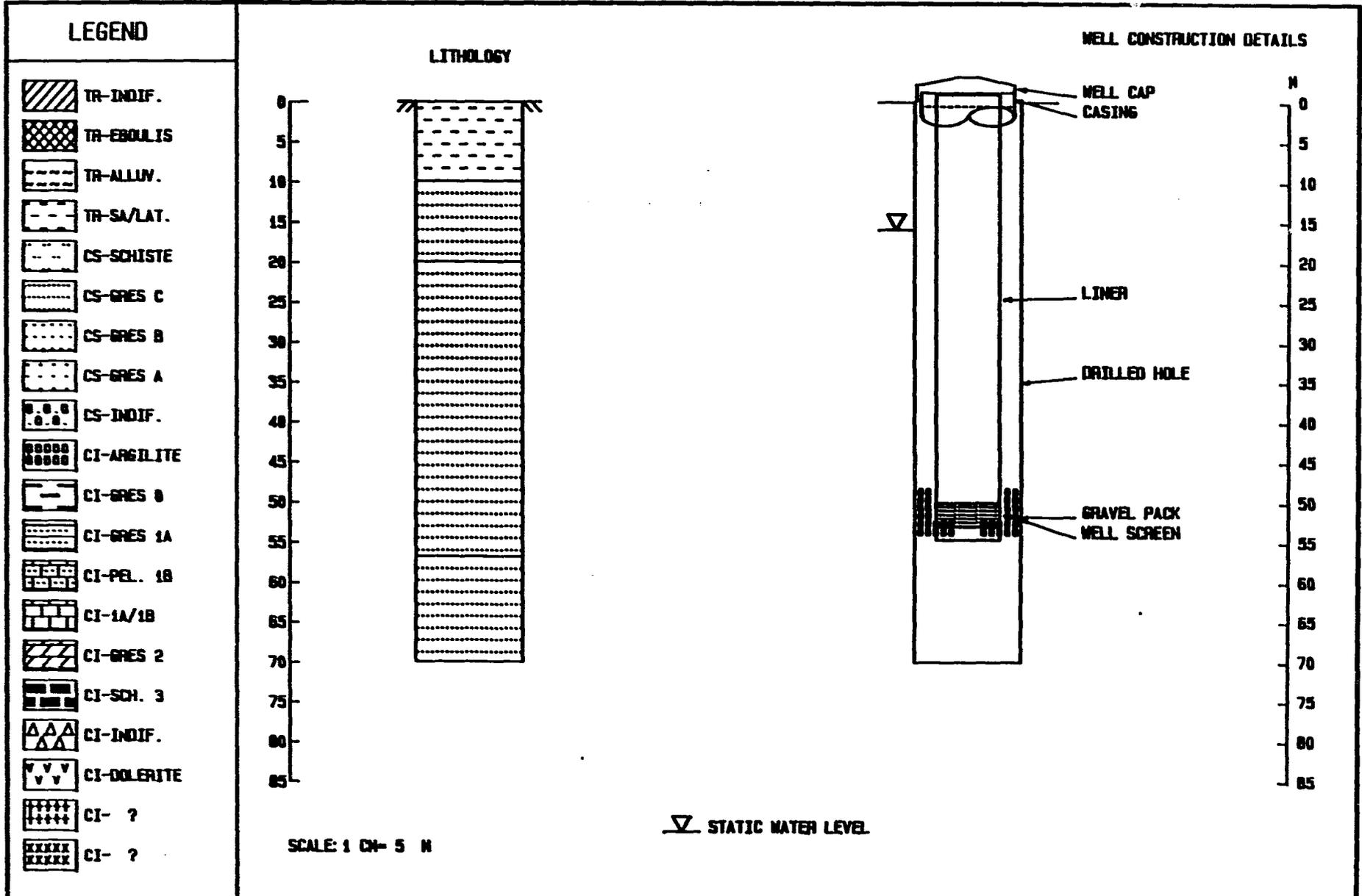
FILE NO.: 1182
 ELEVATION: 247.818
 DATE COMPLETED: 1978
 TYPE OF RIG: MANTON FORD DL TROL

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
1.00	7.52	254.53	247.07	7.52	TR-INDIF., QT; BARIOLE;
7.52	8.00	247.07	246.59	0.48	CS-GRES C, BA; JA/BE; GR
8.00	10.00	246.59	236.59	10.00	CS-GRES C, BA; JA/GR/BR/
10.00	42.00	236.59	206.59	30.00	CS-GRES C, BA; CA/BE/MS
42.00	56.80	206.59	197.79	8.80	CS-GRES C, BA; ROS.; GR
56.80	57.86	197.79	196.71	1.08	CS-GRES C, BA; BR/VE; GR

USAII/DAKAR/SENEGAL

Best Available Document

30



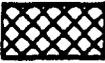
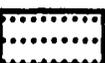
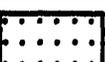
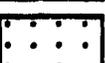
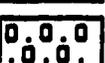
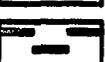
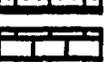
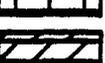
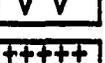
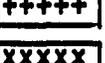
PROJECT: ONVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCAL: BAFOULABE 28

COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE

UNAI/DAKAR/SENEGAL

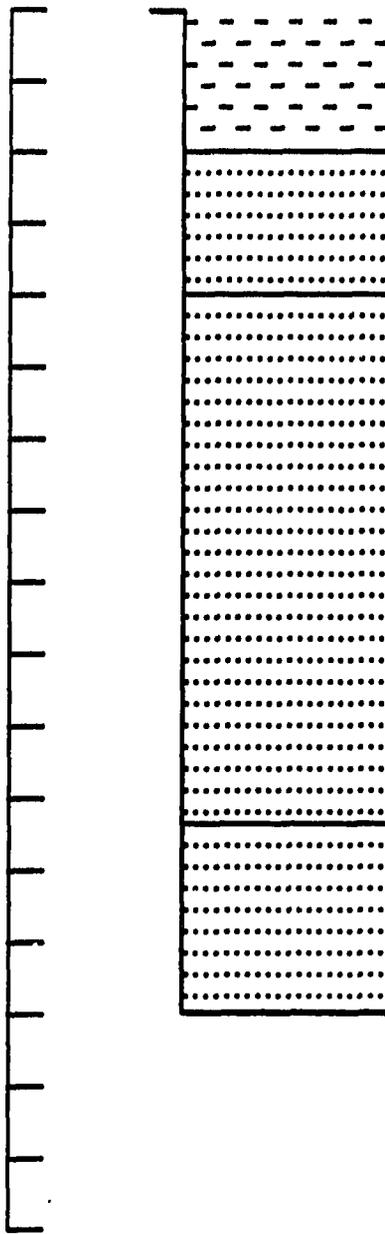
FIGURE MA

LEGEND

-  TR-INDIF. 0
-  TR-EBOULIS 5
-  TR-ALLUV. 10
-  TR-SA/LAT. 15
-  CS-SCHISTE 20
-  CS-GRES C 25
-  CS-GRES B 30
-  CS-GRES A 35
-  CS-INDIF. 40
-  CI-ARGILITE 45
-  CI-GRES 0 50
-  CI-GRES 1A 55
-  CI-PEL. 1B 60
-  CI-1A/1B 65
-  CI-GRES 2 70
-  CI-SCH. 3 75
-  CI-INDIF. 80
-  CI-DOLERITE 85
-  CI- ?
-  CI- ?

SCALE IN M

MA008



TR: BARIQUE; ARGILE SABLEUSE; HENAVILLONS DE LAT.

CS: DE/DE: GRES QUARTZ-FELSPATHIQUES; FINE; MOY. FRACTURES; ALTERES.

CS: GRES / GR / VE / DE: GRES QUARTZ-FELSPATHIQUES; MOYENS.

CI: GR / VI: GRES SCHISTEUX / SCHISTE GRESSE DE VITULAGES / VERDANTE.

PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: BAFOULABE 2B

LITHOLOGY

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE MA008

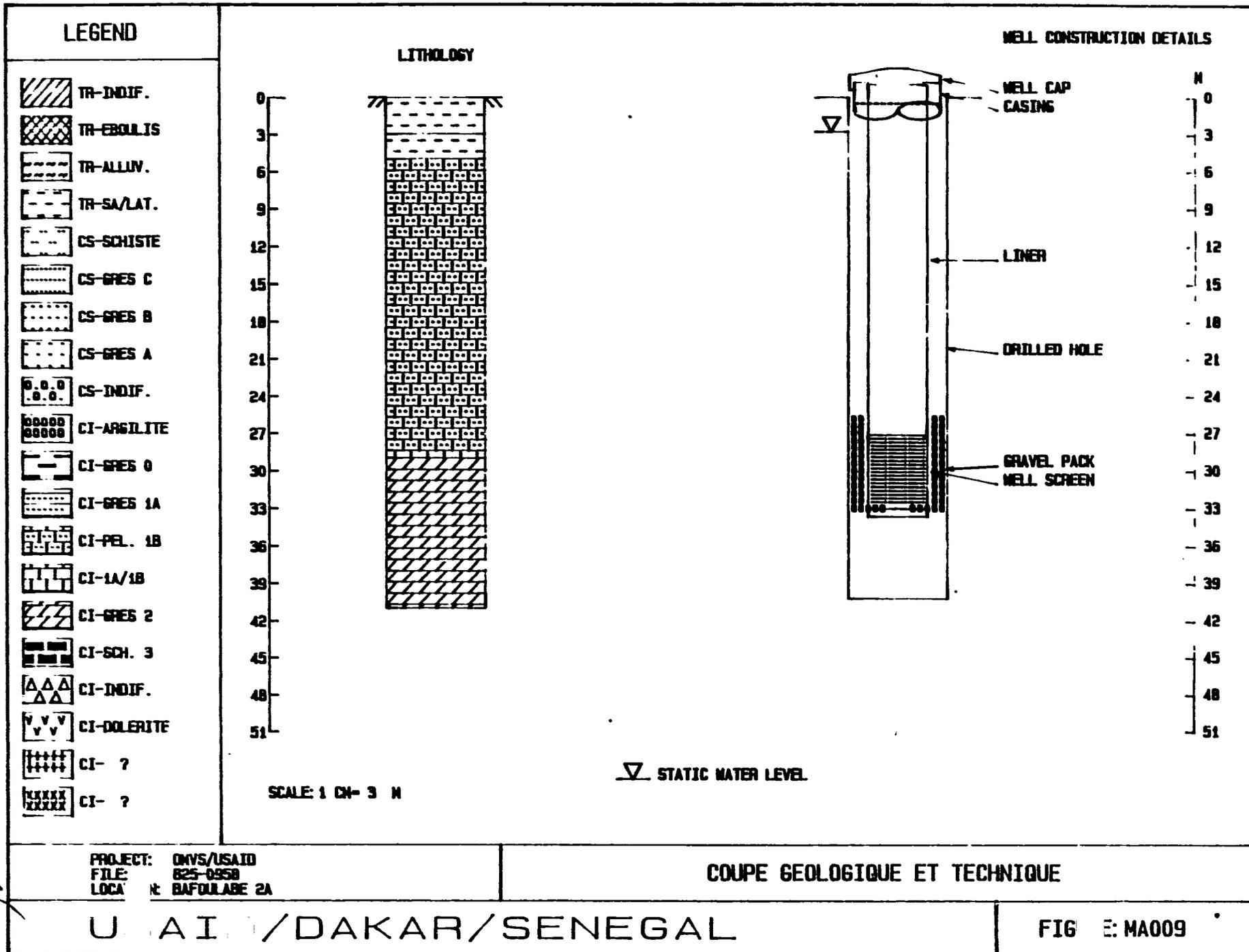
12

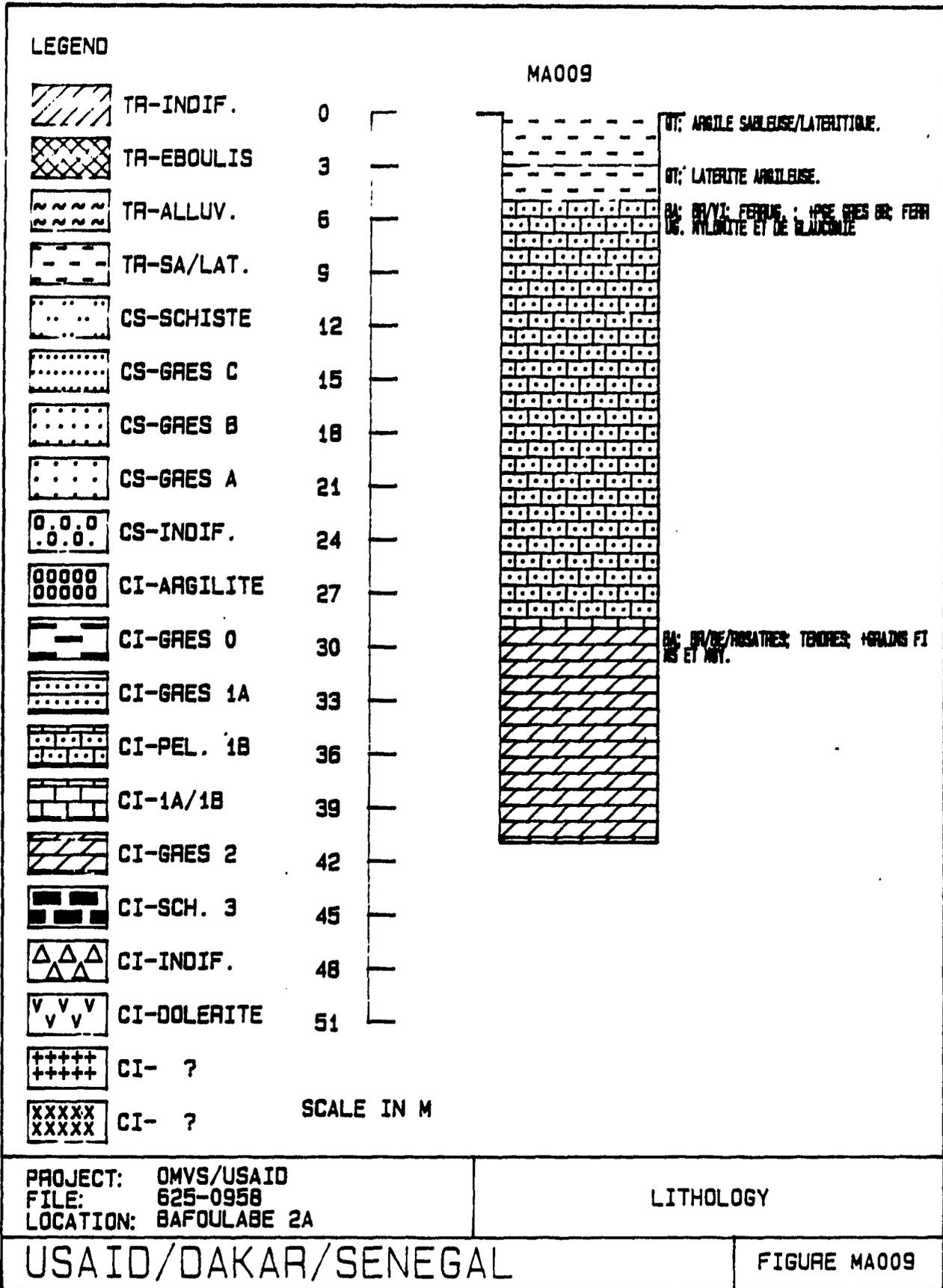
PROJECT: EX. 3
 LOCATION: SARTOULAI
 WELL NO.: MAC06
 DRILLER: DAME

WELL NO.: 1820-351
 ELEVATION: 248.66
 DATE COMPLETED: 08/08/88
 TYPE OF BATTERY: 1000 21 111

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
0.00	10.00	259.66	248.66	10.00	TR-SA/LAT., QT; BAROLIE
10.00	20.00	240.66	238.66	10.00	CS-GRES C, BA; ZENER; GR
20.00	56.90	238.56	201.66	36.90	CS-GRES C, BA; ROE./GR/V
56.90	70.00	201.66	188.66	13.34	CS-GRES C, BA; SAND; GR

USAID/DAKAR/GENERAL





75

WELL LITHOLOGY

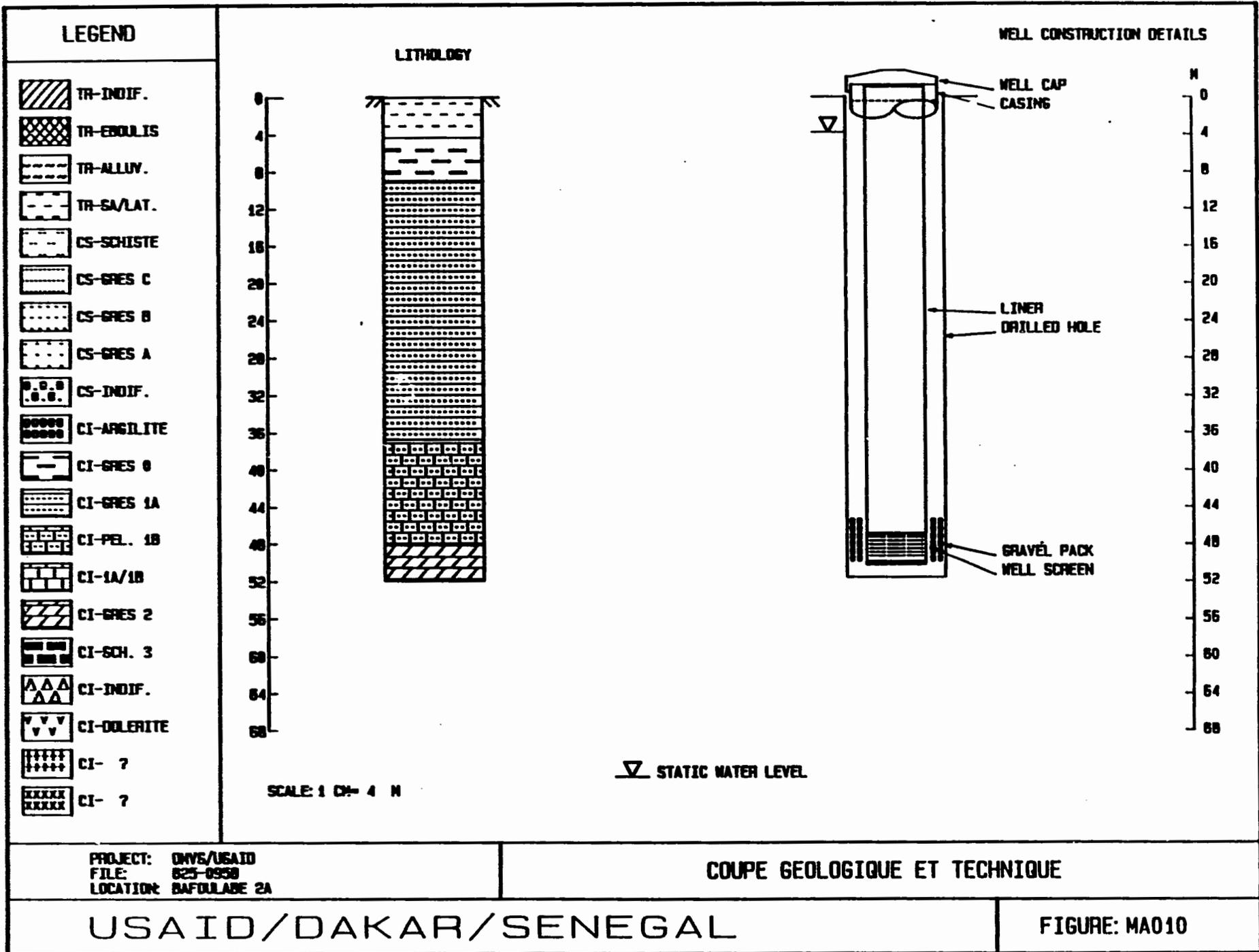
PROJECT: ONVO/UDAIS
 LOCATION: BAROULABI BP
 WELL NO.: M0009
 CALLED: ONHE

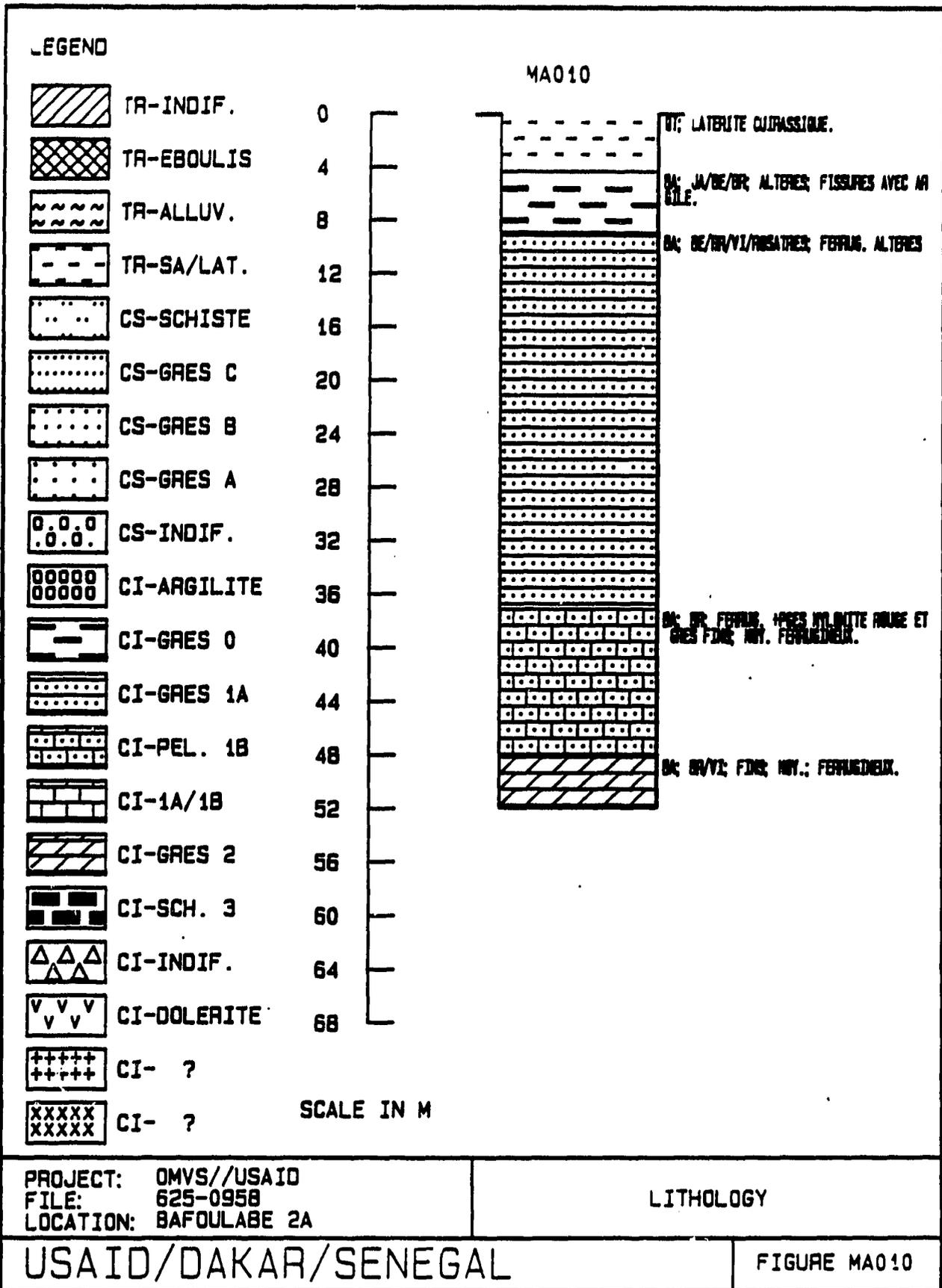
WELL NO.: 1225-1120
 ELEVATION (M): 155.15
 DATE DRILLED: 10/10/91
 TYPE OF RES: MARTEL FOND DU TROU

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
3.00	3.00	161.15	158.15	3.00	TR-GA/LAT., CT; ARGILE C
3.00	5.00	158.15	156.15	2.00	TR-GA/LAT., CT; LATERITE
5.00	29.00	156.15	132.15	24.00	CI-PEL. 12, GA; BR/10; P
29.00	41.00	132.15	120.15	12.00	CI-PRES 2, 10; BR/20, RDS

USAI/DAXAR/SENEGAL

76





PROJECT: OMVS//USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: BAFOULABE 2A

LITHOLOGY

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE MA010

78

WELL LITHOLOGY

PROJECT: USAID
 LOCATION: DAKAR/SENEGAL
 WELL NO.: MAB10
 DRILLER: UNHE

WELL NO.: 625-10200
 ELEVATION: 157.63
 DATE DRILLED: 05/10/81
 TYPE OF RIG: PORTABLE PUMP DRILL

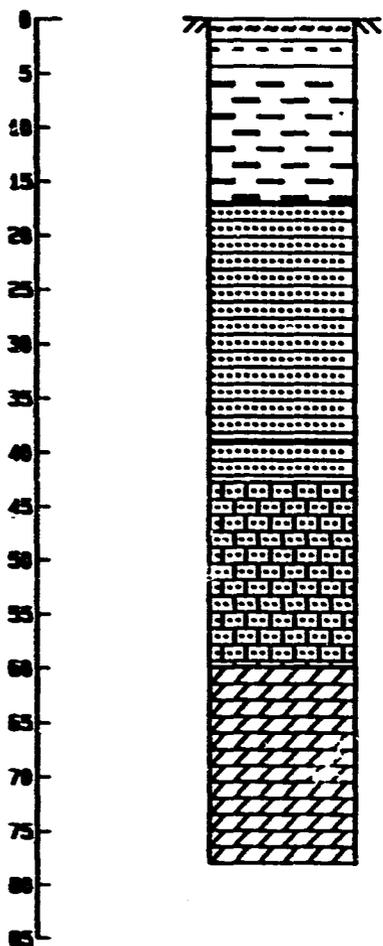
DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
0.00	4.40	162.03	157.63	4.40	TR-SA/LAT. CT: LATERITE
4.40	9.00	157.63	153.03	4.60	CI-GRES S, SA; G/SS/BR;
9.00	37.20	153.03	124.83	28.20	CI-GRES SA, SA, S/SP/SL
37.20	48.20	124.83	113.83	11.00	CI-SEL. S, SP, SA; FSP
48.20	52.00	113.83	110.03	3.80	CI-GRES L, SA; BR/SL; FI

USAID/DAKAR/SENEGAL

LEGEND

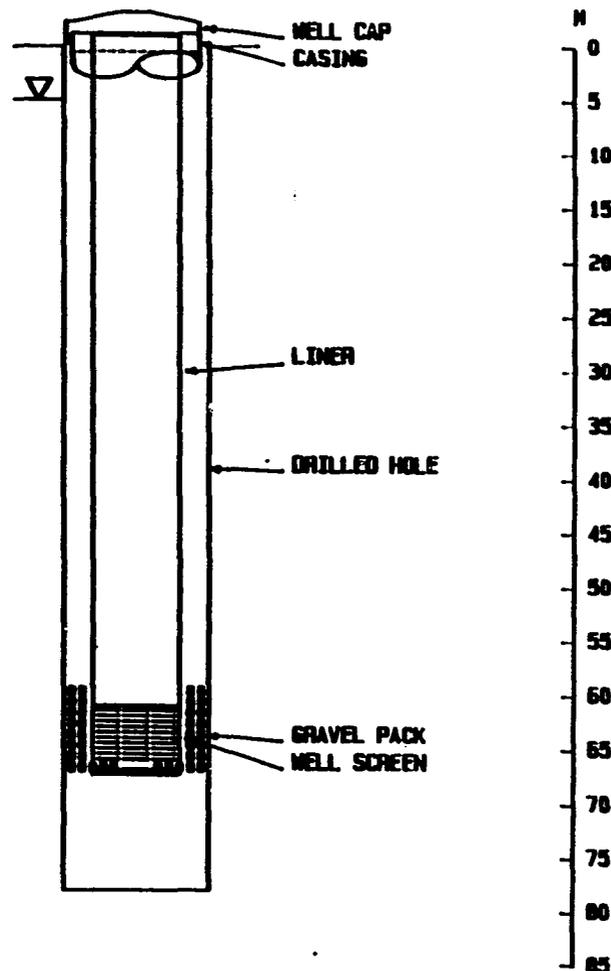
-  TR-INDIF.
-  TR-EBULLIS
-  TR-ALLUV.
-  TR-SALAT.
-  CS-SCHISTE
-  CS-GRES C
-  CS-GRES B
-  CS-GRES A
-  CS-INDIF.
-  CI-ARGILITE
-  CI-GRES 0
-  CI-GRES 1A
-  CI-PEL. 1B
-  CI-1A/1B
-  CI-GRES 2
-  CI-SCH. 3
-  CI-INDIF.
-  CI-DOLERITE
-  CI- ?
-  CI- ?

LITHOLOGY



SCALE: 1 CM = 5 M

WELL CONSTRUCTION DETAILS



∇ STATIC WATER LEVEL

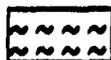
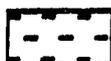
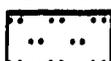
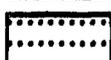
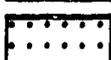
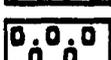
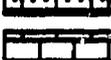
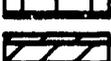
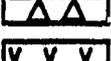
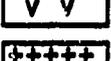
PROJECT: DMV/USAID
 FILE: 825-0358
 LOCATION: BAFOLABE 2A

COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE

USAI / DAKAR / SENEGAL

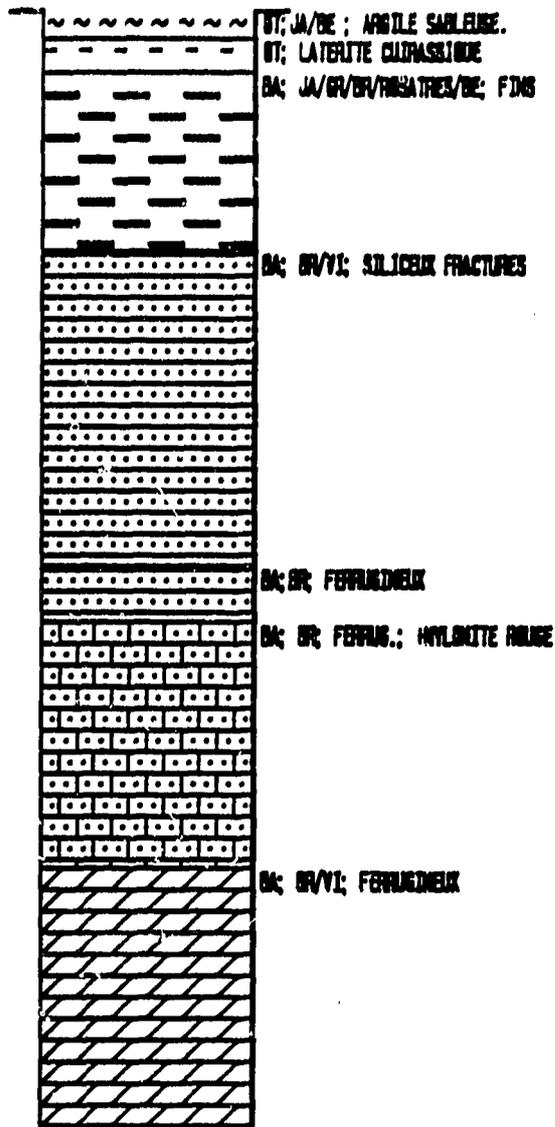
FIG. MA011

LEGEND

-  TR-INDIF. 0
-  TR-BOULIS 5
-  TR-ALLUV. 10
-  TR-SA/LAT. 15
-  CS-SCHISTE 20
-  CS-GRES C 25
-  CS-GRES B 30
-  CS-GRES A 35
-  CS-INDIF. 40
-  CI-ARGILITE 45
-  CI-GRES 0 50
-  CI-GRES 1A 55
-  CI-PEL. 1B 60
-  CI-1A/1B 65
-  CI-GRES 2 70
-  CI-SCH. 3 75
-  CI-INDIF. 80
-  CI-DOLERITE 85
-  CI- ?
-  CI- ?

SCALE IN M

MA011



PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: BAFOLABE 2A

LITHOLOGY

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE MA011

81

WELL LOG

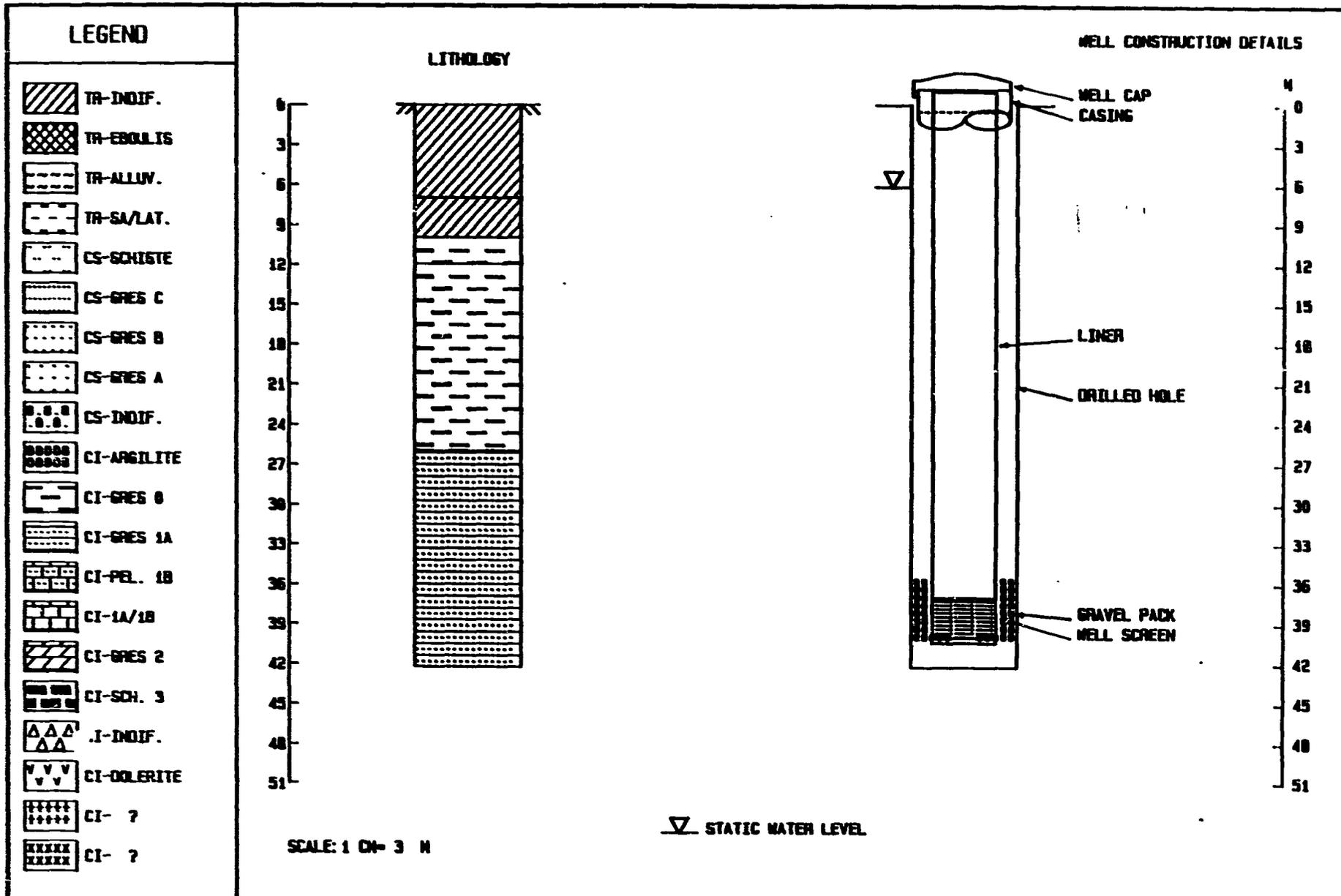
PROJECT: OMVS/USAID
 LOCATION: BAFOLLAKE SA
 WELL NO.: MA011
 DRILLER: DAME

FILE NO.: 625-0958
 ELEVATION (M): 163.367
 DATE DRILLED: 09/01/68
 TYPE OF RIG: MARTEAU FOND DU TROU

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
0.00	2.00	163.36	161.36	2.00	TR-ALLUV., JT; JA/BE ; AB
2.00	4.45	161.36	158.91	2.45	TR-SA/LAT., JT; LATERITE
4.45	17.00	158.91	146.36	12.55	CI-GRES O, BA; JA/GR/BR/
17.00	39.00	146.36	124.36	22.00	CI-GRES 1A, BA; BR/VI; S
39.00	42.90	124.36	120.46	3.90	CI-GRES 1A, BA; BR; FERRU
42.90	60.00	120.46	103.36	17.10	CI-FEL. 1B, BA; BR; FERR
60.00	78.00	103.36	85.36	18.00	CI-GRES 2, BA; BR/VI; TS

USAID/DAKAR/SENEGAL

82'



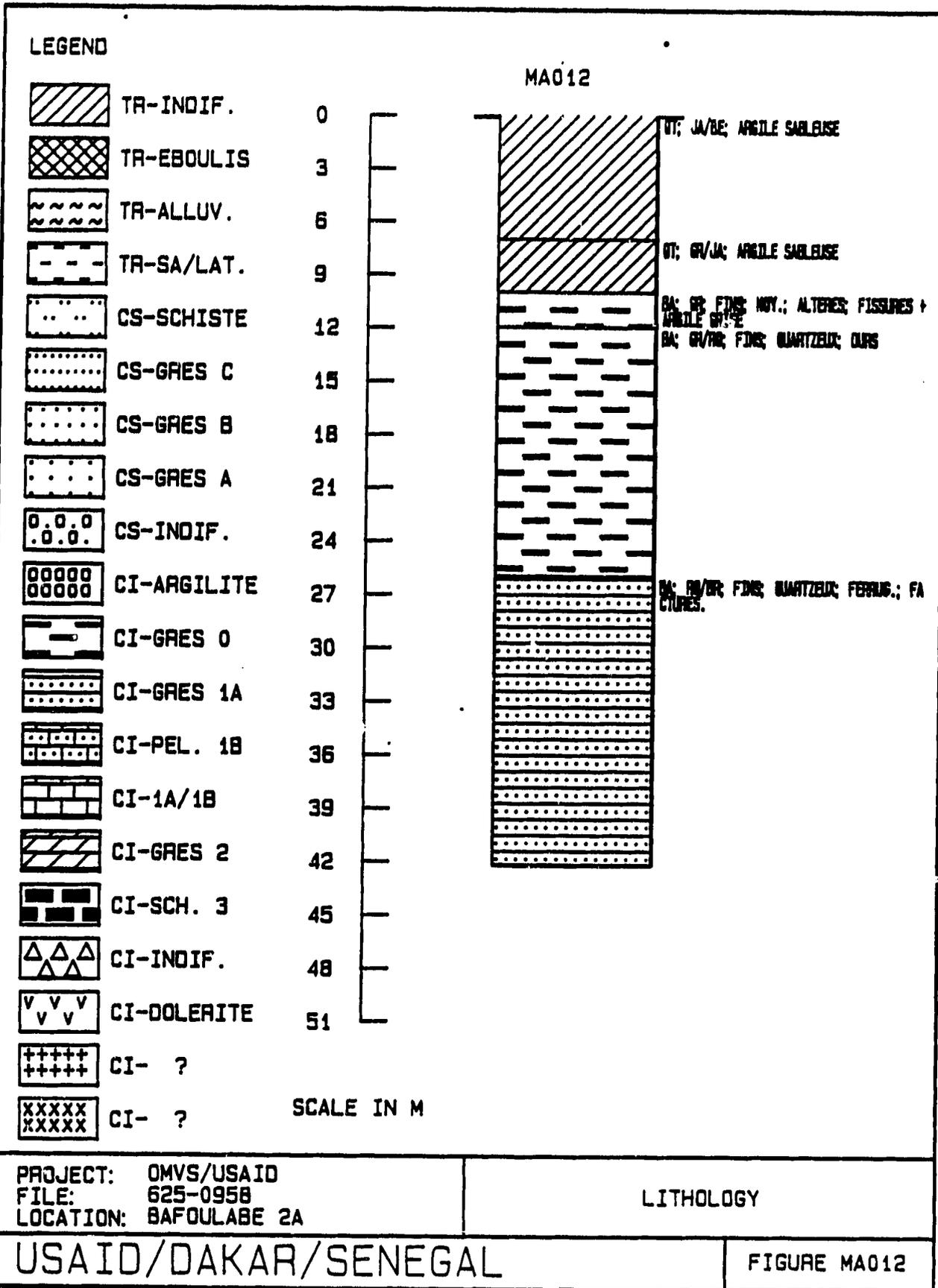
PROJECT: DMV/USAID
 FILE: 825-8958
 LOCATION: BAFOLABE 2A

COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE

USAID / DAKAR / SENEGAL

FIG E: MA012

47



84

WELL LITHOLOGY

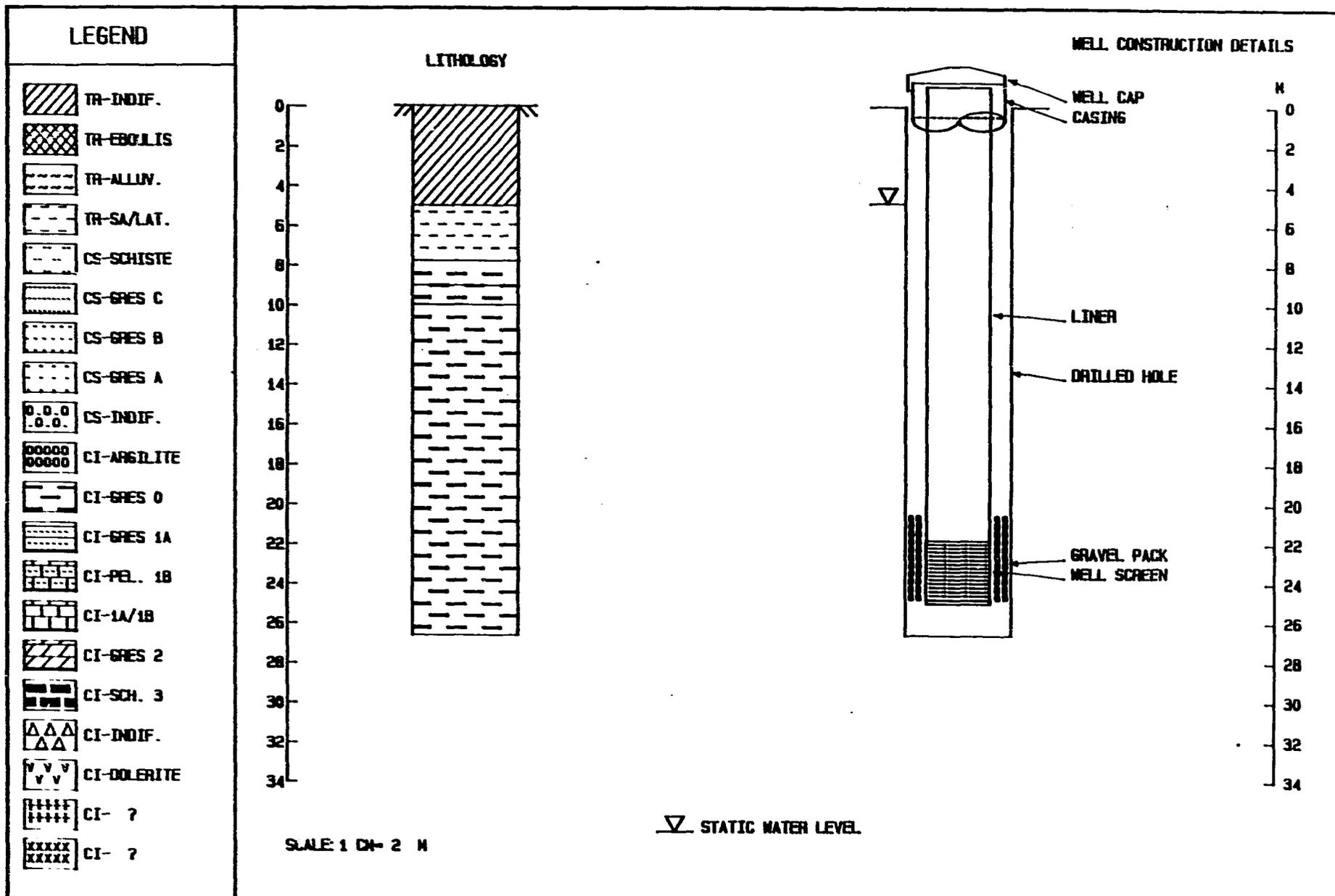
PROJECT:OMVS/USAID
 LOCATION:BAFOULABO BP
 WELL NO.:MA012
 DRILLER:DNHE

FILE NO.:8201.801
 DISTRICT:Y. 11.101
 DATE DRILLED:12/23.82
 TYPE OF RIG:MASTERED BORE DR TROL

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
0.00	7.00	161.29	154.29	7.00	TR-INDIC.,GT: JA/BE; AR
7.00	10.00	154.29	151.29	3.00	TR-INDIC.,GT: JA/BE; AR
10.00	12.00	151.29	149.29	2.00	CI-GRES O,BA; GR; FINE;
12.00	26.00	149.29	135.29	14.00	CI-GRES O,BA; GR/RO; FI
26.00	42.25	135.29	119.04	16.25	CI-GRES O,BA; GR/RO; FI

USAID/DAKAR/SENEGAL

25

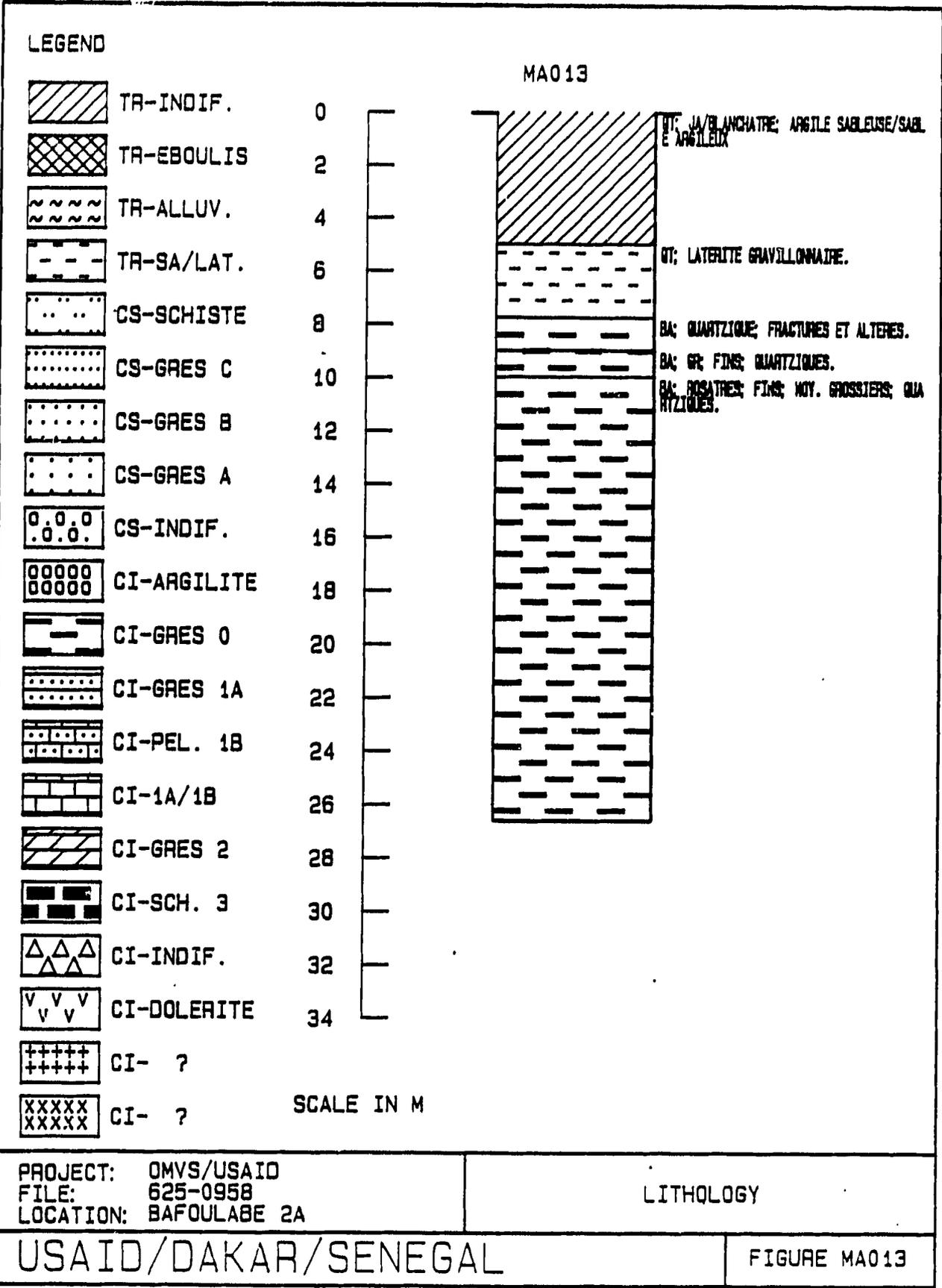


PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LCCA N° BAFOLLABE 2A

COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE

UAI / DAKAR / SENEGAL

FIGURE: MA013



87

NO. 117

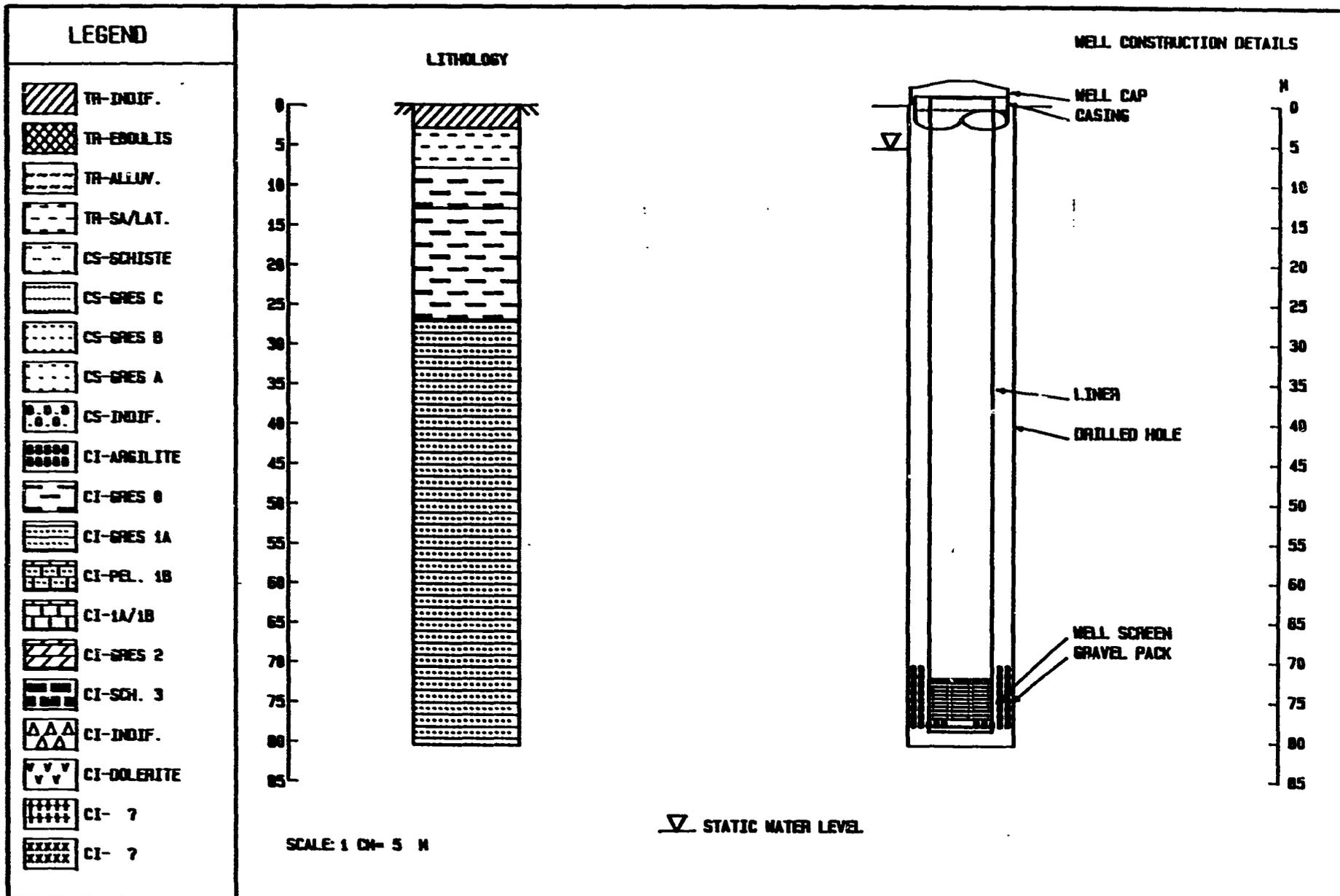
U.S. GEOLOGICAL SURVEY
 WATER RESOURCES DIVISION
 WASHINGTON, D. C. 20506

FILE NO. 1007-1003
 TITLE
 DATE
 TYPE OF RIG: MATERIAL P. 1 11 1101

DEPTH (m)		ELEVATION (m)		THICKNESS (m)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
0.00	2.00	151.17	153.17	2.00	TR-INDIE., GT, SP. L. 1007
2.00	3.77	153.17	153.40	1.77	TR-SA/LAT., GT; LATERITE
3.77	3.00	153.40	153.17	0.13	CI-GRES O, SA; QUARTZITE
3.00	10.00	153.17	151.17	7.00	CI-GRES O, SA, SA; SAND.
10.00	22.22	151.17	134.24	16.63	CI-GRES O, SA, SANDSTONE

USCID/DHAR/SENEGAL

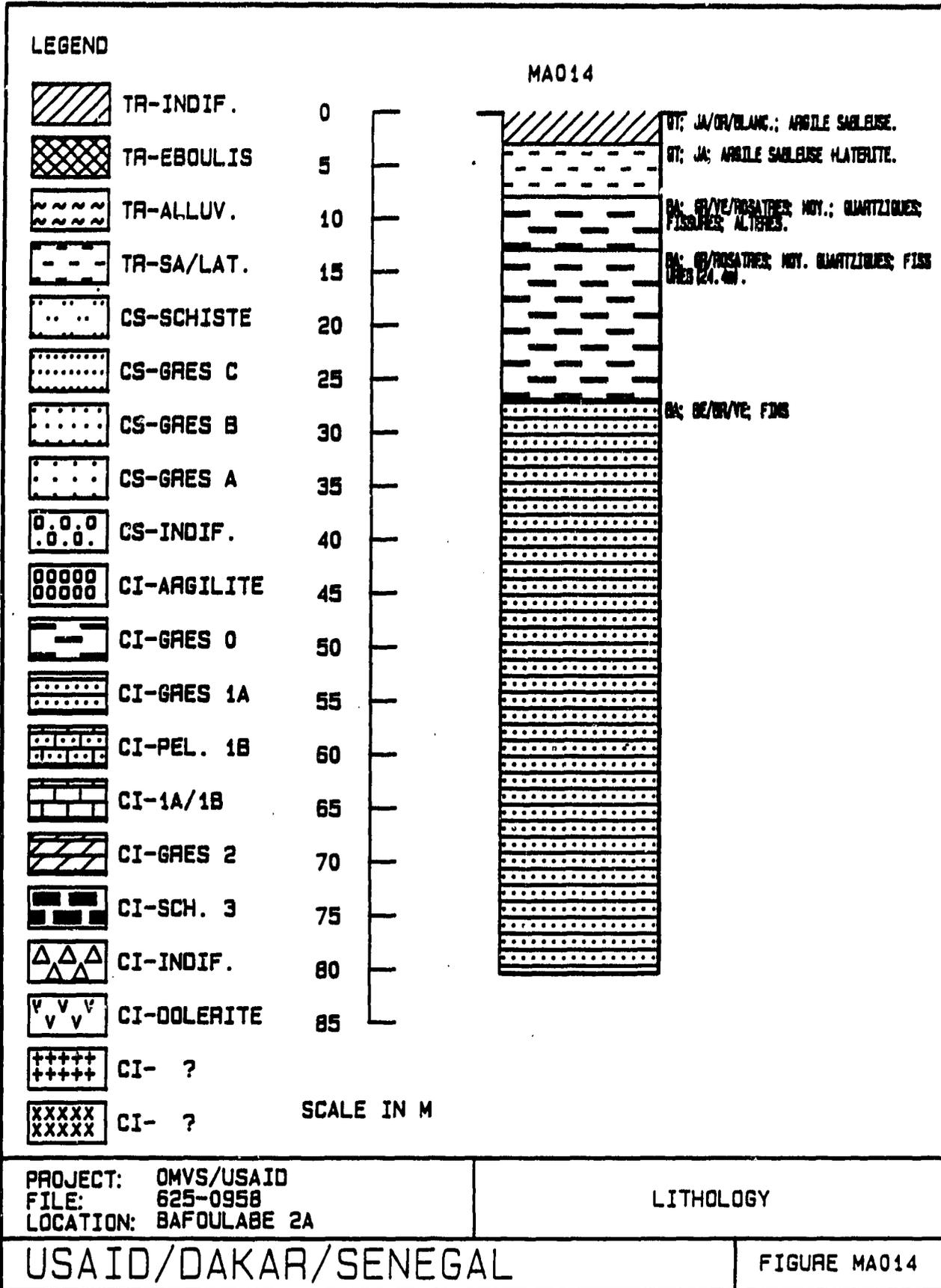
88



PROJECT: ONVS/USAID
 FILE: 025-0950
 LOCAL: N: BAFOLABE 2A

COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE

U. A. I. / DAKAR / SENEGAL



WELL LOG

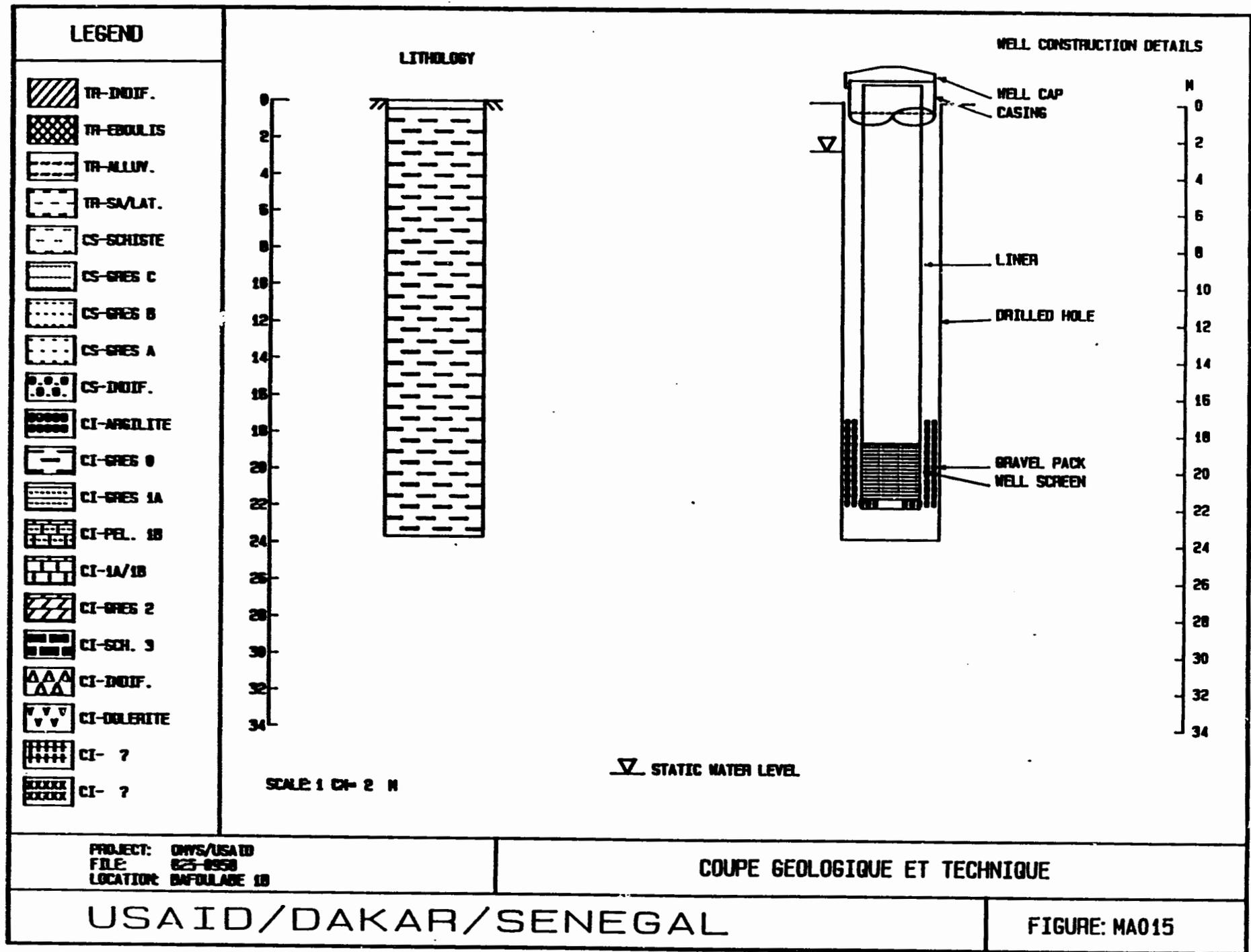
PROJECT: CMVE/USAID
 LOCATION: BAFOLABE SA
 WELL NO.: MA014
 DRILLER: DNE

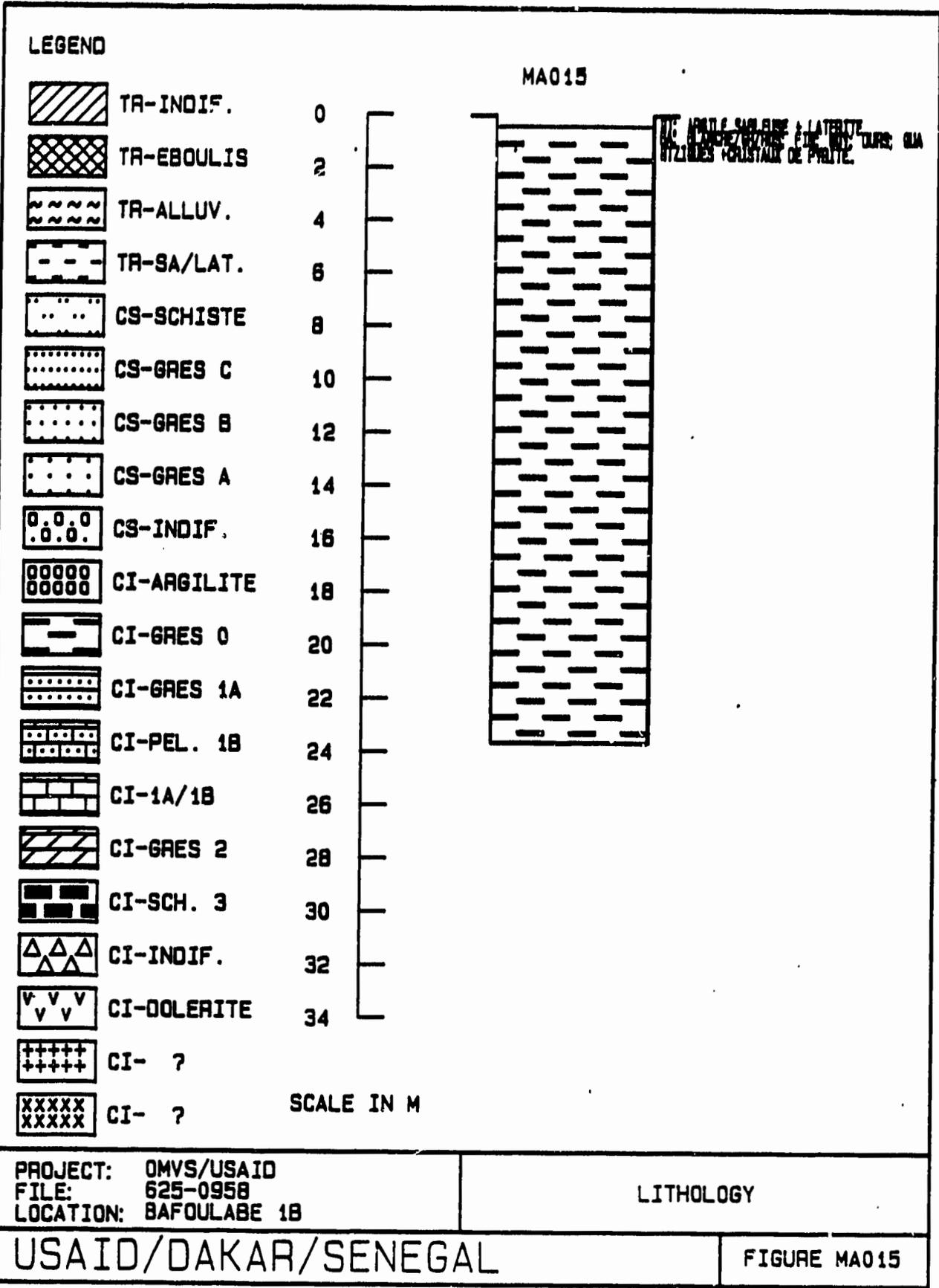
FILE NO.: 1025-0938
 ELEVATION NO.: 151.175
 DATE DRILLED: 24/03/88
 TYPE OF RIG: MARTEAU POND DU TROU

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
3.00	3.00	161.18	158.18	3.00	TR-INDIF., ST; CA, SA/BLA
3.00	8.00	158.18	153.18	5.00	TR-SA/LAT., ST, SA, GRES
3.00	13.00	153.18	148.18	5.00	CI-GRES G. BA; BR/VE-ROC
13.00	27.00	148.18	134.18	14.00	CI-GRES G. BA; BR/VE-ROC
27.00	80.48	134.18	90.70	53.48	CI-GRES SA, BA; BE/BR/VE

USAID/DAKAR/SENEGAL

Best Available Copy





PROJECT COMMO. 25412
 LOCATION: SENEGAL
 DATE: 1968-11-12
 COLLECTIONS

FILE NO. 1568-1153
 ELEVATION (M): 152.37
 DATE: 1968-11-12
 NAME OF INSTITUTION: U.S. GEO.

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
1.00	0.45	152.37	151.92	0.45	TR-SA/LAT., Q ⁺ ; GRES L
0.45	23.70	151.92	128.67	23.25	CI-GRES O, BA; BLANC B/G

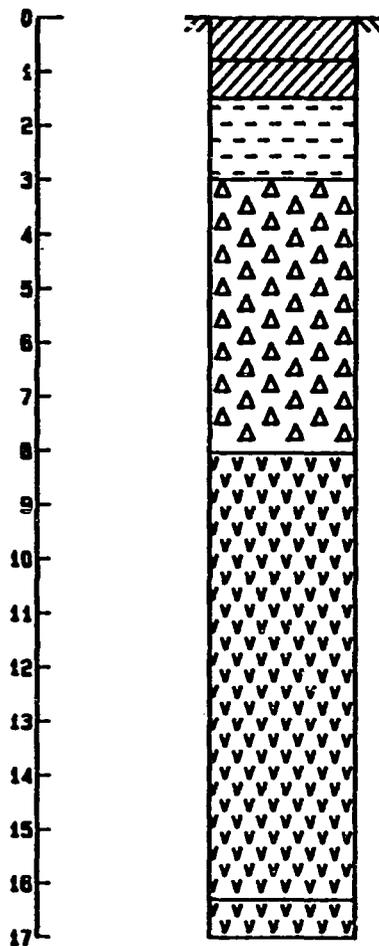
USAID/DAKAR/SENEGAL

14

LEGEND

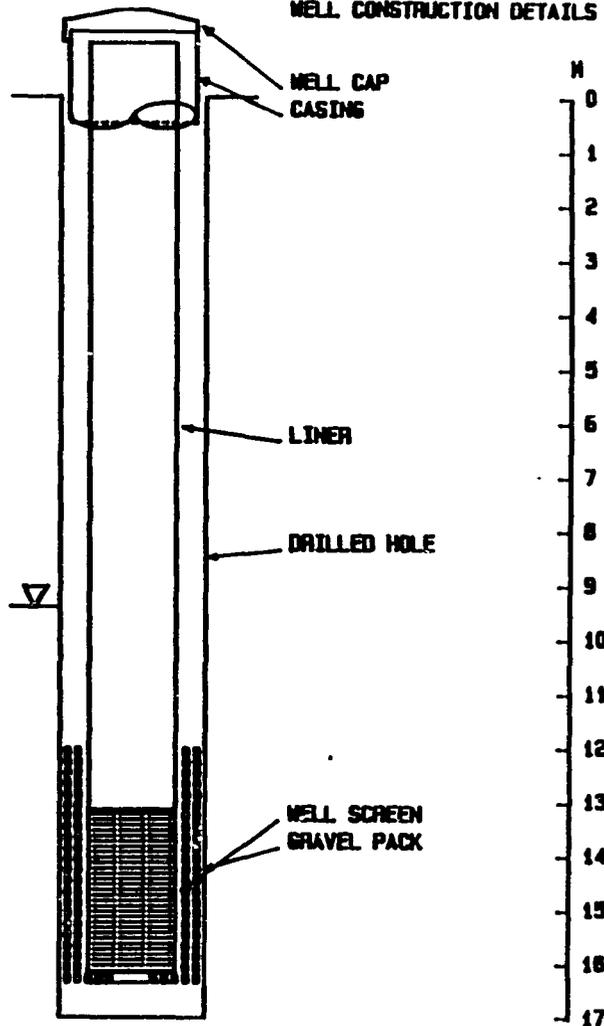
-  TR-INDIF.
-  TR-EBULIS
-  TR-ALLUV.
-  TR-SA/LAT.
-  CS-SCHISTE
-  CS-GRES C
-  CS-GRES B
-  CS-GRES A
-  CS-INDIF.
-  CI-ARGILITE
-  CI-GRES 0
-  CI-GRES 1A
-  CI-PEL. 1B
-  CI-1A/1B
-  CI-GRES 2
-  CI-SCH. 3
-  CI-INDIF.
-  CI-DOLERITE
-  CI- ?
-  CI- ?

LITHOLOGY



SCALE: 1 CM = 1 M

WELL CONSTRUCTION DETAILS



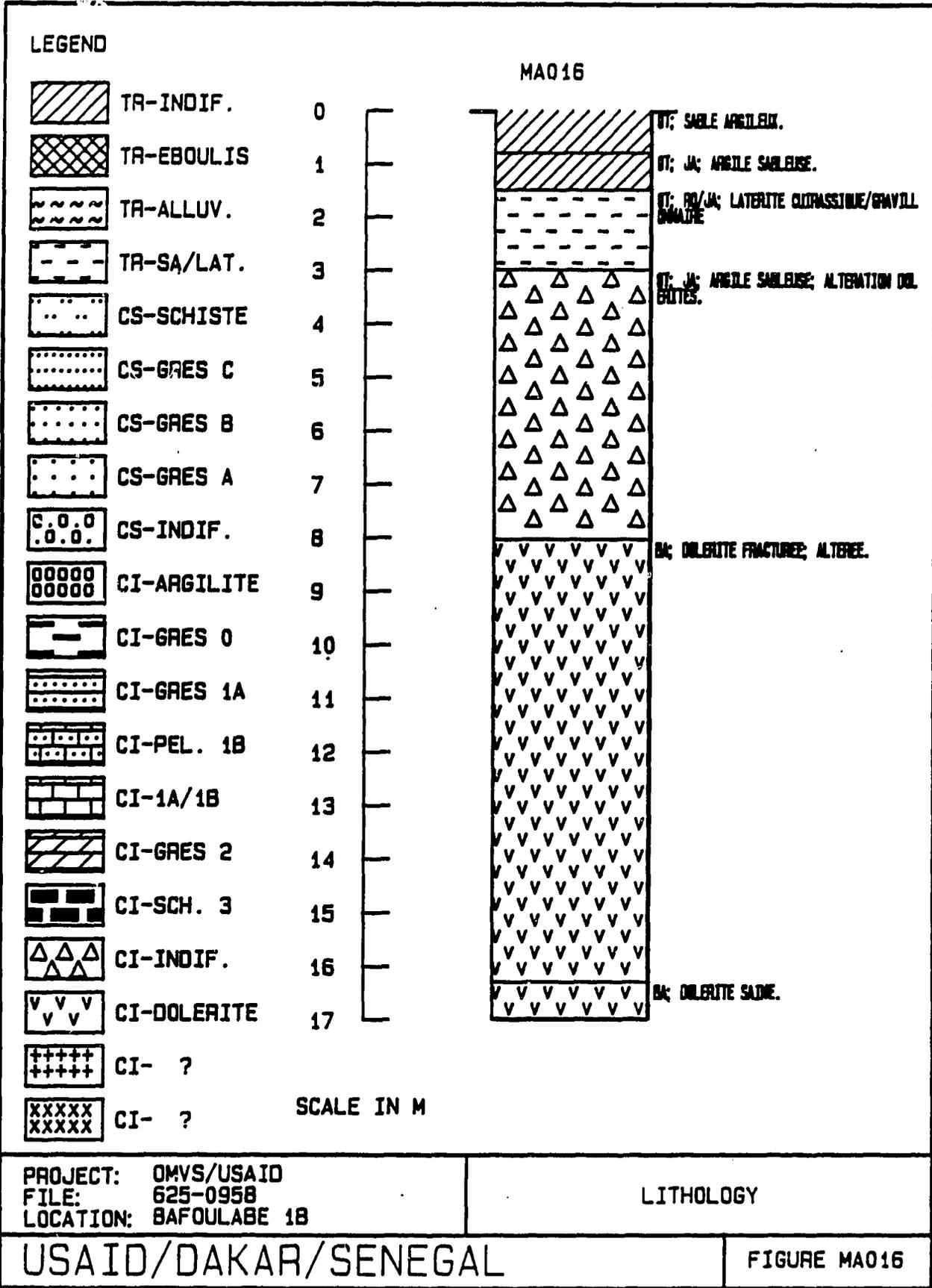
▽ STATIC WATER LEVEL

PROJECT: ONVS/USAID
 FILE: 825-0958
 LOCATION: BAFOLABE 1B

COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIG E: MA016



96

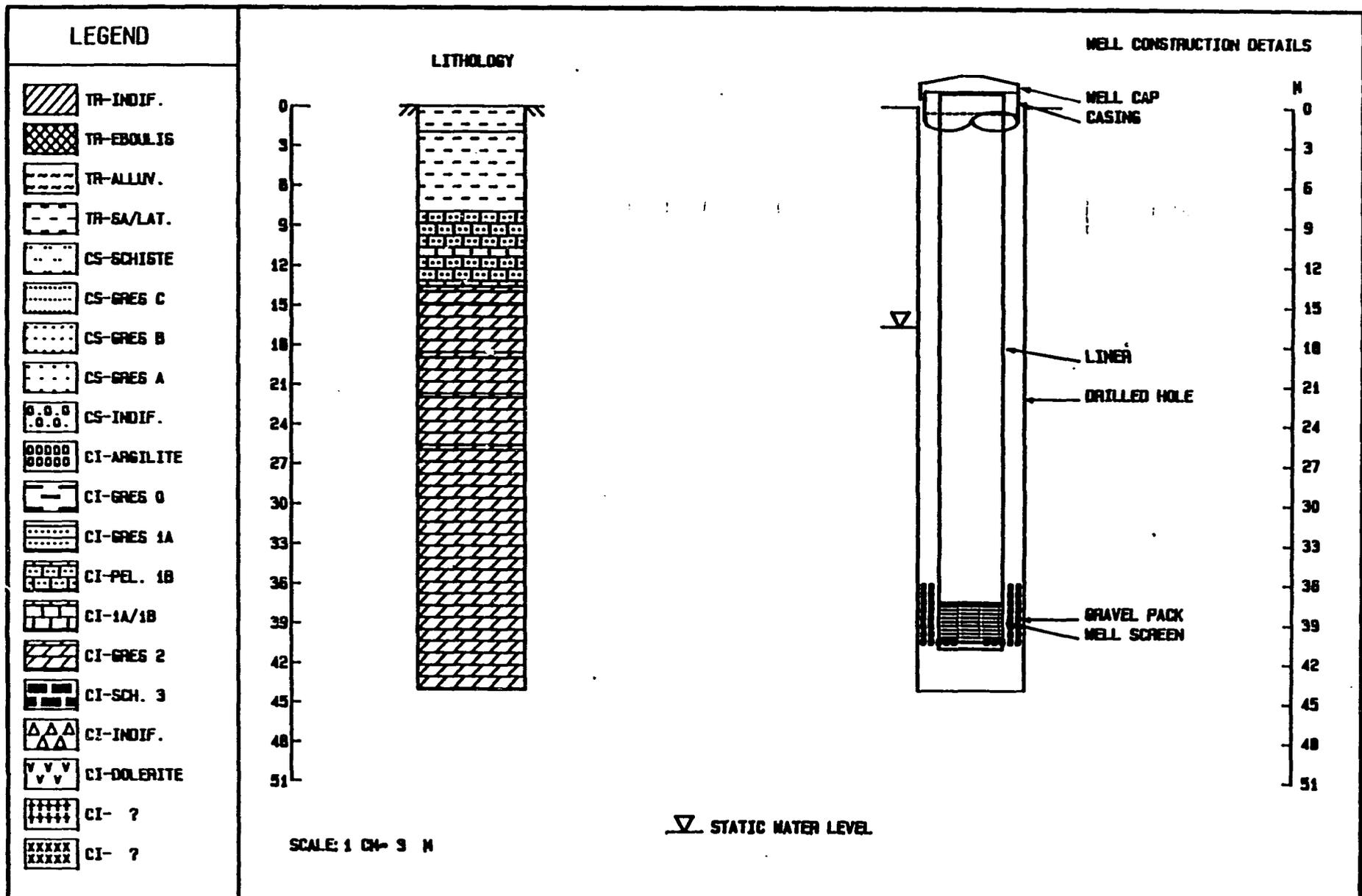
WELL LOG SHEET

PROJECT: OMNE/USAID
 LOCATION: BAFOLABE 1E
 WELL NO.: MAC 18
 DRILLER: DNHE

FIELD NO.: 15E
 ELEVATION (M): 119.15
 DATE DRILLED: 11/19/66
 TYPE OF RIG: MAREAU POND 32 TROU

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
0.00	0.80	129.95	129.15	0.80	TR-INDIF., QT; SABLE ARG
0.80	1.50	129.15	128.45	0.70	TR-INDIF., ST; JA; ARGIL
1.50	3.00	128.45	126.95	1.50	TR-SA/LAT., QT; RO/JA; -
3.00	8.05	126.95	121.90	5.05	CI-INDIF., QT; JA; ARGIL
8.05	16.30	121.90	113.65	8.25	CI-DOLERITE, SA; DOLEBIT
16.30	17.00	113.65	112.95	0.70	CI-DOLERITE, SA; DOLEBIT

USAID/DAKAR, SENEGAL



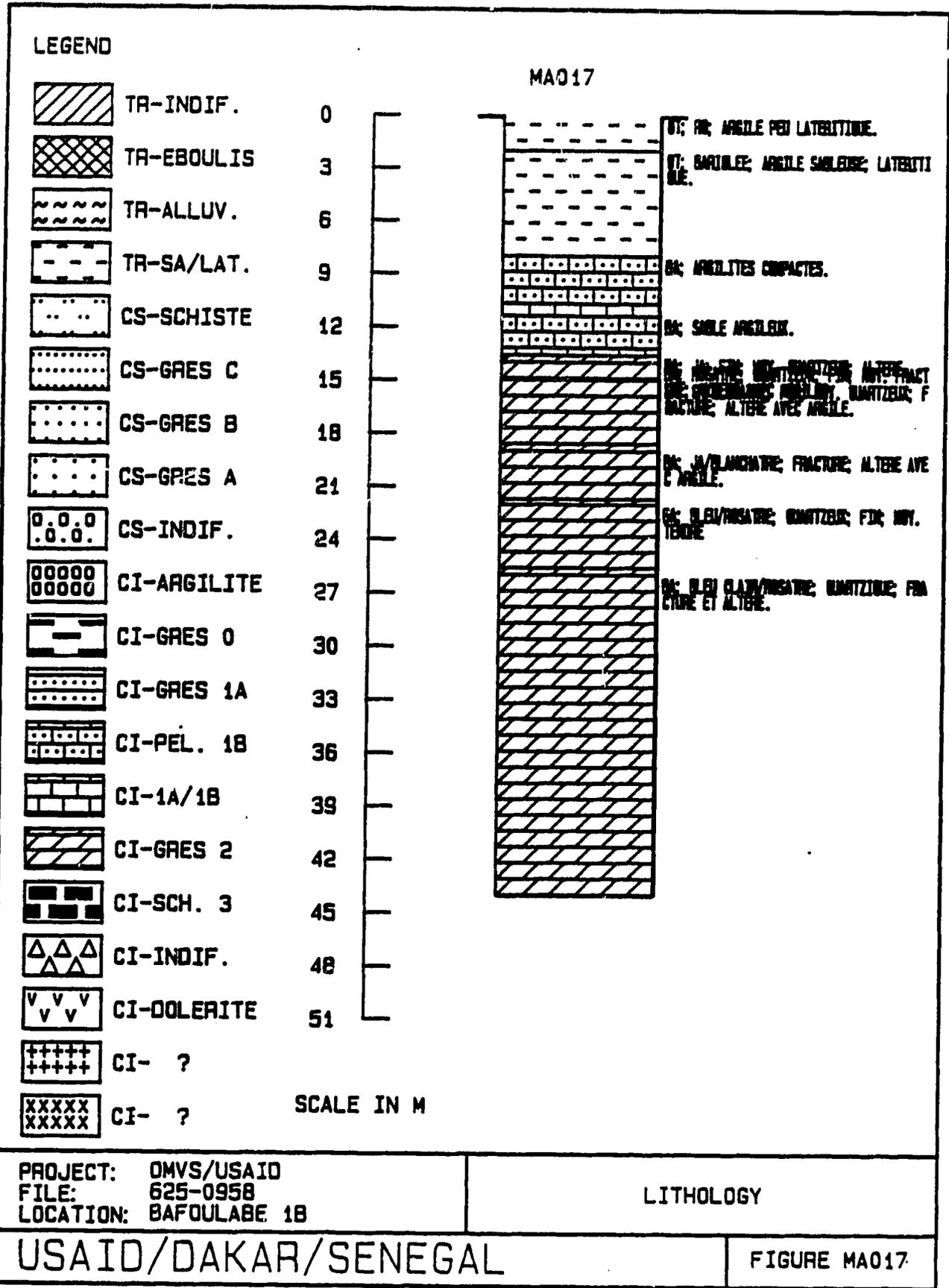
PROJECT: ONVS/USAID
 FILE: 825-0958
 LOCATION: BAFOLABE 1B

COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE

USA I / DAKAR / SENEGAL

FIG E: M 17

98



69

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY
 WASHINGTON, D. C. 20540

WATER RESOURCES DIVISION

WELL IDENTIFICATION

ELEVATION AND DEPTH

DEPTH

THICKNESS

CONTENTS

FROM

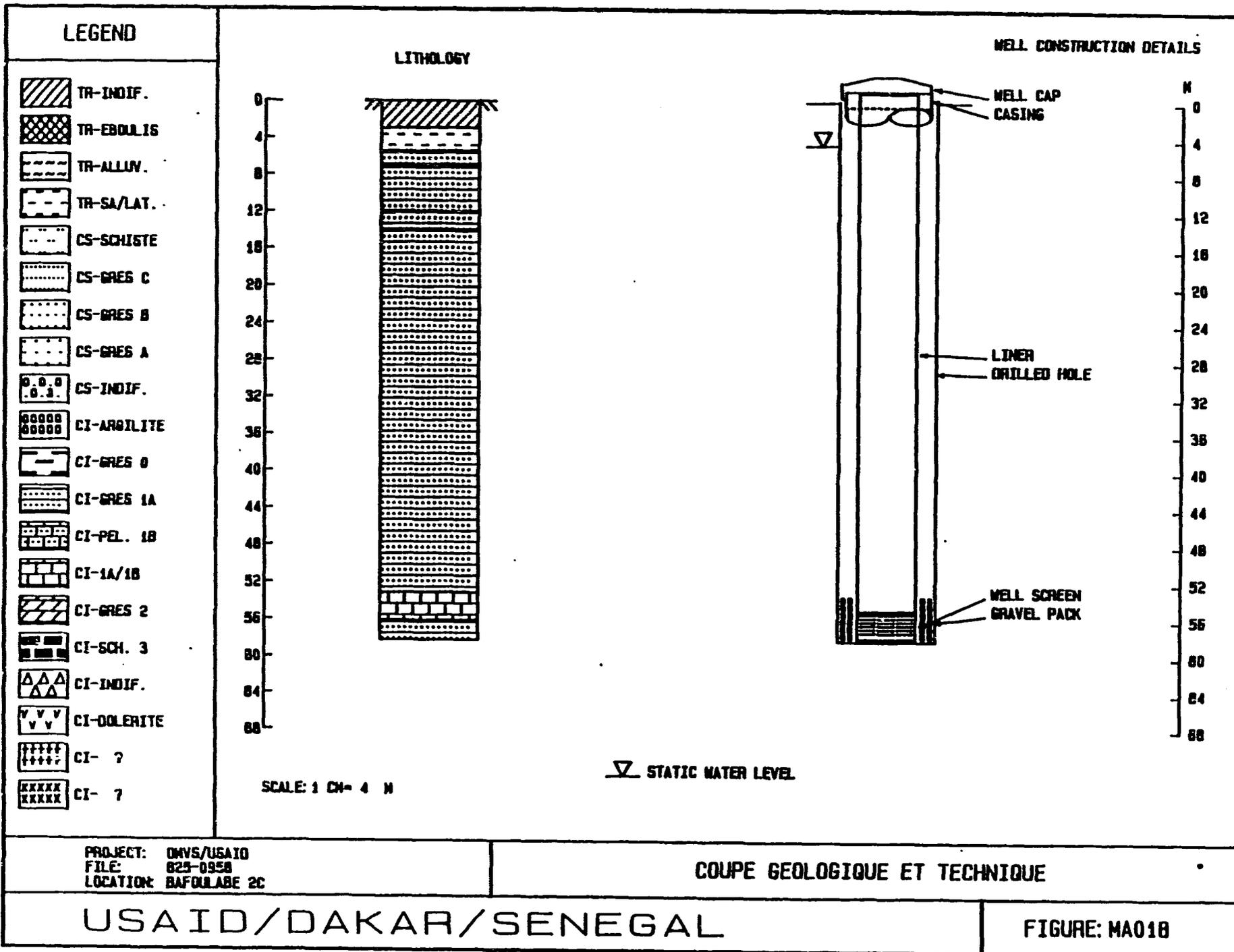
TO

1.000	2.000	1.000	TR-SA/LAT., QT; RD; ARSI
2.000	2.000	0.000	TR-SA/LAT., QT; BARICLES
2.000	11.400	9.400	DI-PEL. 1B, BA; ARGILITE
11.400	13.250	1.850	DI-PEL. 1B, BA; SABLE AR
13.250	14.000	0.750	DI-GRES 3, SA; JA; FIN;
14.000	15.000	1.000	DI-GRES 3, SA; POSITIVE
15.000	19.000	4.000	DI-GRES 3, SA; GR/ELENT
19.000	21.100	2.100	DI-GRES 1, SA; SANDY CL
21.100	26.000	4.900	DI-GRES 1, SA; BLEND. COSS
26.000	44.050	18.050	DI-GRES 1, SA; BLEND. COSS

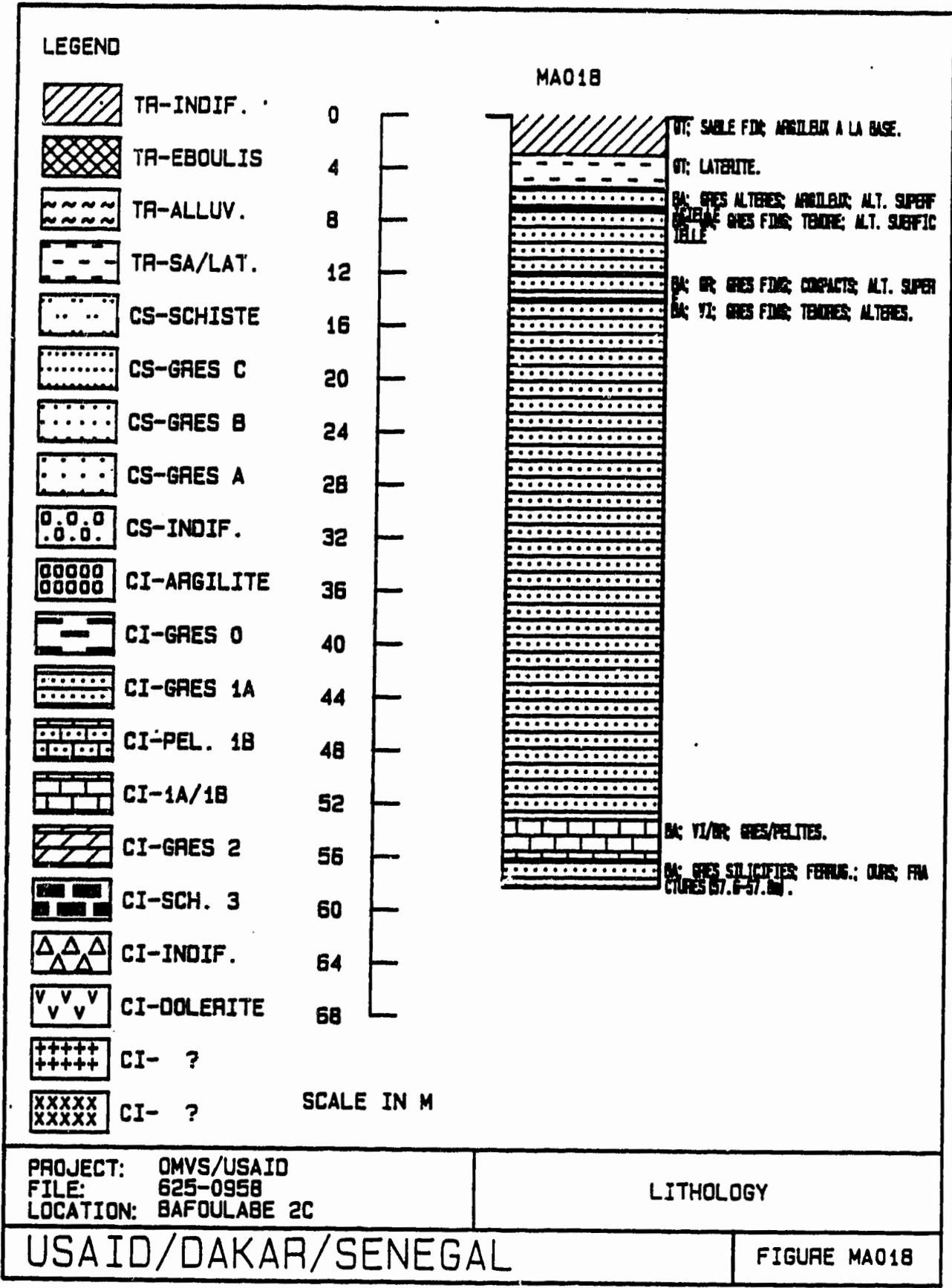
LEAD, ZINC, COPPER

Best Available Document

100



10/1



102.

WELL LOG

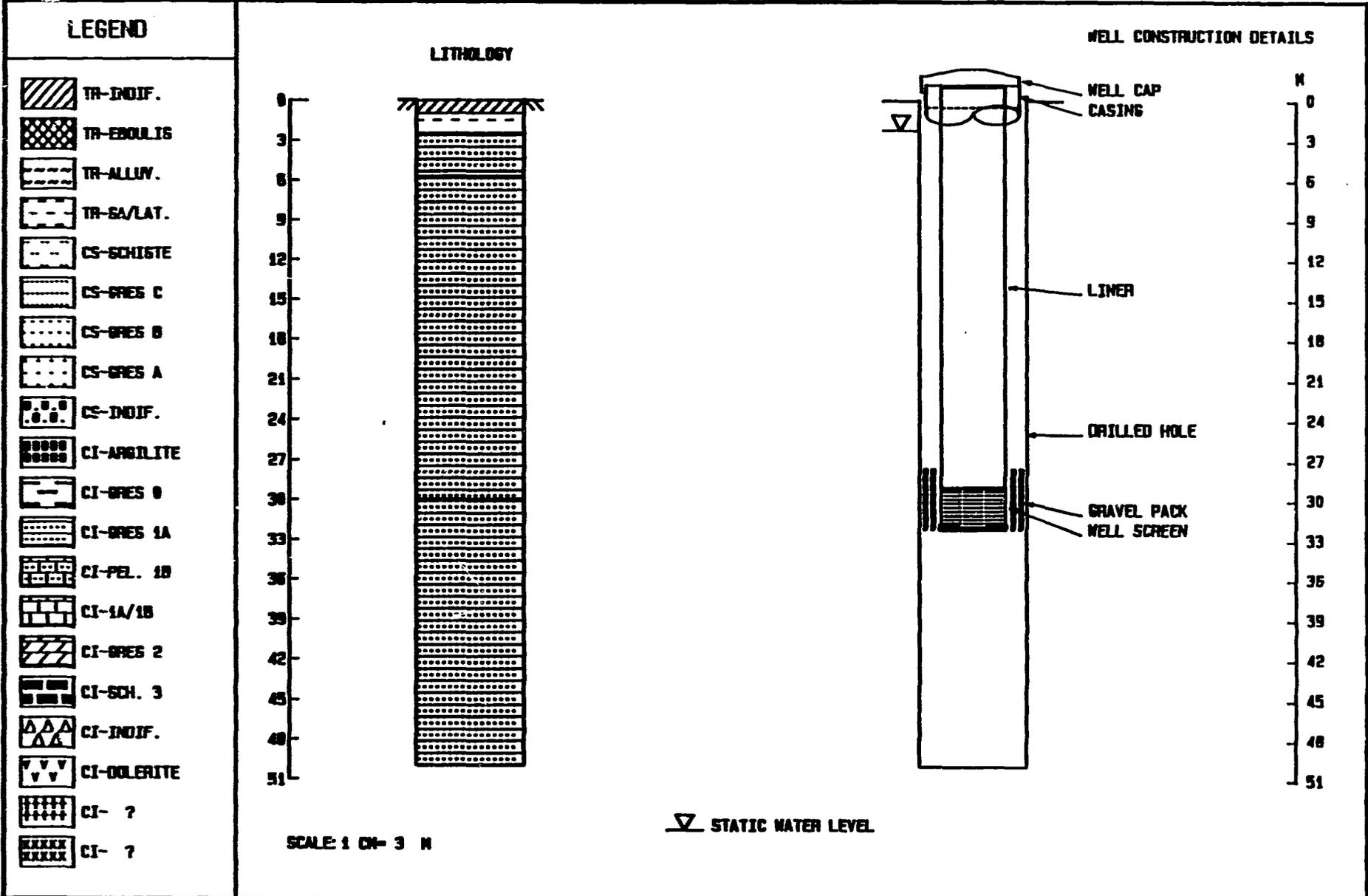
PROJECT: COMVE/UBAID
 LOCATION: BAFOLABE RD
 WELL NO: 100018
 DRILLER: DNHE

WELL NO: 100018
 ELEVATION AT: 102.14E
 DATE DRILLED: 05.11.87
 TYPE OF WELL: MANTENU FOND DU TROU

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
0.00	3.00	158.25	159.25	3.00	TR-INDIF., OT; SABLE FIN
3.00	5.50	158.25	156.75	2.50	TR-SA/LAT., OT; LATERITE
5.50	7.10	156.75	155.15	1.60	CI-GRES 1A, SA; GRES ALT
7.10	11.00	155.15	150.25	4.90	CI-GRES 1A, SA; SA; GRES
11.00	14.00	153.25	148.35	3.00	CI-GRES 1A, SA; SA; GRES
14.00	53.20	148.25	109.05	39.20	CI-GRES 1A, SA; VI, GRES
53.20	56.20	109.05	106.05	3.00	CI-1A/1B, SA; VI, SA, GRES
56.20	58.30	106.05	102.95	2.10	CI-GRES 1A, SA; GRES G.L.

USAID/DAKAR/SENEGAL

301

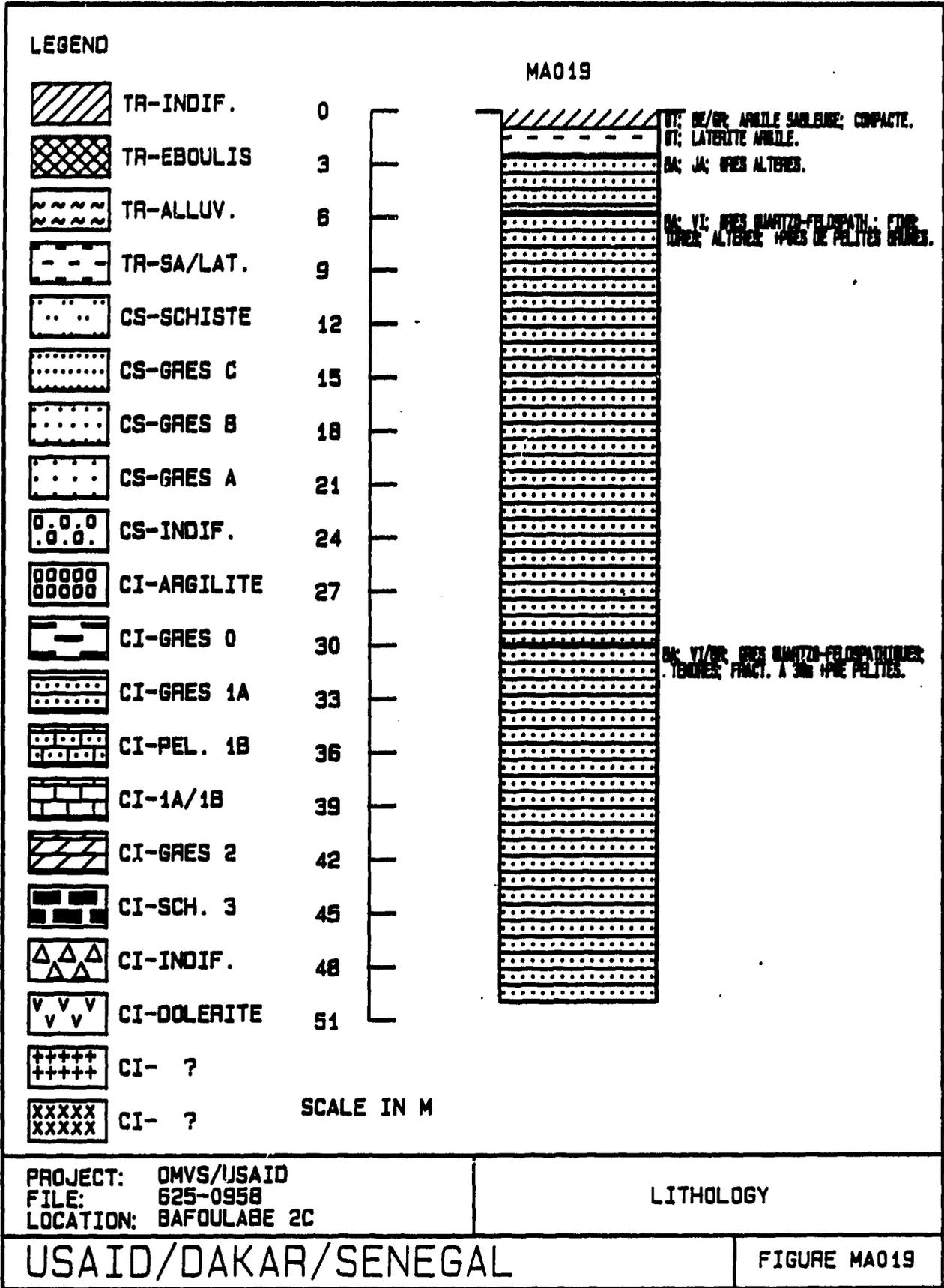


PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 023-0958
 LOCATION: BAFOLADE 2C

COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA019



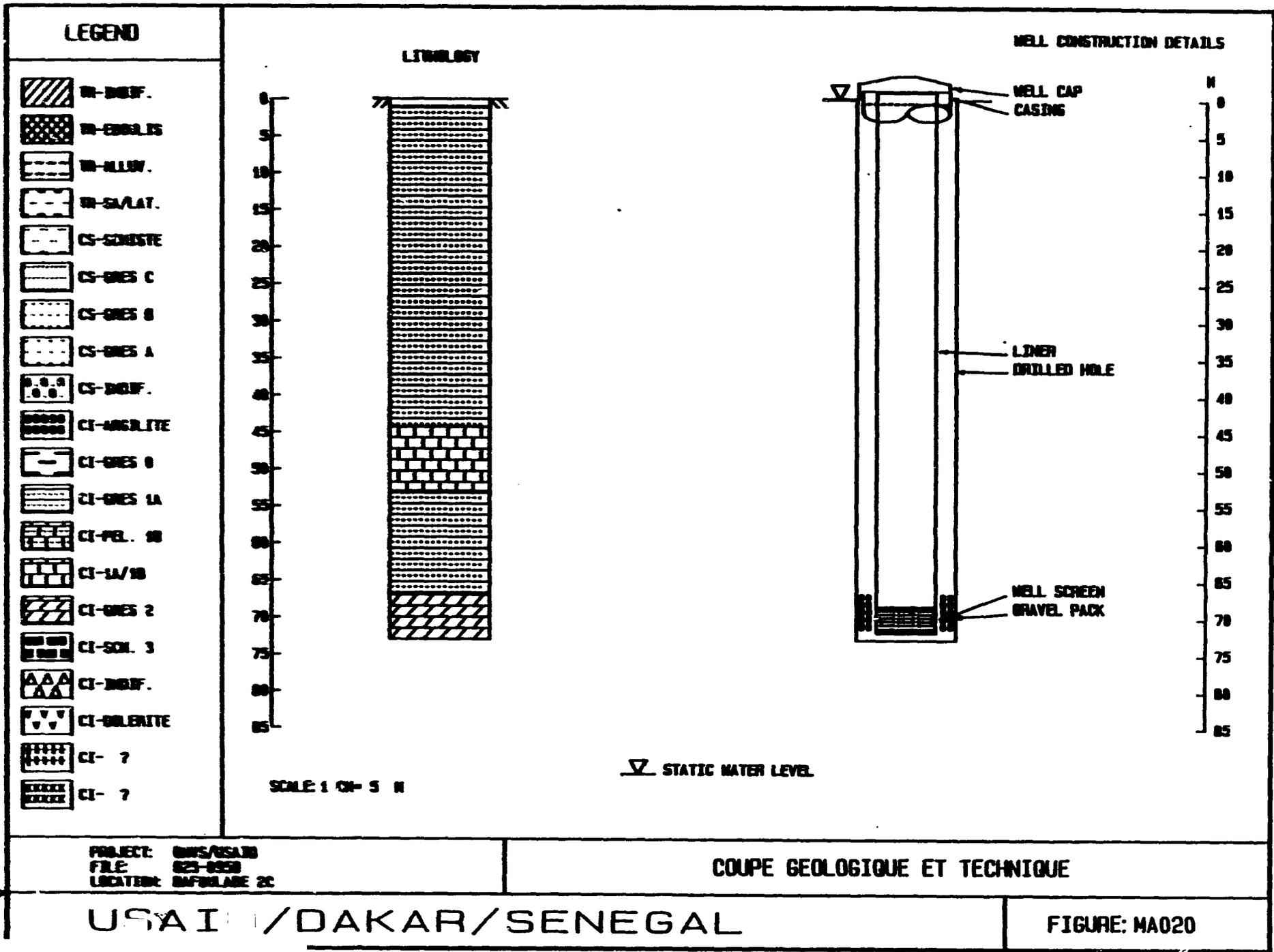
125

PROJECT: ON. S. USAID
 LOCATION: DAKAR, SENEGAL
 WELL NO.: 10113
 DRILLER: DIME

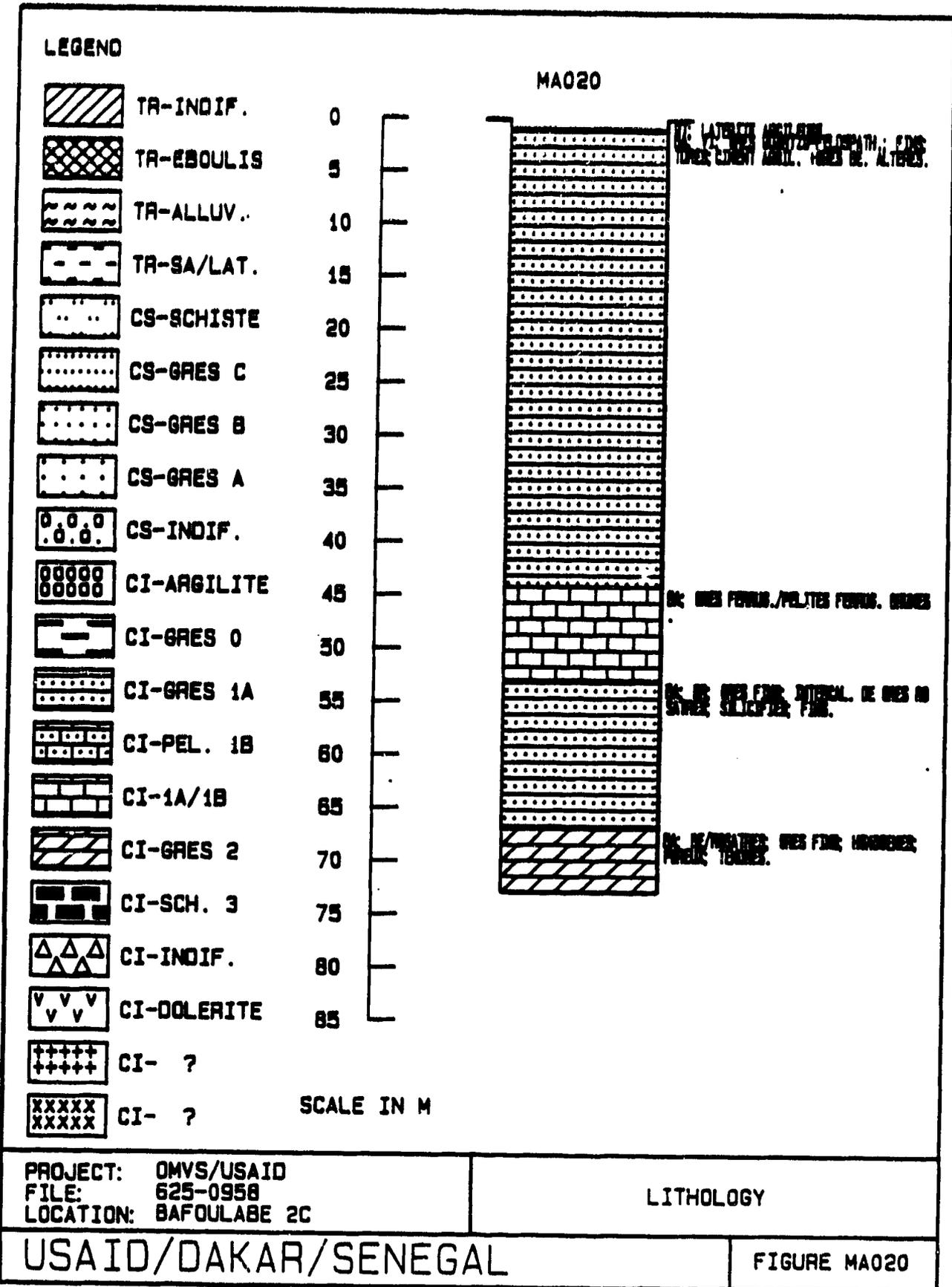
FILE NO.: 1985-0093
 ELEVATION: 158.03 M
 DATE DRILLED: 18.11.81
 TYPE OF WELL: ARTESIAN / DEEP WELL

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
0.00	1.00	159.03	158.03	1.00	TR-INDIF. .GT; SEMED; SP
1.00	2.50	158.03	156.53	1.50	TR-SA/LAT. .GT; LATERITE
2.50	5.75	156.53	153.28	3.25	CI-GRES 1A, BA; JA; GRES
5.75	20.00	153.28	129.03	24.25	CI-GRES 1A, BA; JA; GRES
20.00	31.00	129.03	109.03	20.00	CI-GRES 1A, BA; JA; G

USAID/DAKAR/SENEGAL



101



PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: BAFLOULABE 2C

LITHOLOGY

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE MA020

WELL LOG

PROJECT: DYNALERIS
 LOCATION: BRACULABE AC
 WELL NO.: MA080
 DRILLER: ENNE

FILE NO.: 322-1023
 ELEVATION (M): 101.072
 DATE DRILLED: 01/21/82
 TYPE OF REGISTRATION: BOND OF TROU

DEPTH (M)		ELEVATION (M)		THICKNESS (M)	LITHOLOGY
FROM	TO	FROM	TO		
1.00	1.00	159.18	159.18	1.00	TR-SA/LAT., BT; LATERITE
1.00	44.30	159.18	114.88	43.30	CI-GRES 1A, BA; VI; GRES
44.30	53.00	114.88	106.18	8.70	CI-1A/15, BA; GRES FERRE
53.00	67.00	106.18	92.18	14.00	CI-GRES 1A, BA, BT; GRES
67.00	73.00	92.18	86.18	6.00	CI-GRES 2, BA; BE/ROGATR

USAID/DANAR/SENIGAL

Best Available Document

REPertoire HYDROGEOLOGIQUE

**CARTE TOPOGRAPHIQUE 1:200,000
27 BAFULAE**

Sections géologiques

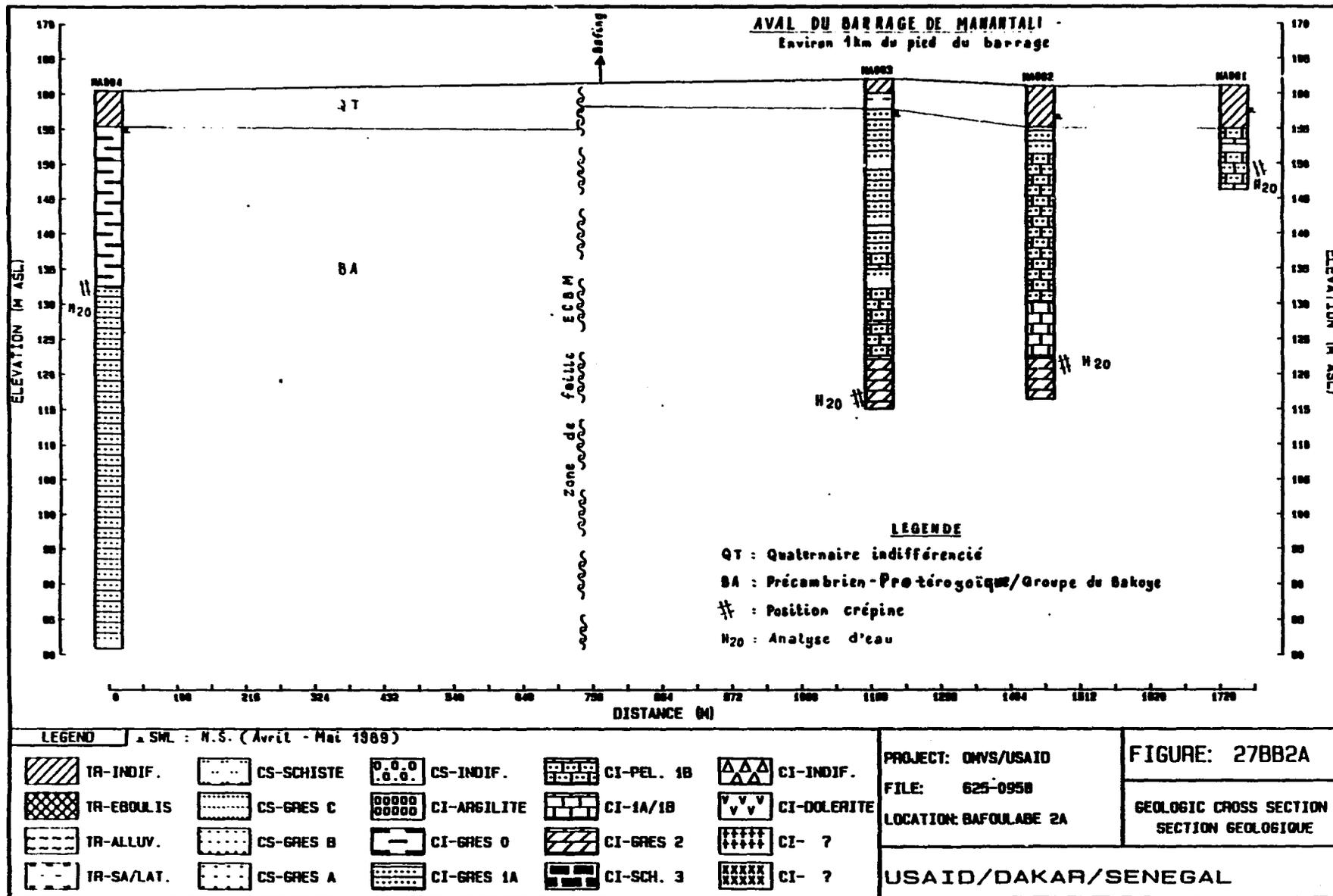
ANNEXE 2

COMMENTAIRES SUR LES SECTIONS GÉOLOGIQUES

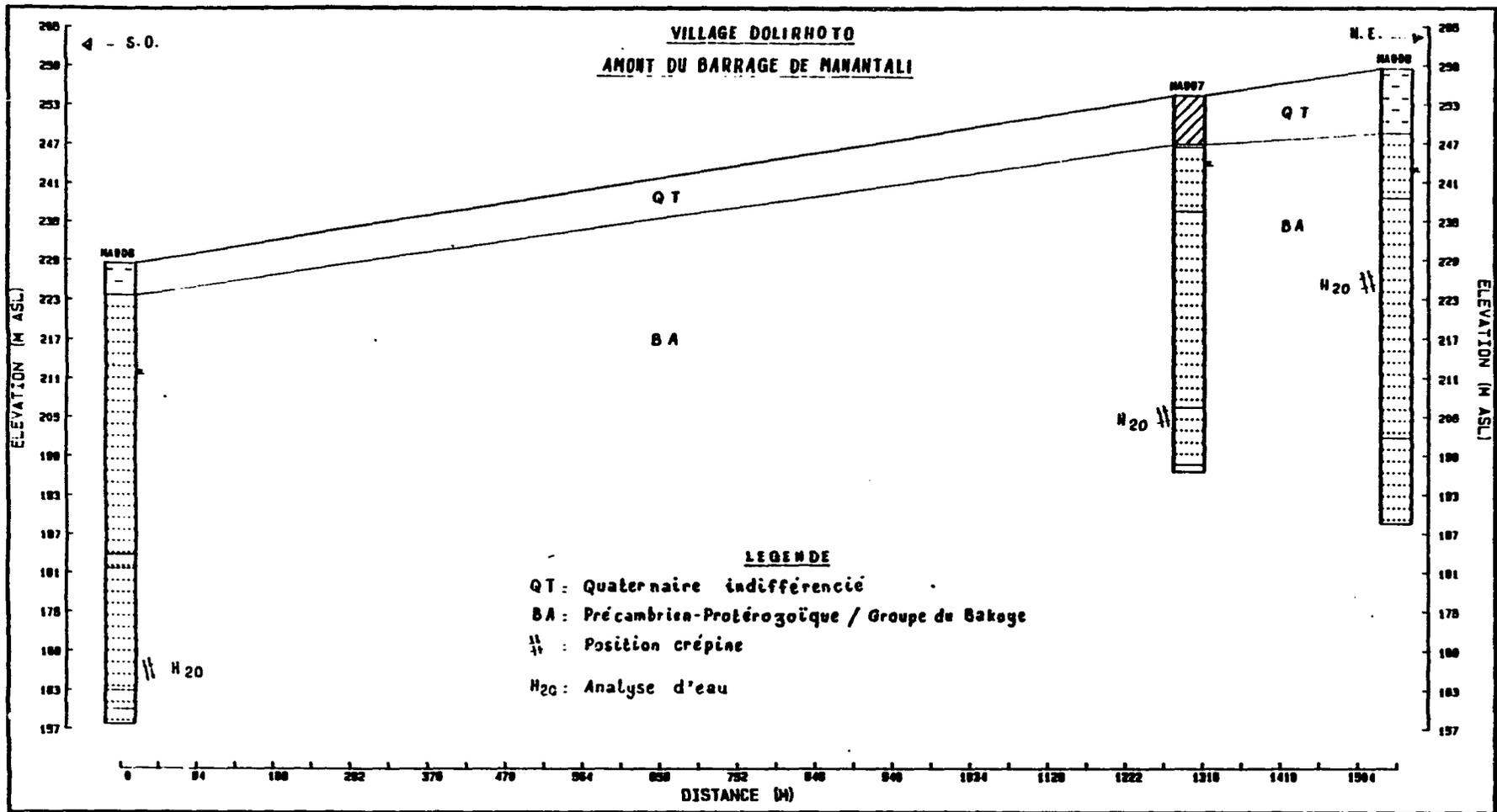
Les sections géologiques ci-après sont dessinées par le logiciel GROUNDWATER/LITHOCON. Sur les sections géologiques produites ont été ajoutées:

- 1) l'âge géologique des différents sédiments traversés
- 2) la position de la ou des crépines sur même site géographique (équipement double)
- 3) le prélèvement d'échantillons d'eau, s'il y a lieu, correspondant à une analyse chimique identifié par le numéro du piézomètre dont il est originaire (voir annexe # 4)
- 4) la corrélation géologique des différentes formations traversées par chacun des sondages du site concerné.

Toutes ces informations proviennent de l'analyse des différents tableaux contenus dans le texte de ce répertoire documentaire.

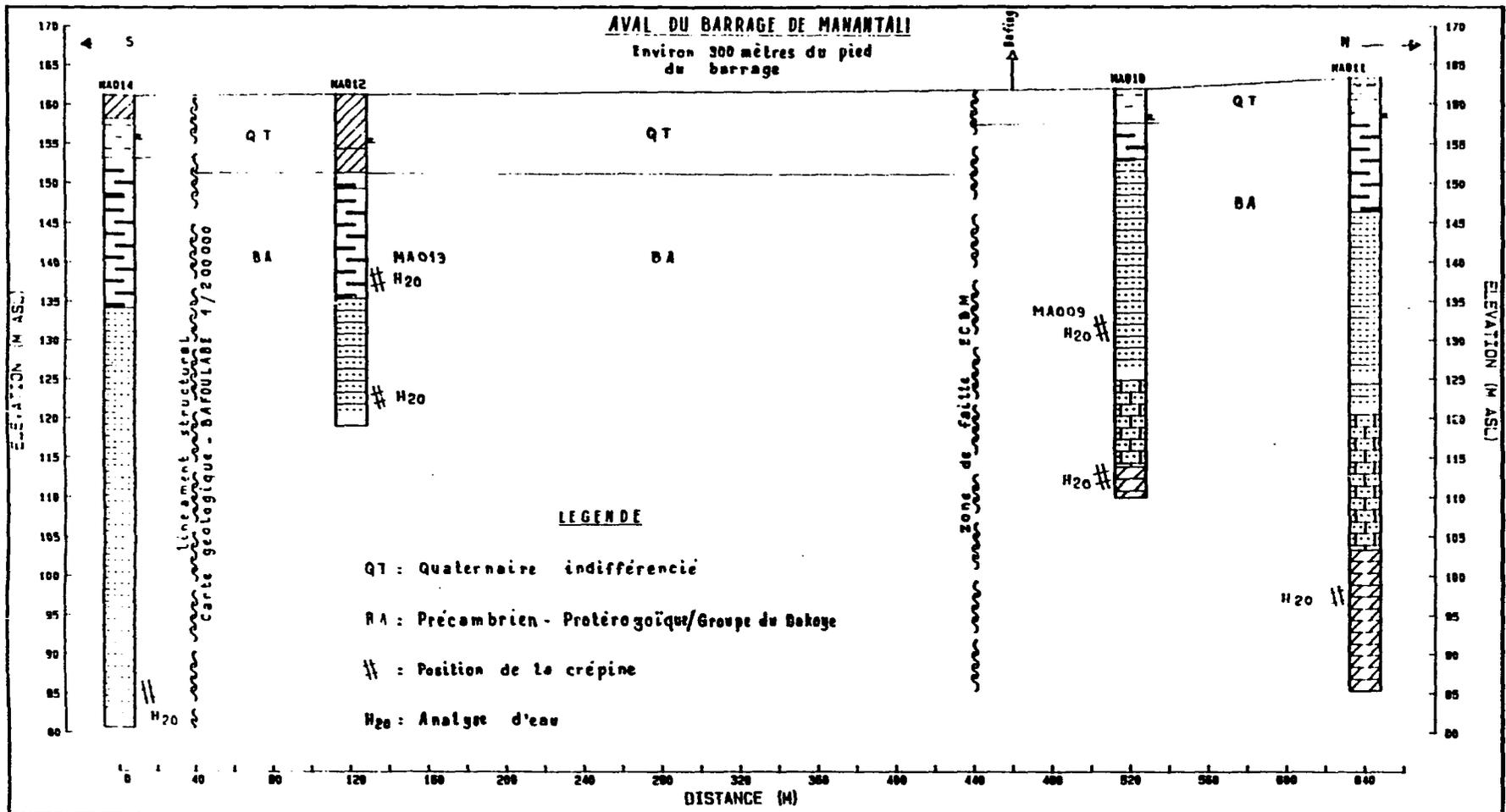


13



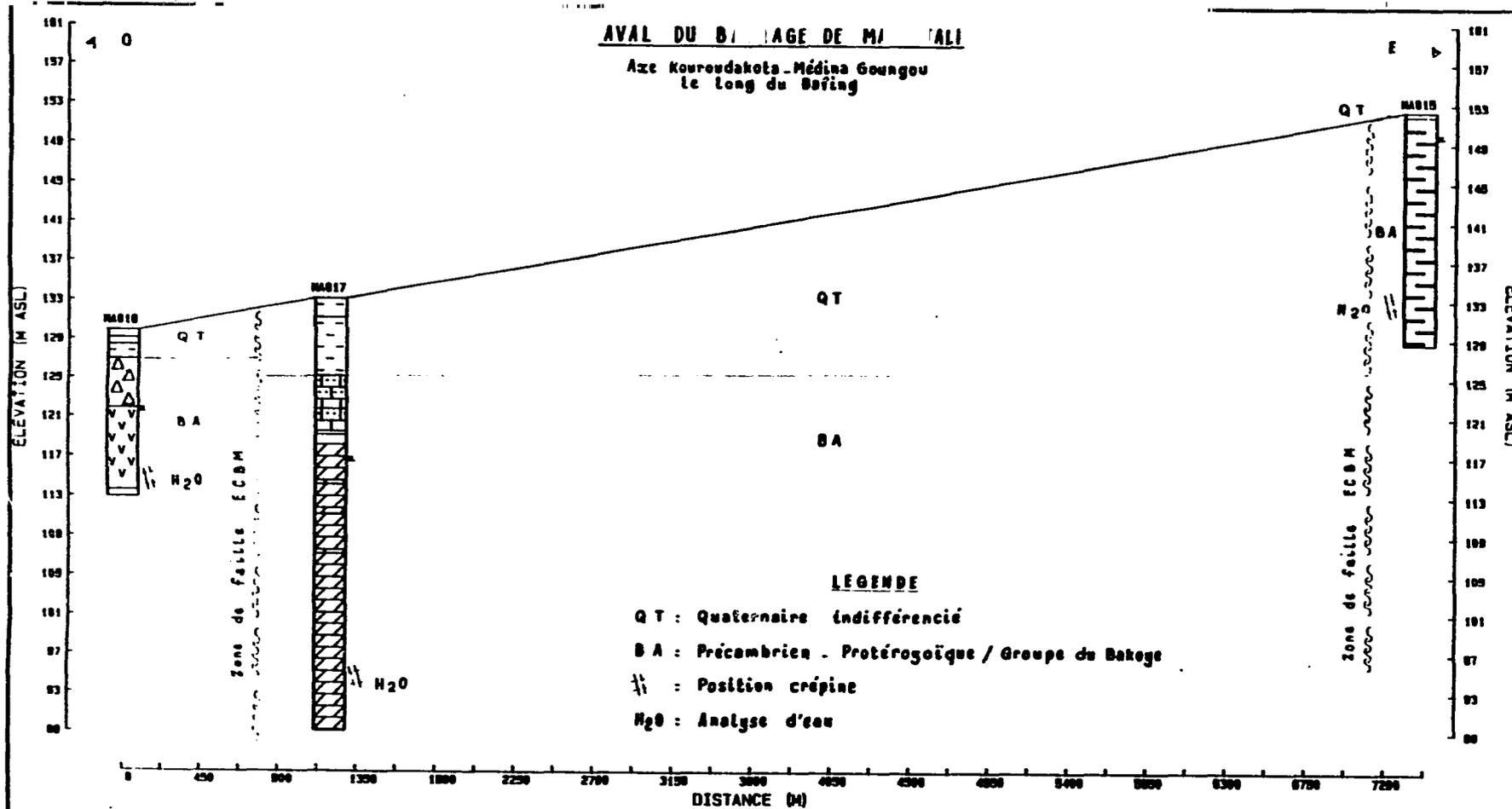
LEGEND a SML : M.S. (Juin - Juillet 1989)						PROJECT: OMVS/USAID FILE: 625-095B LOCATION: BAFOLABE 28	FIGURE: 27AA2B
TR-INDIF.	CS-SCHISTE	CS-INDIF	CI-PEL. 1B	CI-INDIF.	GEOLOGIC CROSS SECTION SECTION GEOLOGIQUE		
TR-EBOULIS	CS-GRES C	CI-ARGILITE	CI-1A/1B	CI-DOLERITE		USAID/DAKAR/SENEGAL	
TR-ALLUV.	CS-GRES B	CI-GRES 0	CI-GRES 2	CI- ?			
TR-SA/LAT.	CS-GRES A	CI-GRES 1A	CI-SCH. 3	CI- ?			

111



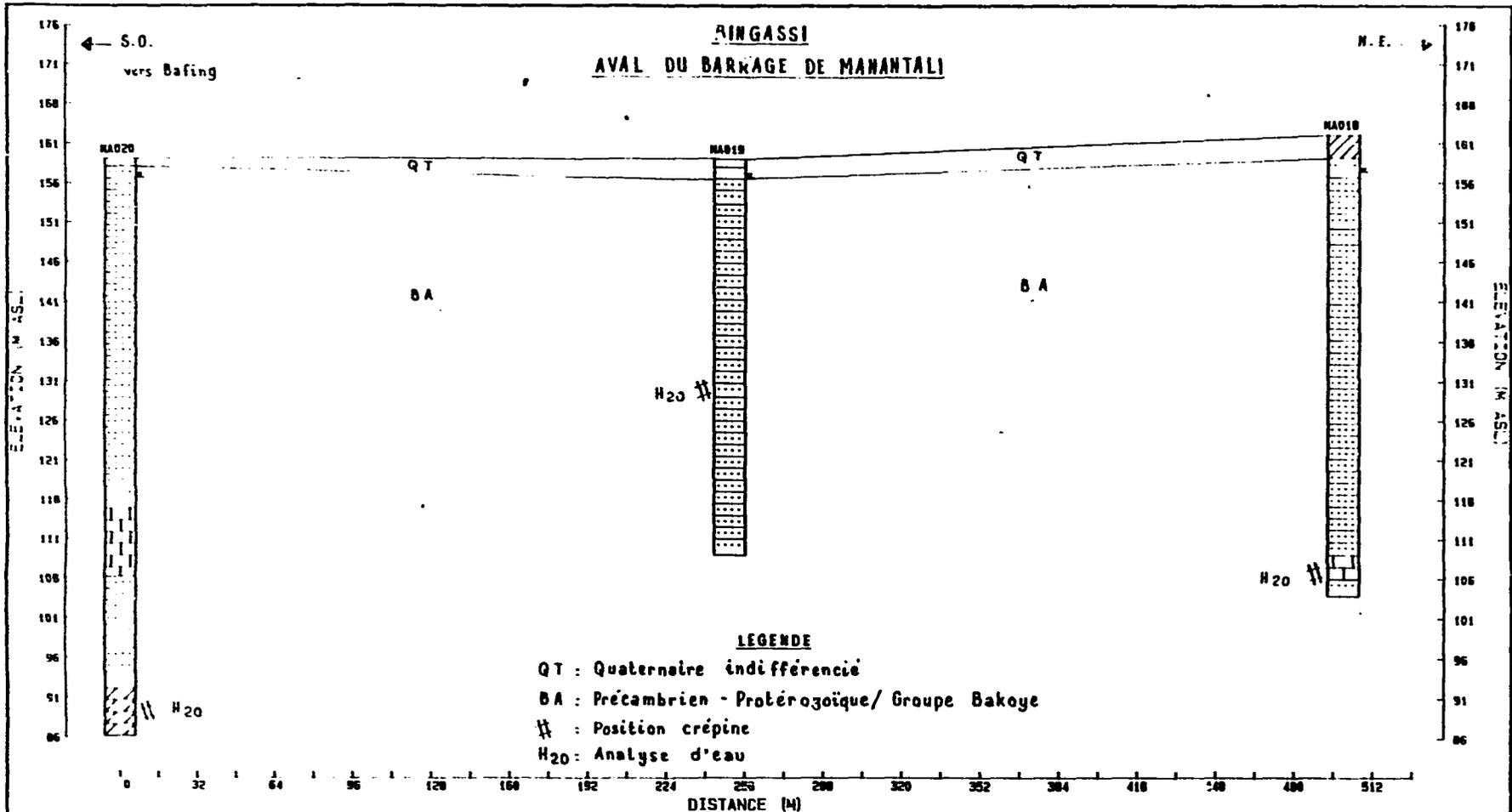
LEGENDE a SMI : N.S. (Mars - Avril 1989)					PROJECT: OMVS/USAID	FIGURE: 27CC2A GEOLOGIC CROSS SECTION SECTION GEOLOGIQUE
TH-INDIF	CS-SCHISTE	CS-INDIF.	CI-PEL. 1B	CI-INDIF.	FILE: 625-0958	
TH-FBOULIS	CS-GRES C	CI-ARGILITE	CI-1A/1B	CI-DOLERITE	LOCATION: BAFOLABE 2A	
IR ALLUV.	CS-GRES B	CI-GRES 0	CI-GRES 2	CI- ?	USAID/DAKAR/SENEGAL	
TH-SA/LAT.	CS-GRES A	CI-GRES 1A	CI-SCH. 3	CI- ?		

171



LEGEND a SWL : N.S. (Mai 1988)				PROJECT: OMVS/USAID	
	TR-INDIF.		CS-SCHISTE		CI-INDIF.
	TR-EBOULIS		CS-GRES C		CI-DOLERITE
	TR-ALLUV.		CS-GRES B		CI- ?
	TR-SA/LAT.		CS-GRES A		CI- ?
	CS-INDIF.		CI-ARGILITE		CI-PEL. 1B
	CI-INDIF.		CI-GRES 0		CI-1A/1B
	CI-INDIF.		CI-GRES 1A		CI-GRES 2
	CI-INDIF.		CI-SCH. 3		
				FILE: 625-0958	
				LOCATION: BAFOLABE 1B	
				USAID/DAKAR/SENEGAL	
				FIGURE: 27AA1B	
				GEOLOGIC CROSS SECTION SECTION GEOLOGIQUE	

9/11



LEGENDE
 QT : Quaternaire indifférencié
 BA : Précambrien - Protérozoïque/ Groupe Bakoye
 H₂O : Analyse d'eau

LEGEND		S.W. N.S. (26 Novembre 1968)		PROJECT: OMVS/USAID		FIGURE: 27AA2C	
TR INDIF.	CS-SCHISTE	CS-INDIF.	CI-PEL. 1B	CI-INDIF.	FILE: 625-0958	GEOLOGIC CROSS SECTION	
TR EBOLUIS	CS-GRES C	CI-ARGILITE	CI-1A/1B	CI-DOLERITE	LOCATION: SAFOULABE 2C	SECTION GEOLOGIQUE	
TR ALLUV	CS-GRES B	CI-GRES 0	CI-GRES 2	CI- ?	USAID/DAKAR/SENEGAL		
TR SA/LAT.	CS-GRES A	CI-GRES 1A	CI-SCH. 3	CI- ?			

REPertoire HYDROGEOLOGIQUE

**CARTE TOPOGRAPHIQUE 1:200,000
27 BAFOLAE**

- Analyses d'eau:**
- * Commentaires pratiques**
 - * Résultats des analyses/ fiches signalétiques**
 - * Représentations graphiques**

ANNEXE 3

117

GUIDE PRATIQUE

Toutes les représentations graphiques des résultats d'analyses chimiques des eaux et les tableaux présentant les résultats sont issus du logiciel GROUNDWATER/CHEMISTRY. Malgré son origine anglophone, il n'est pas apparu nécessaire de développer un guide lexicologique pour la lecture des graphiques.

Le système GFS peut imprimer la fiche signalétique relative aux résultats d'analyses d'eau pour un piézomètre spécifique. Cette fiche, plus complète, regroupe des résultats d'analyses inutilisés dans les représentations graphiques.

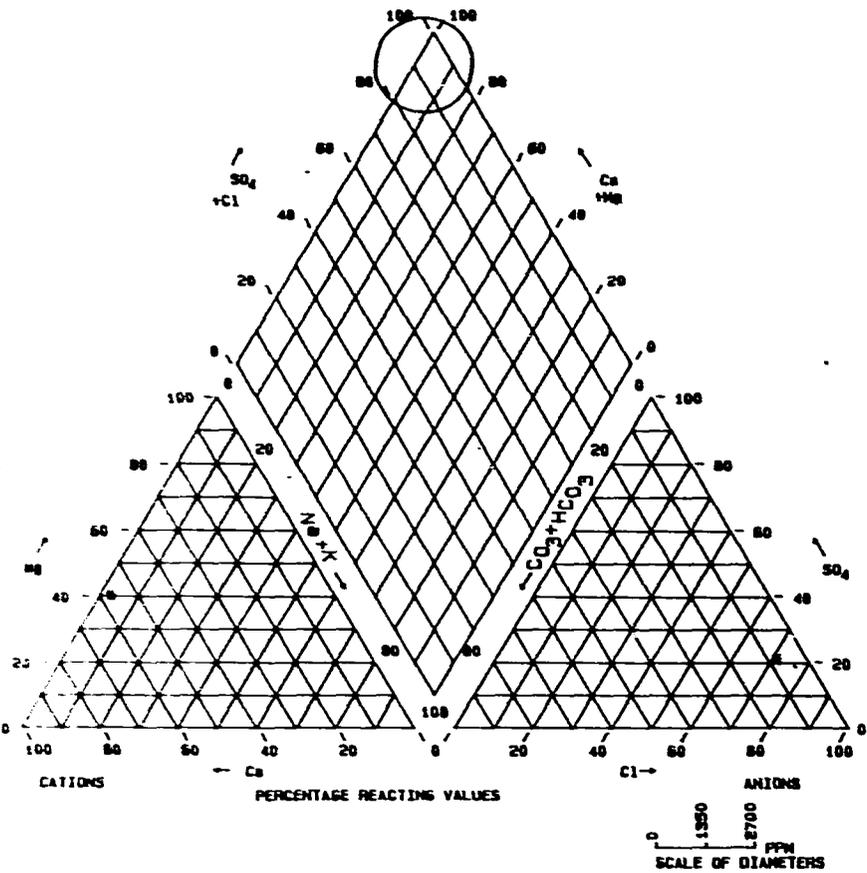
Le lecteur notera que le numéro de la figure des représentations graphiques correspond au numéro du piézomètre sur lequel l'échantillon d'eau a été prélevé ou la proximité du lieu où un échantillon de surface a été prélevé.

Le lecteur trouvera ci-après, la liste exhaustive de tous les fichiers traités dans le cadre de cette annexe, correspondant à autant de piézomètres regroupés dans les limites de la carte topographique 1/200,000 concernée.

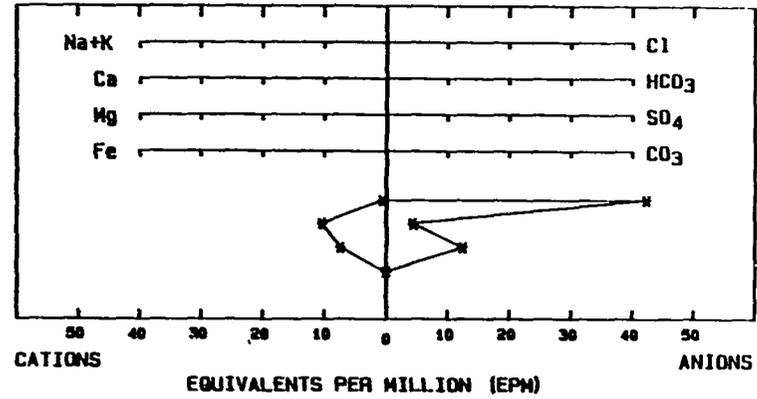
Tous les piézomètres, traités dans cette annexe, sont localisés sur la carte 1/200,000 accompagnant ce document.

La liste exhaustive des piézomètres relative à cette carte résulte de l'exploitation d'un logiciel utilitaire XTREE.

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

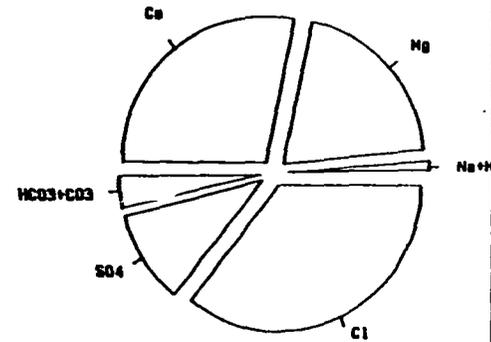


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADII
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



NOTE: ERROR (IF ANY) IN CATION/ANION
BALANCE HAS BEEN REMOVED

PROJECT: OMYS/USAID
FILE: 625-0958
LOCATION: BAFOLABE 2C

SAMPLE: MA020 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA020

119

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: CMVS/USAID
 LOCATION: BAFOLABE 2C

FILE: 625-0958

WELL NO.: MA020 08/02/89

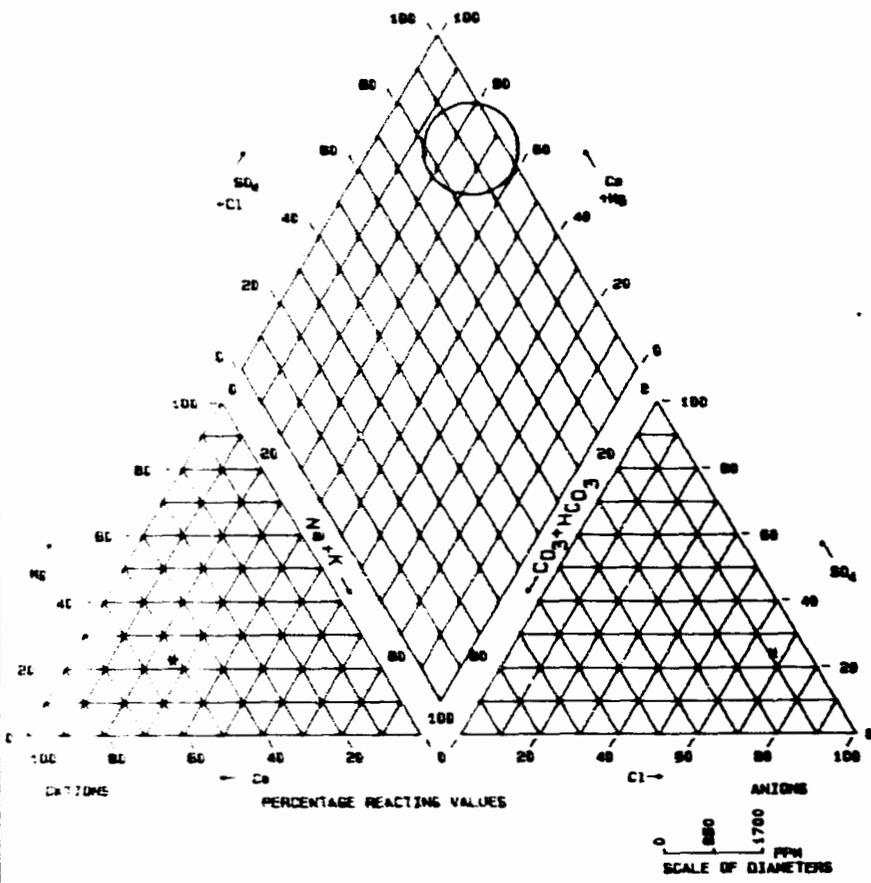
CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	206.00	10.28	56.85
Mg	88.78	7.30	40.38
Na+K	17.50	0.50	2.77

ANIONS	PPM	EPM	% EPM
HCO ₃ +CO ₃	278.00	4.46	7.53
SO ₄	500.00	12.49	21.08
Cl	1500.00	42.30	71.39

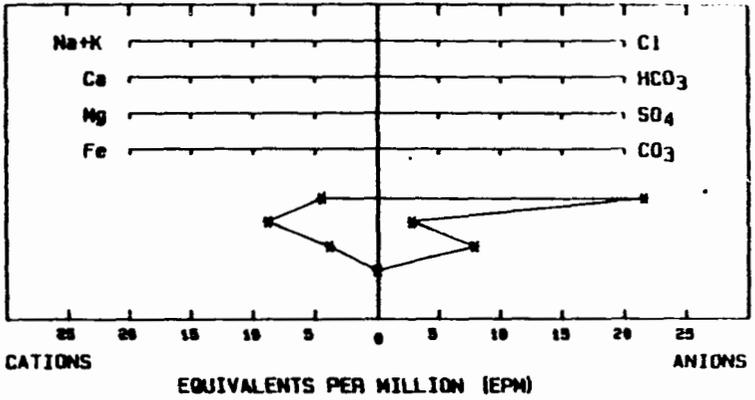
TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
 ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 53.24 %
 SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.04

LABORATORY/GENERAL

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

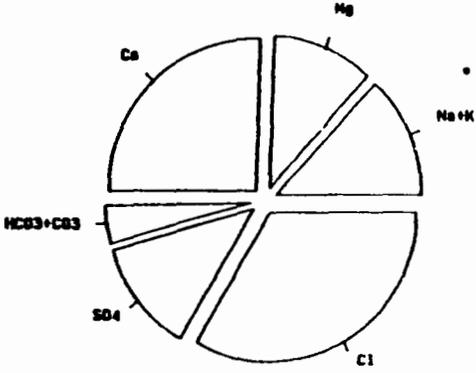


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADII
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



NOTE ERROR (IF ANY) IN CATION/ANION
BALANCE HAS BEEN REMOVED

PROJECT DMV/USAID
FILE 625-0958
LOCATION SAFOULABE 2C

SAMPLE: MA019 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA019

12/1

INVENTORY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID
 LOCATION: BAFOULABE 20

FILE: 625-0958

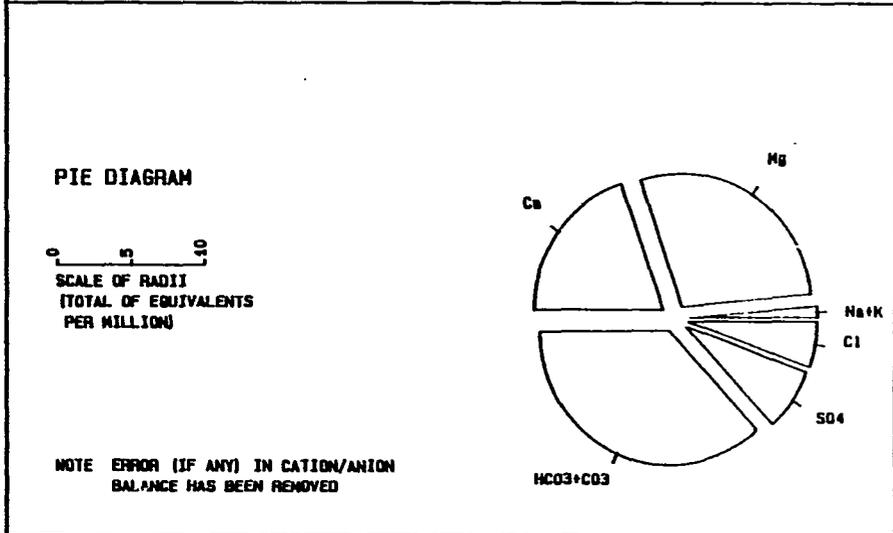
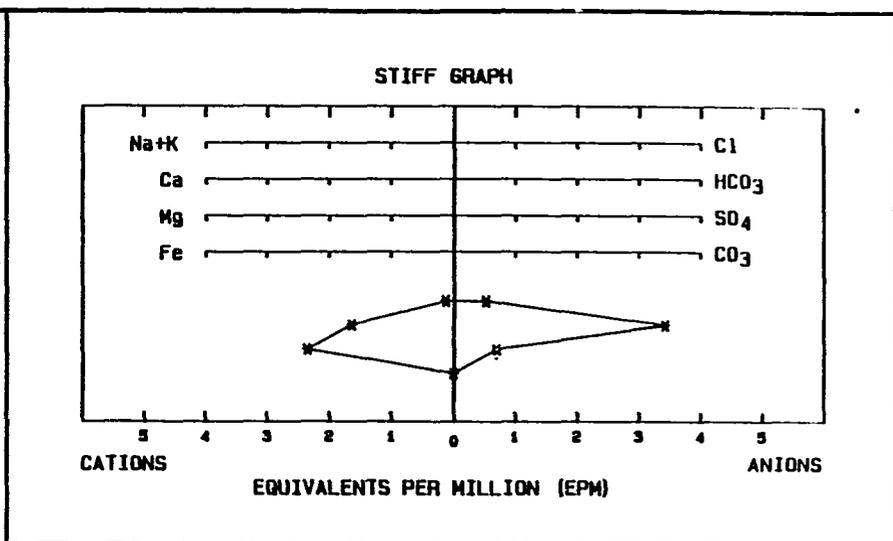
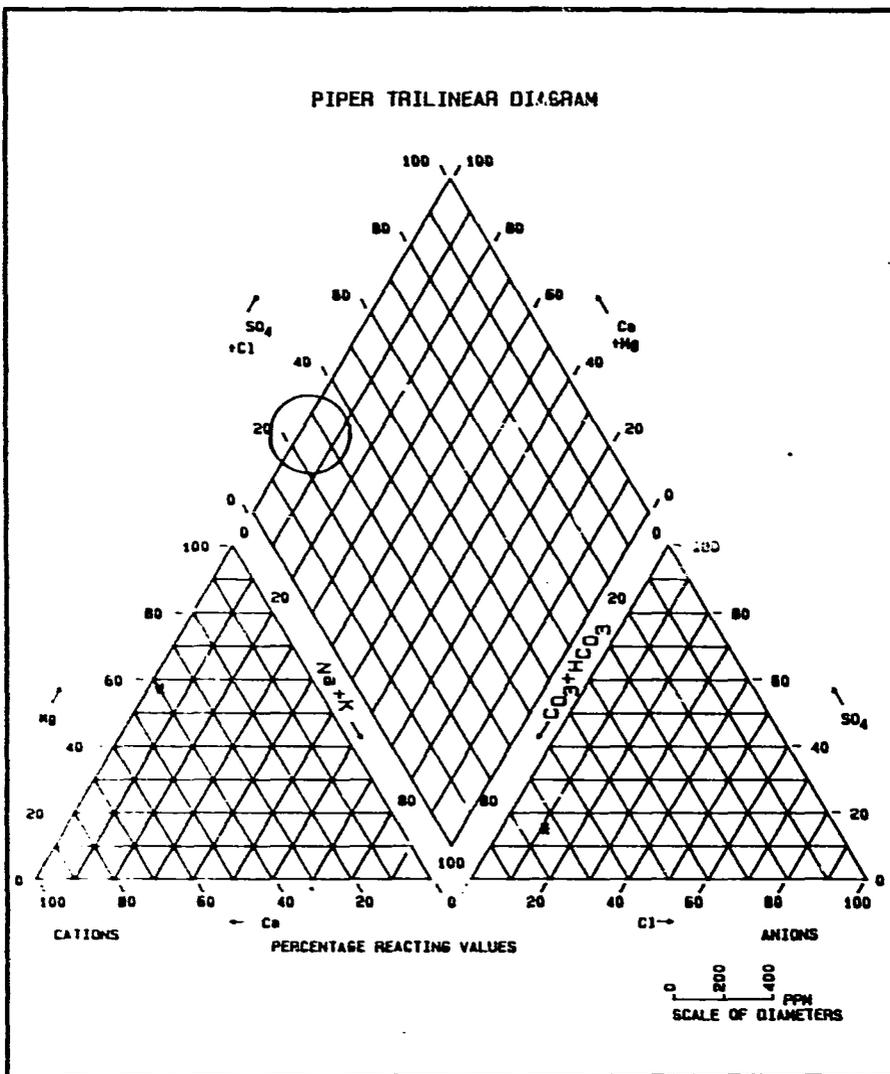
WELL NO.: 74019 08/02/89

CATIONS	PPM	ERM	% ERM
Ca	177.10	8.84	51.38
Mg	47.06	3.87	22.50
Na+K	105.50	4.43	26.11

ANIONS	PPM	ERM	% ERM
HCO ₃ ⁻	171.00	8.32	3.72
SO ₄ ⁻²	15.00	7.50	27.49
Cl	765.00	21.57	26.78

TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
 ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 30.50 %
 SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 1.73

USAID, DAKAR/SENEGAL



PROJECT: DMVS/USAID
 FILE: 625-095B
 LOCATION: BAFOLABE 2C

SAMPLE: MA018 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA018

123

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID
LOCATION: BAFQULABE 20

FILE: 625-0958

WELL NO.: MA018 08/02/89

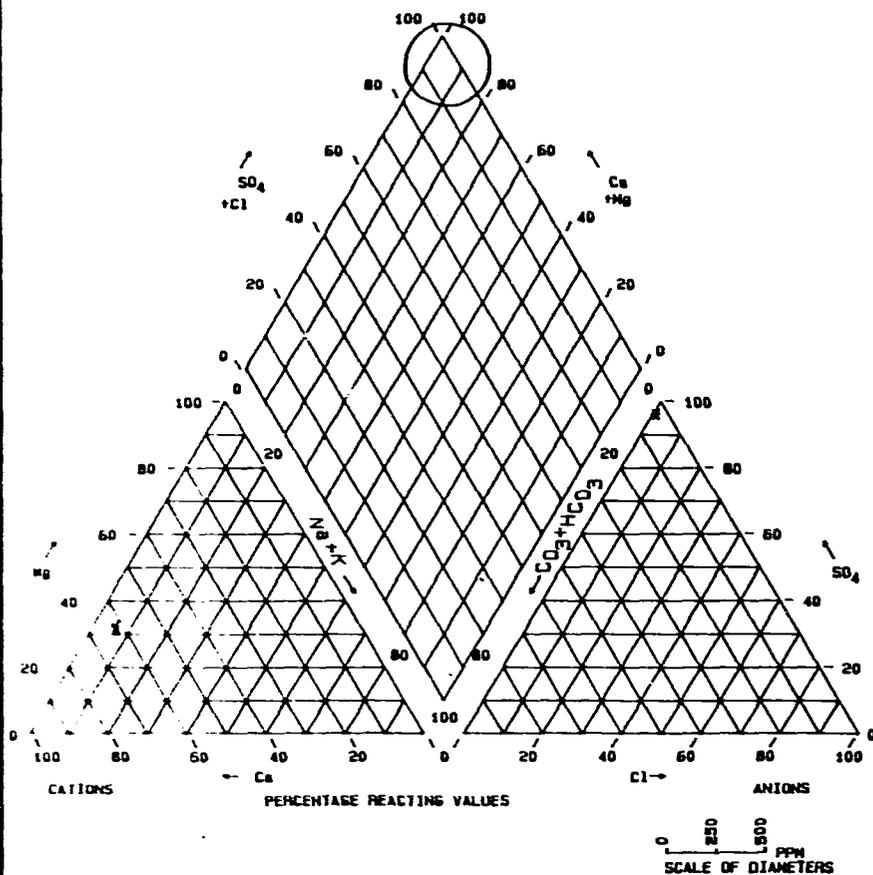
CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	32.80	1.64	39.73
Mg	28.68	2.36	57.25
Na+K	3.40	0.12	3.02

ANIONS	PPM	EPM	% EPM
HCO3+CO3	209.00	3.43	73.69
SO4	33.70	0.70	15.09
Cl	18.50	0.52	11.22

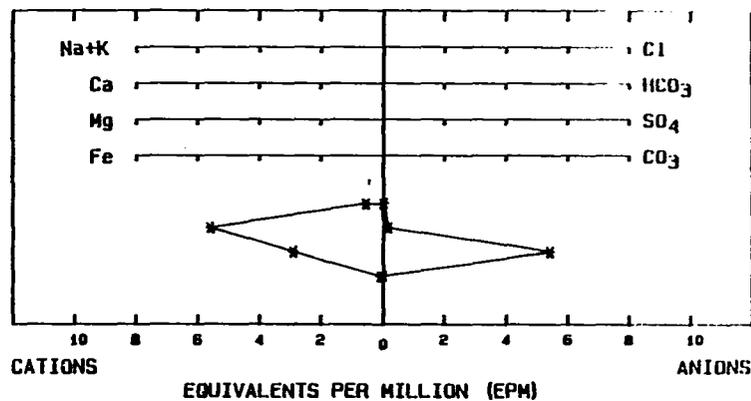
TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 6.05 %
SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.06

USAID/DAKAR/SENEGAL

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

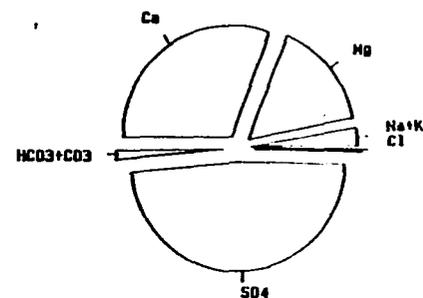


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADII
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



NOTE: ERROR (IF ANY) IN CATION/ANION
BALANCE HAS BEEN REMOVED

PROJECT: OMYS/USAID
FILE: 625-095B
LOCATION: BAFOLABE 1B

SAMPLE: MA017 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA017

25

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID
LOCATION: BAFDULABE 1B

FILE: 625-0958

WELL NO.: MAQ17 08/02/89

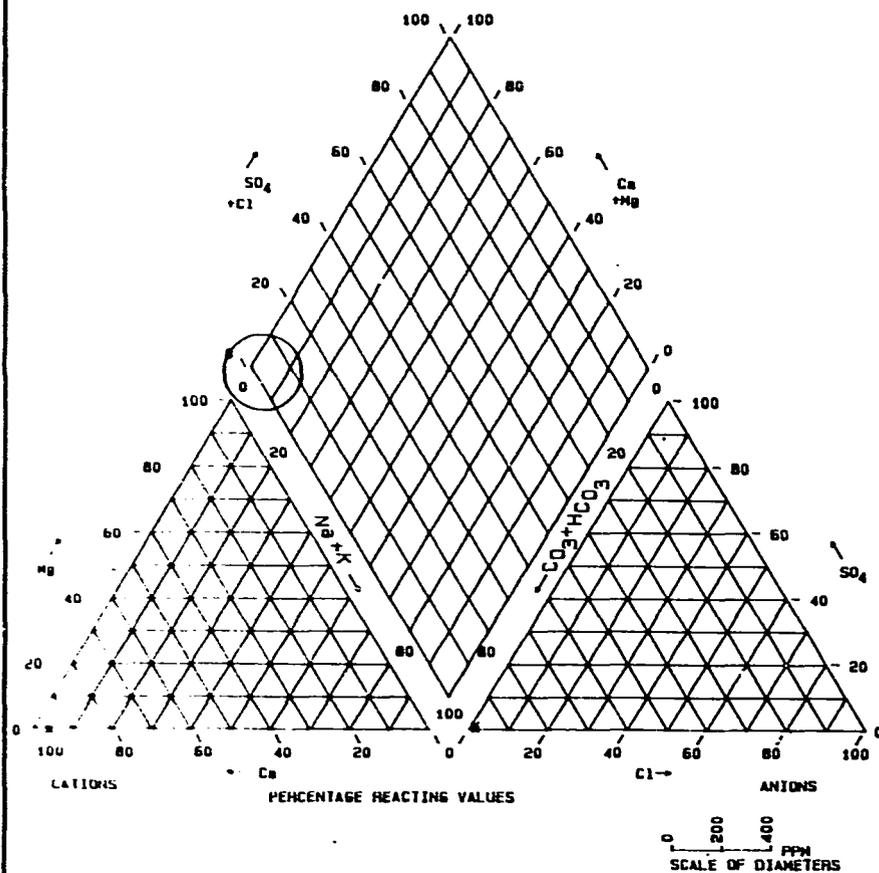
CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	112.20	5.60	62.10
Mg	35.05	2.88	31.97
Na+K	13.90	0.53	5.93

ANIONS	PPM	EPM	% EPM
HCO3+CO3	10.70	0.18	3.11
SO4	250.00	5.41	95.13
Cl	1.50	0.04	0.75

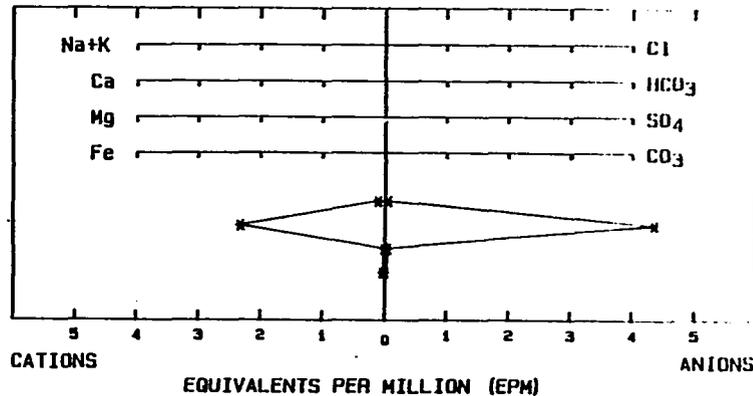
TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 23.35 %
SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.21

USAID/DAKAR/SENEGAL

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

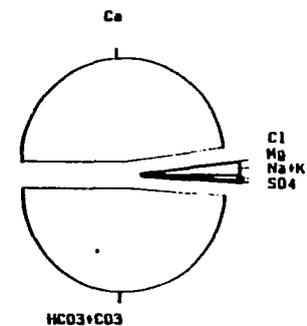


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADII
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



NOTE: ERROR (IF ANY) IN CATION/ANION
BALANCE HAS BEEN REMOVED

PROJECT: OMVS/USAID
FILE: 625-0958
LOCATION: BAFORABE 18

SAMPLE: MA016 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA016

127

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: CMVS/USAID
LOCATION: BAFOLABE 1B

FILE: 625-0958

WELL NO.: MA016 08/02/89

CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	46.50	2.32	95.84
Mg	0.02	0.00	0.07
Na+K	2.40	0.10	4.09

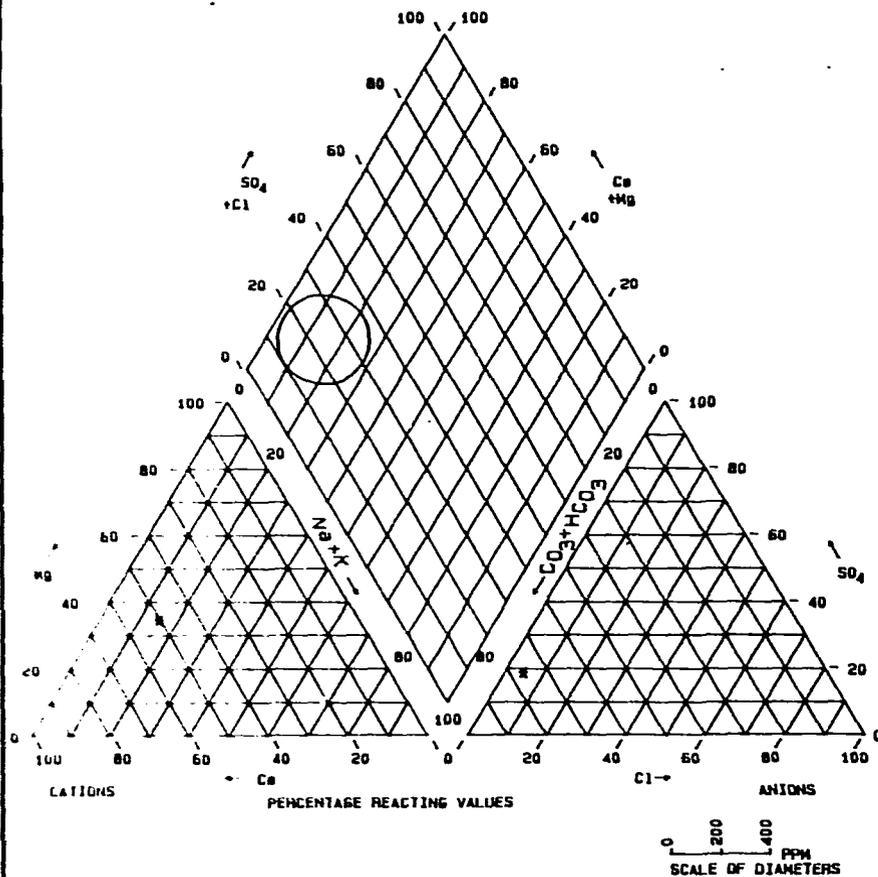
ANIONS	PPM	EPM	% EPM
HCO ₃ +CO ₃	211.00	4.20	97.80
SO ₄	2.00	0.04	0.93
Cl	2.00	0.06	1.27

TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 29.06 %
SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.08

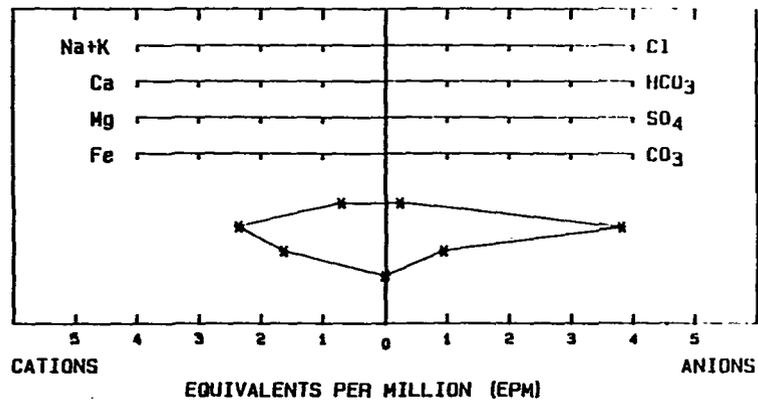
USAID/DAKAR/SENEGAL

128

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

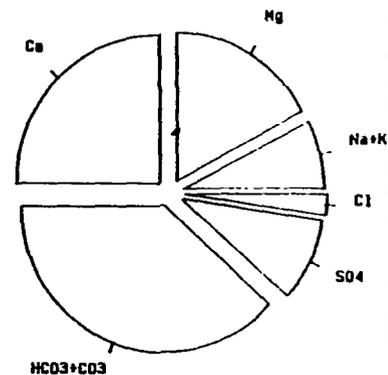


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADII
(TOTAL OF EQUIVALENTS PER MILLION)



NOTE ERROR (IF ANY) IN CATION/ANION BALANCE HAS BEEN REMOVED

PROJECT: DMVS/USAID
FILE: 625-0958
LOCATION: BAFOLABE 1B

SAMPLE: MA015 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA015

129

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID
LOCATION: BAFLOULABE 1B

FILE: 625-0958

WELL NO.: MA015 08/02/89

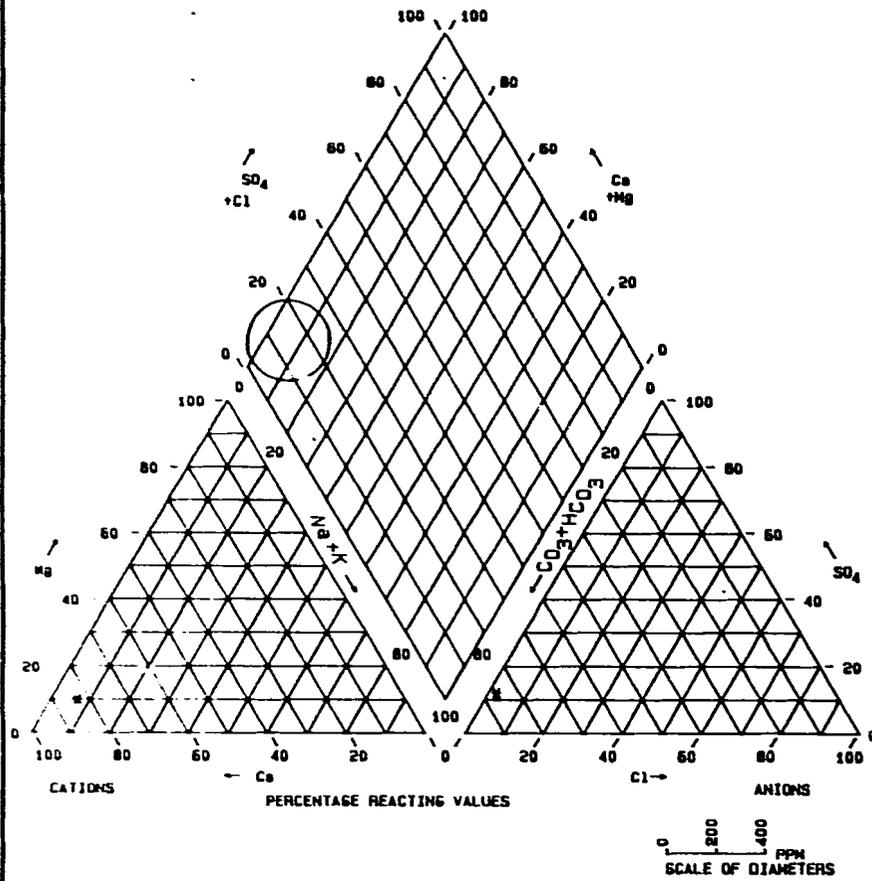
CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	47.30	2.36	50.15
Mg	19.88	1.63	34.74
Na+K	20.80	0.71	15.11

ANIONS	PPM	EPM	% EPM
HCO3+CO3	232.00	3.80	76.37
Cl	45.00	0.94	18.82
SO4	2.50	0.24	4.81

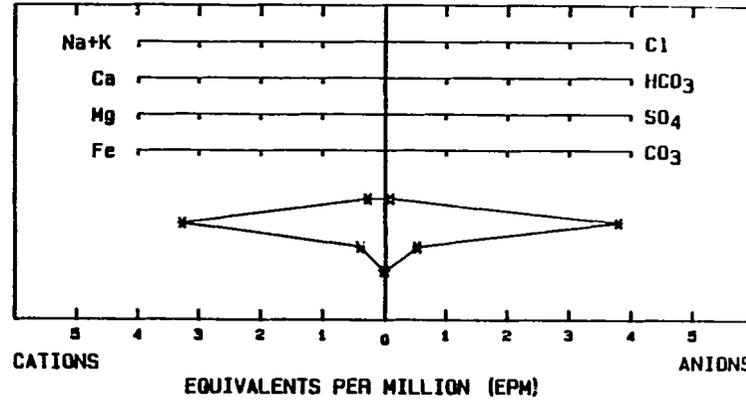
TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 2.92 %
SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.31

USAID/DAKAR/SENEGAL

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

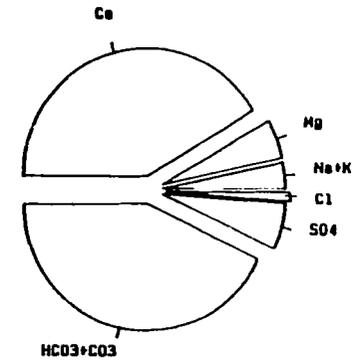


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADIUS
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



NOTE: ERROR (IF ANY) IN CATION/ANION
BALANCE HAS BEEN REMOVED

PROJECT: OMVS/USAID
FILE: 625-095B
LOCATION: BAFORABE 2A

SAMPLE: MA014 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA014

131

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID
LOCATION: BAFLOULABE 2A

FILE: 625-0958

WELL NO.: MA014 08/02/89

CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	65.70	3.28	83.07
Mg	4.84	0.40	10.09
Na+K	7.40	0.27	6.84

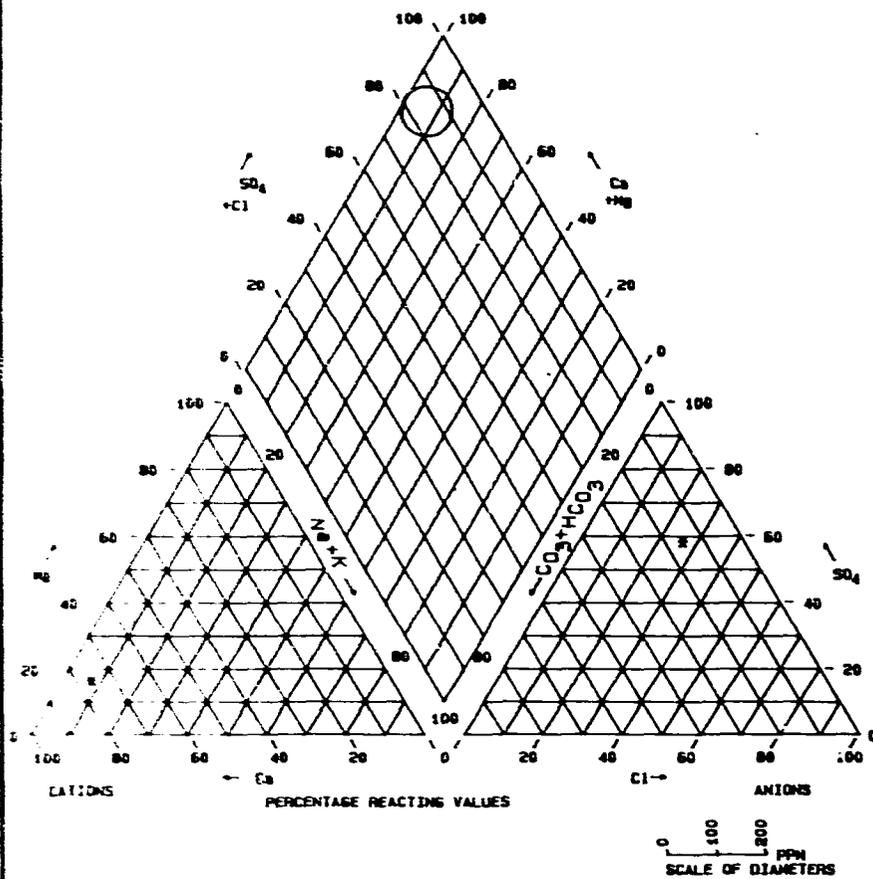
ANIONS	PPM	EPM	% EPM
-CO3+CO3	232.00	3.80	35.71
SO4	25.70	0.54	12.06
Cl	3.50	0.10	2.22

TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 5.67 %
SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.14

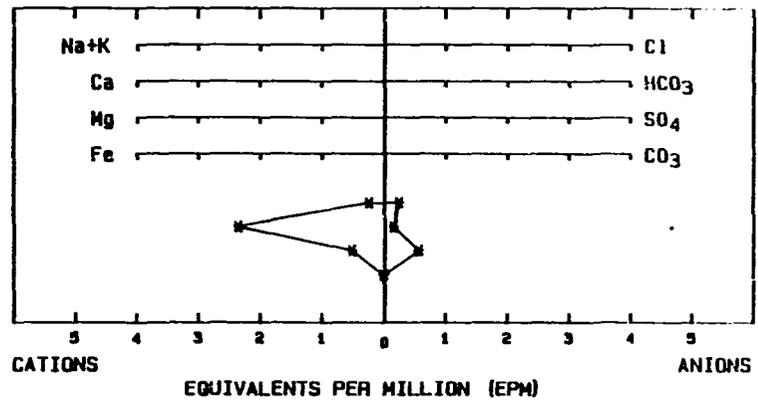
USAID/DAKAR/SENEGAL

132

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

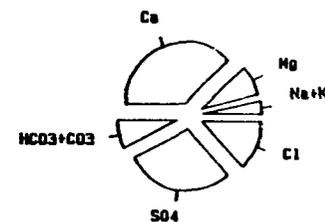


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADII
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



NOTE ERROR (IF ANY) IN CATION/ANION
BALANCE HAS BEEN REMOVED

PROJECT: OMYS/USAID
FILE: 625-0958
LOCATION: BAFOLABE 2A

SAMPLE: MA013 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA013

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID
LOCATION: BAFOULABE 2A

FILE: 625-0958

WELL NO.: MA013 08/02/89

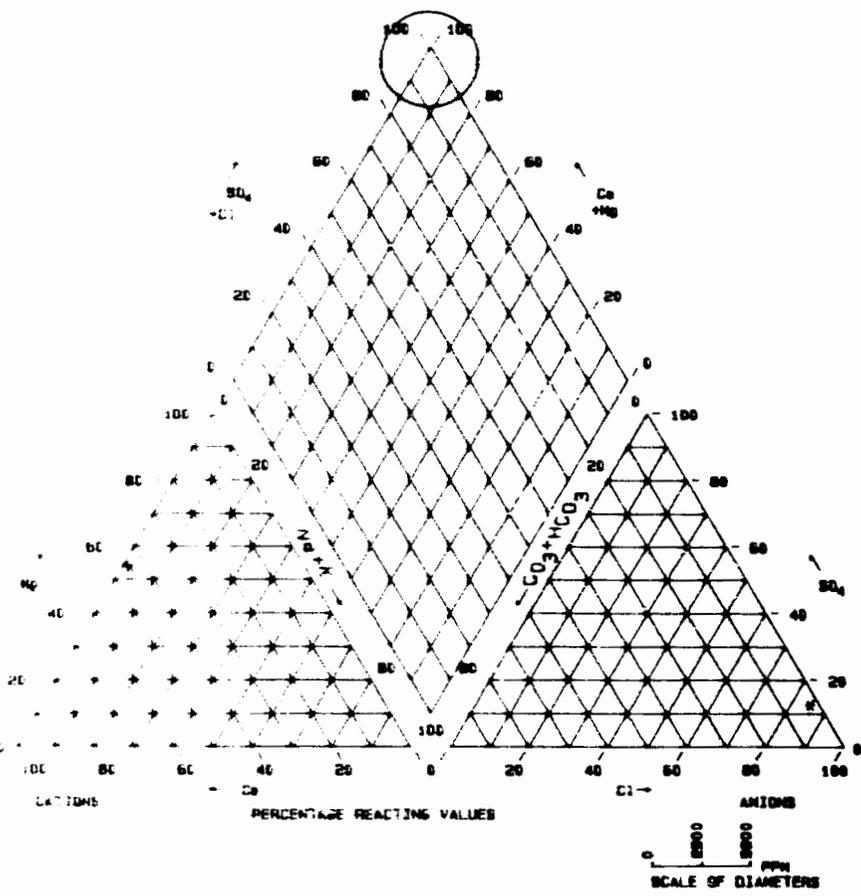
CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	47.30	2.36	75.87
Mg	6.28	0.52	16.60
Na+K	6.00	0.23	7.53

ANIONS	PPM	EPM	% EPM
HCO ₃ ⁻	2.00	.15	15.31
SO ₄ ⁻	27.00	0.58	58.35
Cl	3.00	0.25	26.34

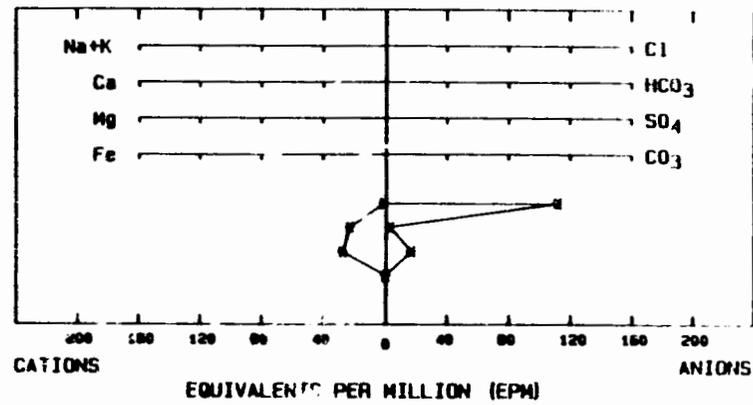
TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 52.75 %
SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.16

USAID/DAKAR/SENEGAL

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

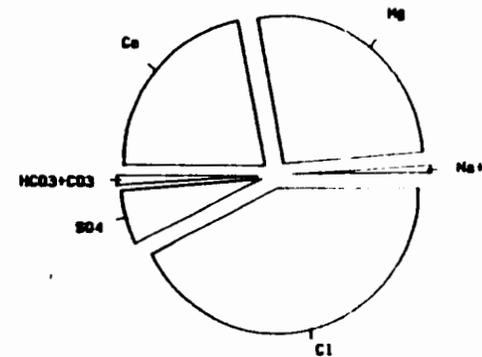


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADII
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



NOTE: ERROR (IF ANY) IN CATION/ANION
BALANCE HAS BEEN REMOVED

PROJECT DMVS/USAID
FILE 625-0958
LOCATION BAFOULABE 2A

SAMPLE: MA012 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA012

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: UMUS/USAID
 LOCATION: BAFOULABE 2A

DATE: 6/25/1958

WELL NO.: MA01E 8402133

CATIONS	PPM	PPM	% PPM
Ca	458.50	22.88	44.30
Mg	336.84	27.70	53.64
Na+K	40.10	1.06	2.06

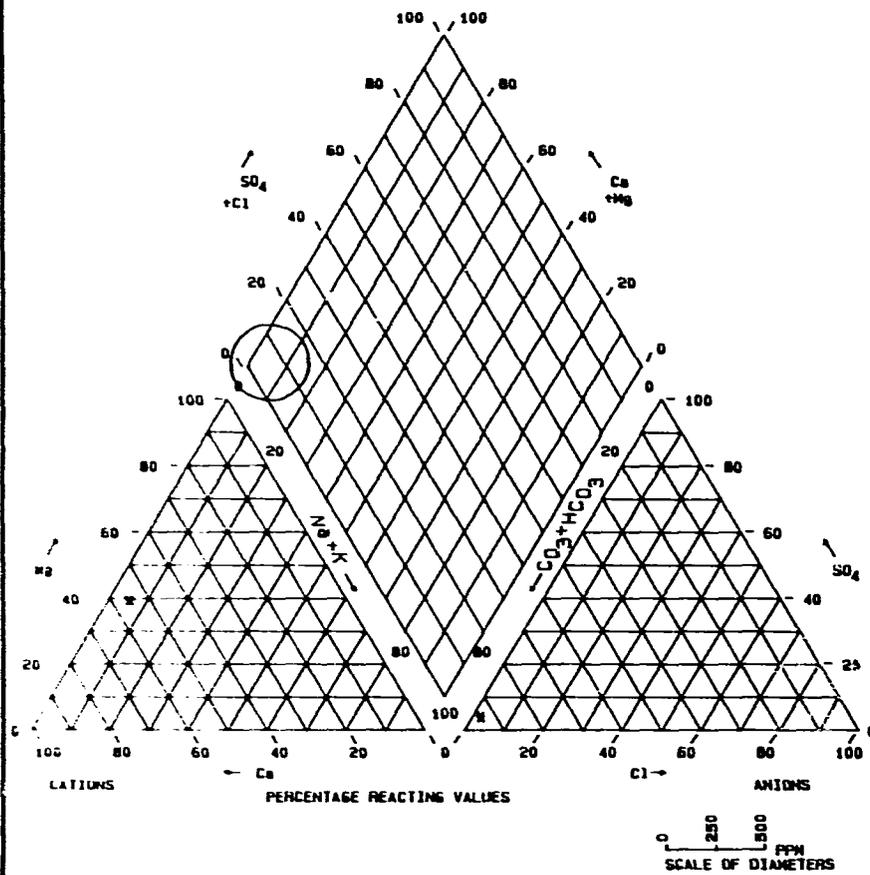
ANIONS	PPM	PPM	% PPM
HCO3+CO3	182.00	2.38	2.28
SO4	311.00	10.11	11.71
Cl	3950.00	111.21	45.01

TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
 ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 43.46 %
 SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.02

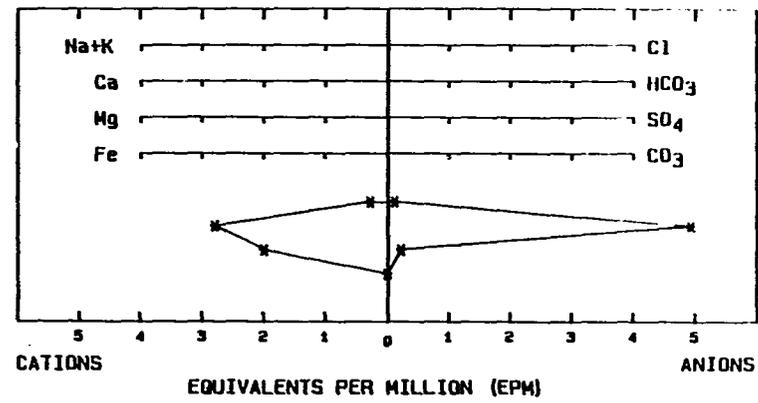
USAID/DAKAR/SENEGAL

12*

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

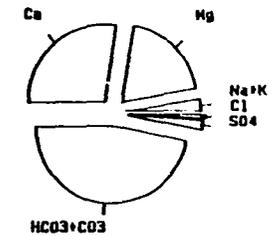


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADII
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



NOTE: ERROR (IF ANY) IN CATION/ANION
BALANCE HAS BEEN REMOVED

PROJECT: OMVS/USAID
FILE: 625-0958
LOCATION: BAFOULABE 2A

SAMPLE: MA011 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA011

137

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID
LOCATION: BAFOULABE 2A

FILE: 625-0958

WELL NO.: MA011 08/02/89

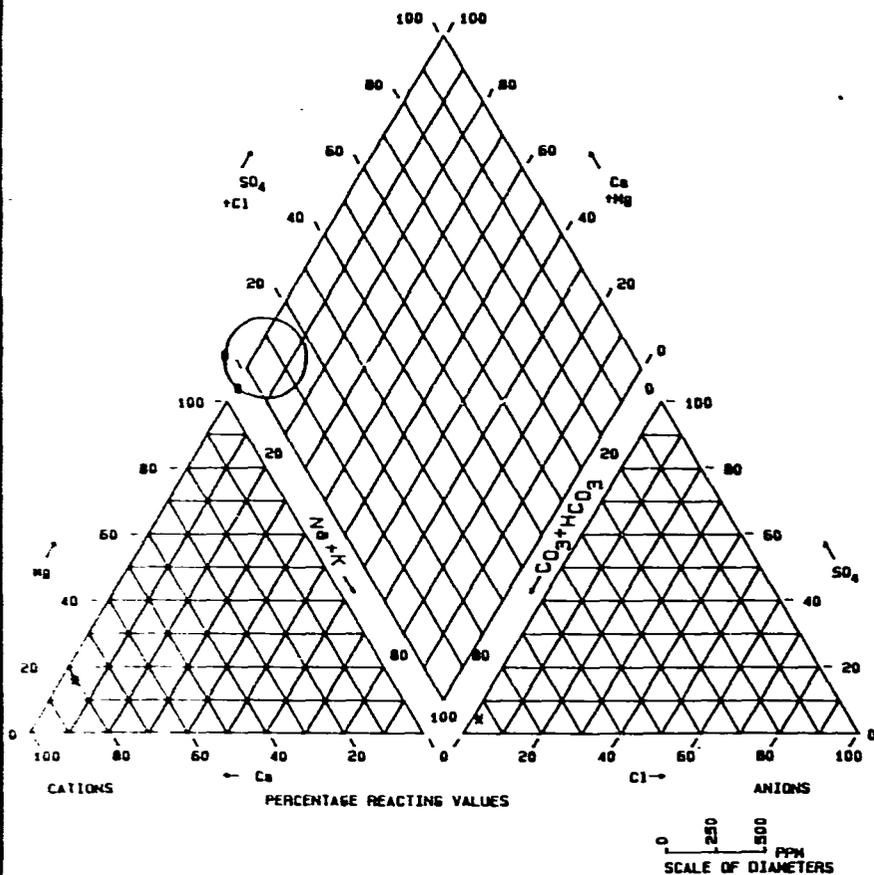
CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	56.10	2.80	55.19
Mg	24.26	2.00	39.34
Na+K	7.70	0.28	5.47

ANIONS	PPM	EPM	% EPM
SO4	301.00	4.91	93.71
CO3	10.50	0.22	4.15
Cl	4.00	0.11	2.14

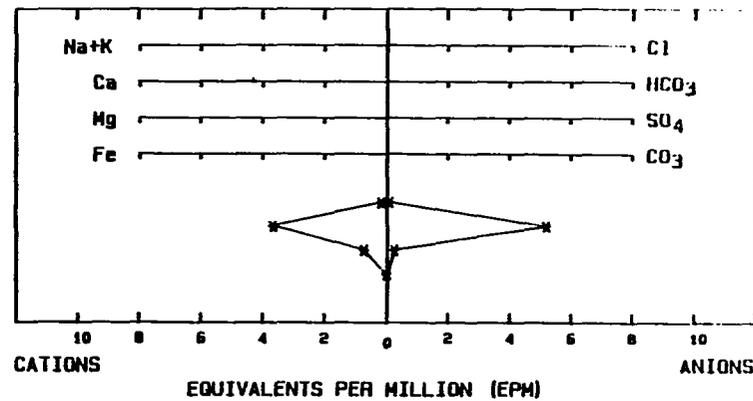
TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 1.88 %
SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.13

USAID/DAKAR/SENEGAL

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

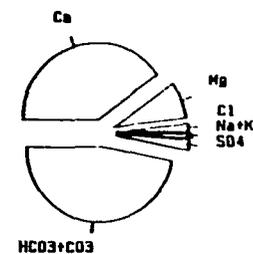


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADII
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



NOTE: ERROR (IF ANY) IN CATION/ANION
BALANCE HAS BEEN REMOVED

PROJECT: OMVS/USAID
FILE: 625-0958
LOCATION: BAFOLABE 2A

SAMPLE: MA010 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE MA010

139

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID
LOCATION: BAFOULABE 2A

FILE: 625-0958

WELL NO.: MA010 08/02/89

CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	73.70	3.68	80.28
Mg	8.91	0.73	16.00
Na+K	5.20	0.17	3.73

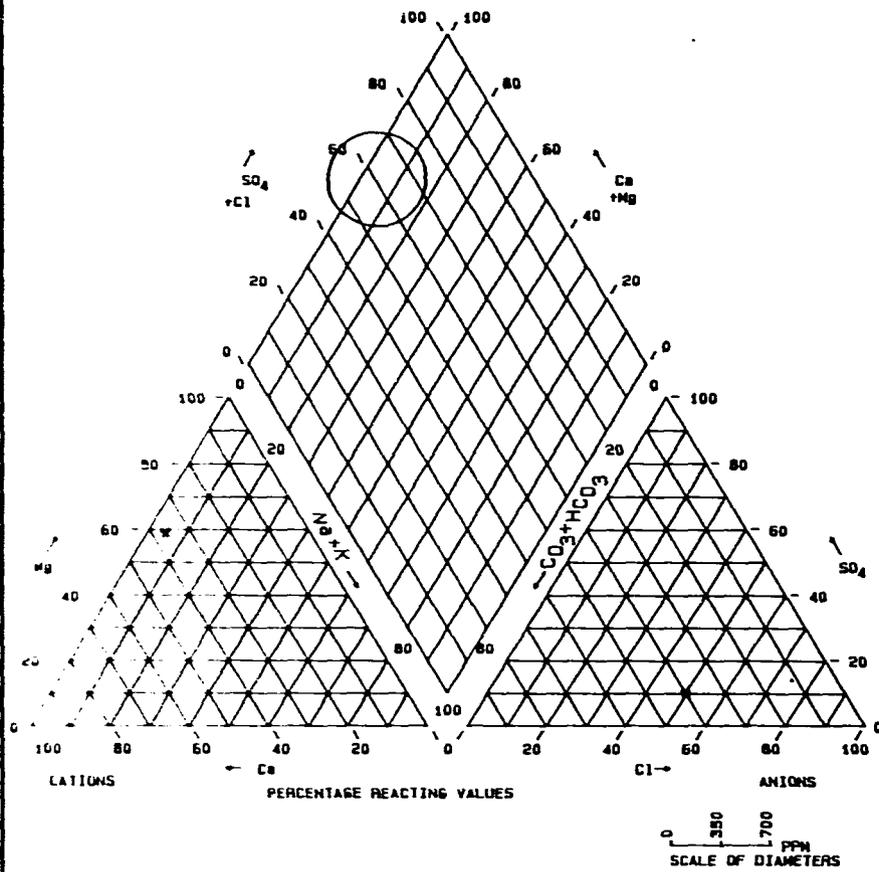
ANIONS	PPM	EPM	% EPM
HCO3+CO3	317.00	5.20	93.64
SO4	12.20	0.25	4.58
Cl	3.50	0.10	1.78

TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 9.55 %
SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.06

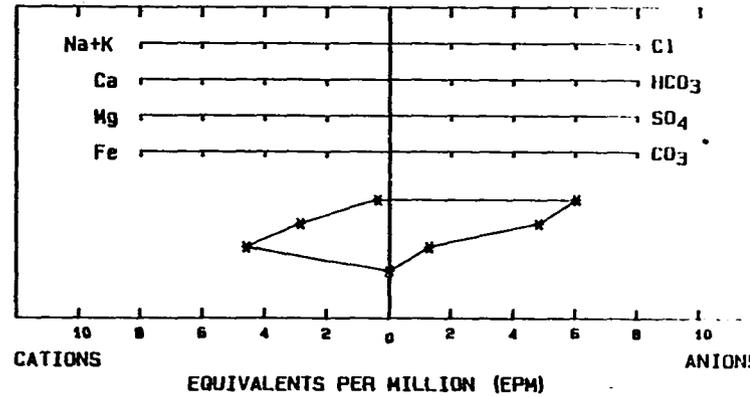
USAID/DAKAR/SENEGAL

140

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

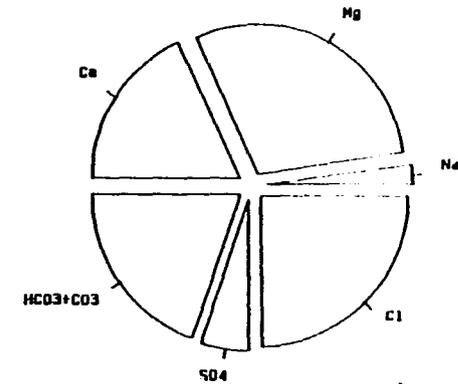


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADII
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



PROJECT: OMVS/USAID
FILE: 625-0958
LOCATION: BAFDULABE 2A

SAMPLE: MA009 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA009

141

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID
LOCATION: BAFLOULABE 2A

FILE: 625-0958

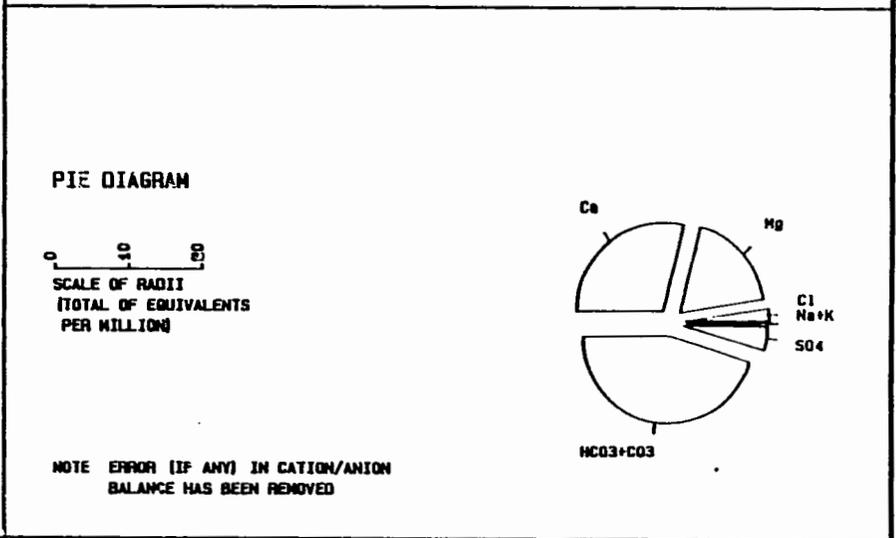
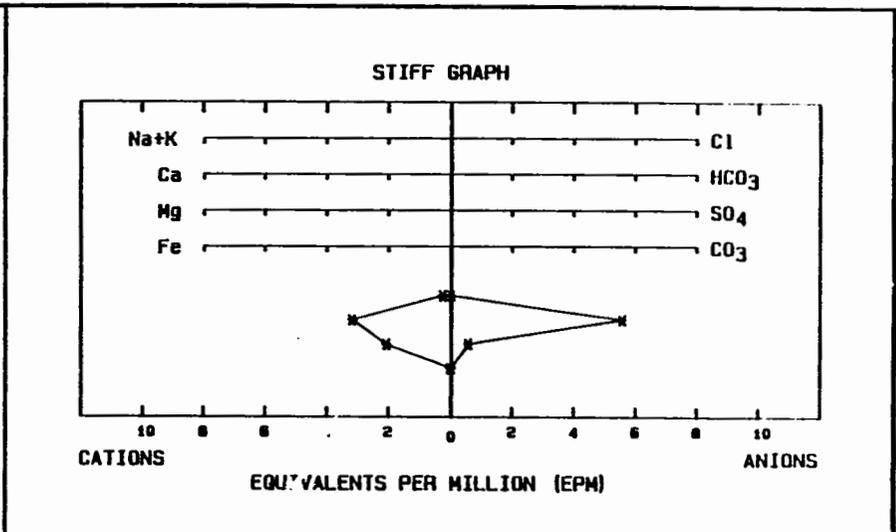
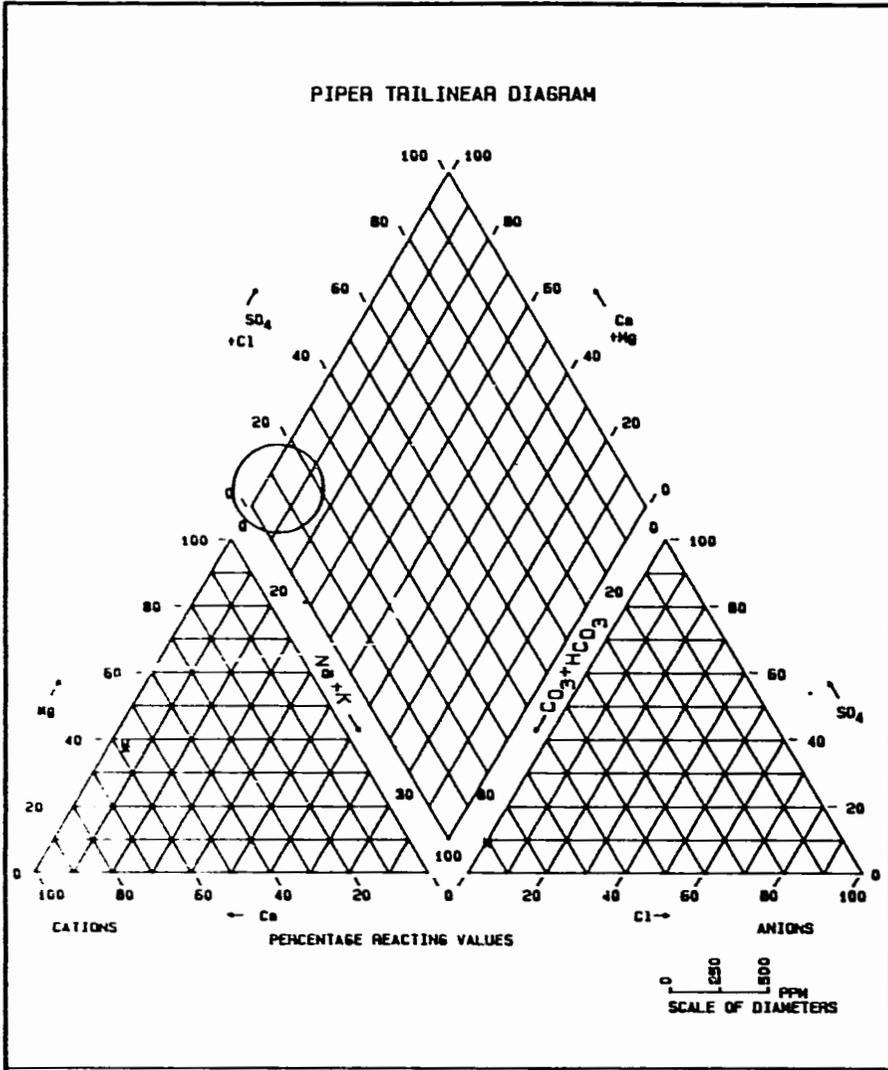
WELL NO.: MA009 08/02/89.

CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	56.90	2.94	36.48
Mg	55.83	4.59	59.00
Na+K	10.60	0.35	4.52

ANIONS	PPM	EPM	% EPM
HCO3+CO3	294.00	4.82	39.55
SO4	62.50	1.30	10.68
Cl	215.00	6.06	49.77

TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 22.05 %
SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.10

USAID/DAKAR/SENEGAL



PROJECT: DMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: BAFOLABE 2B

SAMPLE: MA008 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA008

143

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID FILE: 625-0958
 LOCATION: SAFDULABE 2B

WELL NO.: MA008 08/02/89

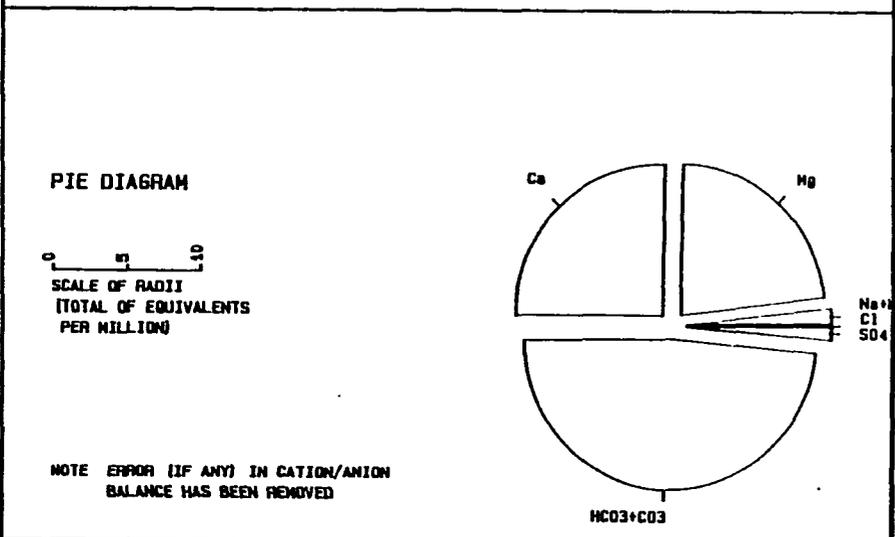
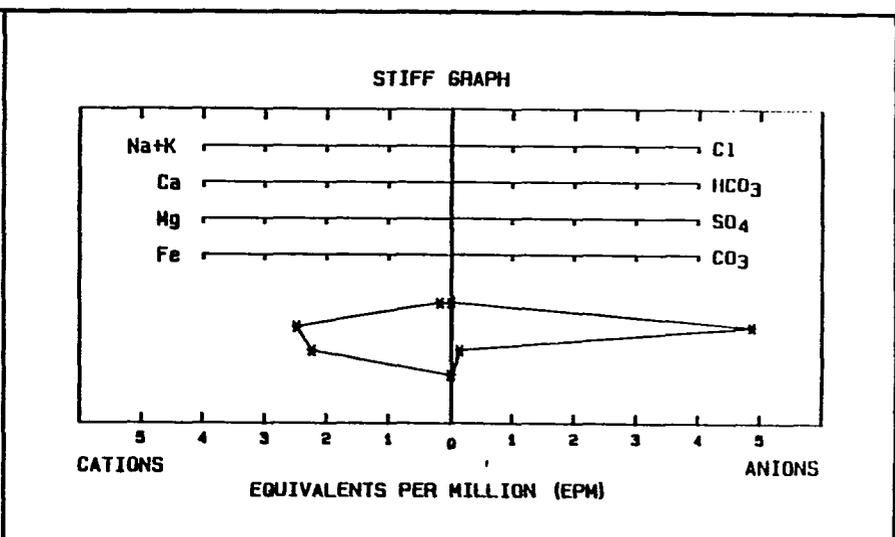
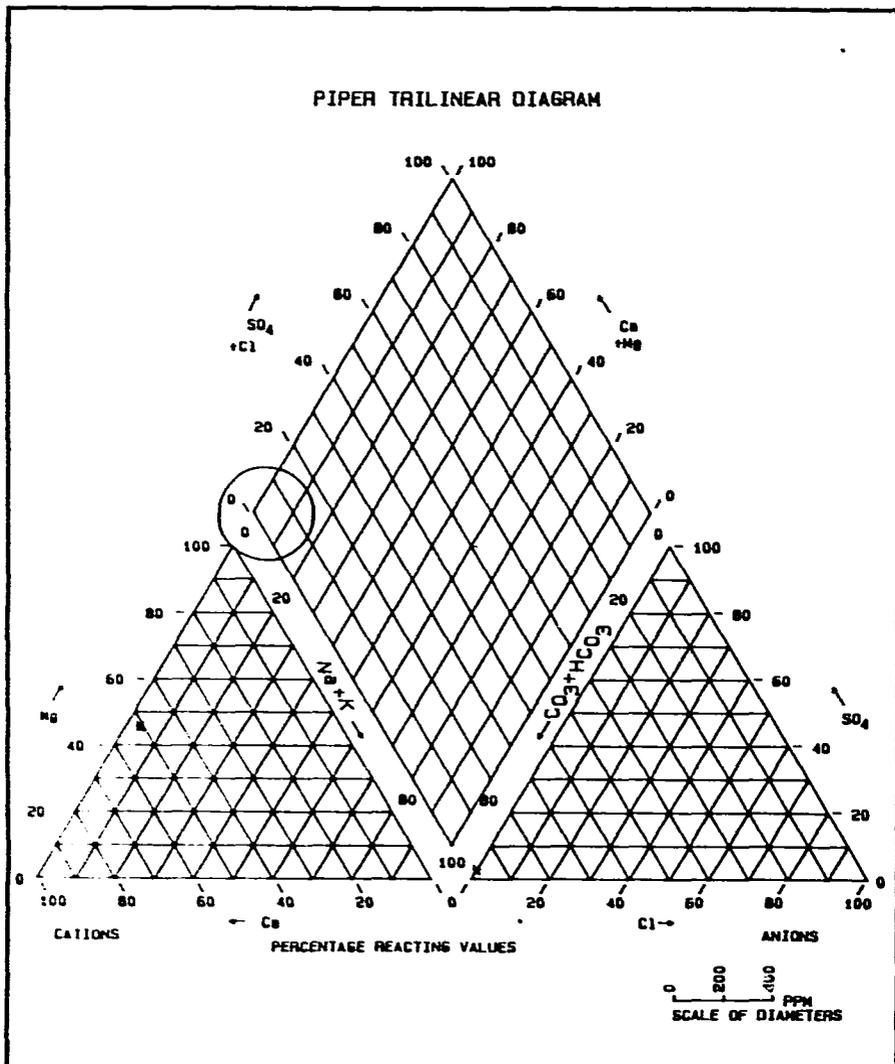
CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	64.10	3.20	57.85
Mg	25.24	2.08	37.54
Na+K	6.80	0.25	4.60

ANIONS	PPM	EPM	% EPM
HCO3+CO3	339.00	5.56	90.33
SO4	27.20	0.57	9.21
Cl	1.00	0.03	0.46

TOTAL DISSOLVED SOLIDS: 366
 ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 5.30 %
 SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.12

USAID/DAKAR/SENEGAL

144



PROJECT: OMYS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: BAFOLABE 2B

SAMPLE: MA007 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USA·ID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA007

145

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID
LOCATION: BAFOULABE 2B

FILE: 625-0958

WELL NO.: MA007 08/02/89

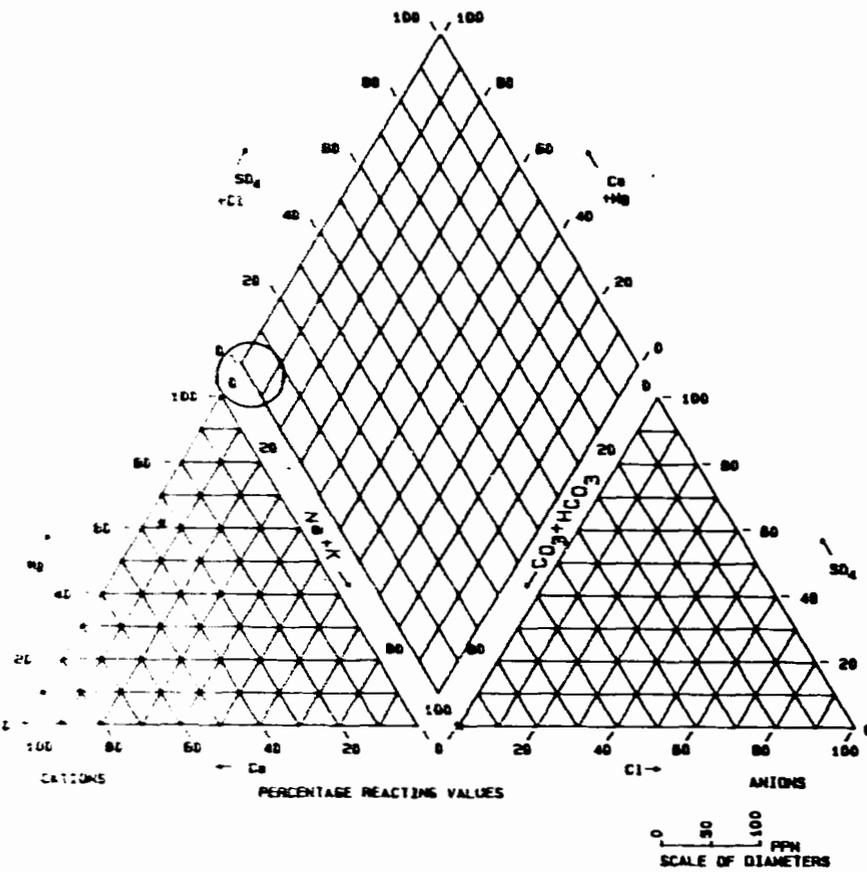
CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	49.70	2.48	50.66
Mg	27.17	2.23	45.64
Na+K	5.60	0.18	3.69

ANIONS	PPM	EPM	% EPM
PHOSPHORUS	297.00	4.87	97.09
SO4	7.00	0.15	2.91
Cl	0.00	0.00	0.00

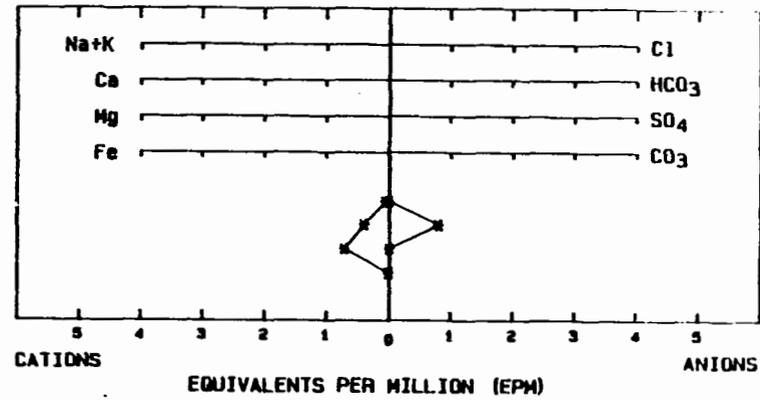
TOTAL DISSOLVED SOLIDS: .
ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 1.15 %
SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.06

USAID/DAKAR/SENEGAL

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

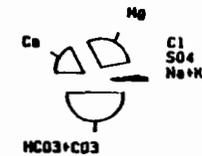


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADII
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



NOTE: ERROR (IF ANY) IN CATION/ANION
BALANCE HAS BEEN REMOVED

PROJECT: OMYS/USAID
FILE: 625-0958
LOCATION: BAFOULABE 28

SAMPLE: MA006 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA006

147

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID
 LOCATION: SAFOULABE 2B

FILE: 625-0958

WELL NO.: MA006 08/02/89

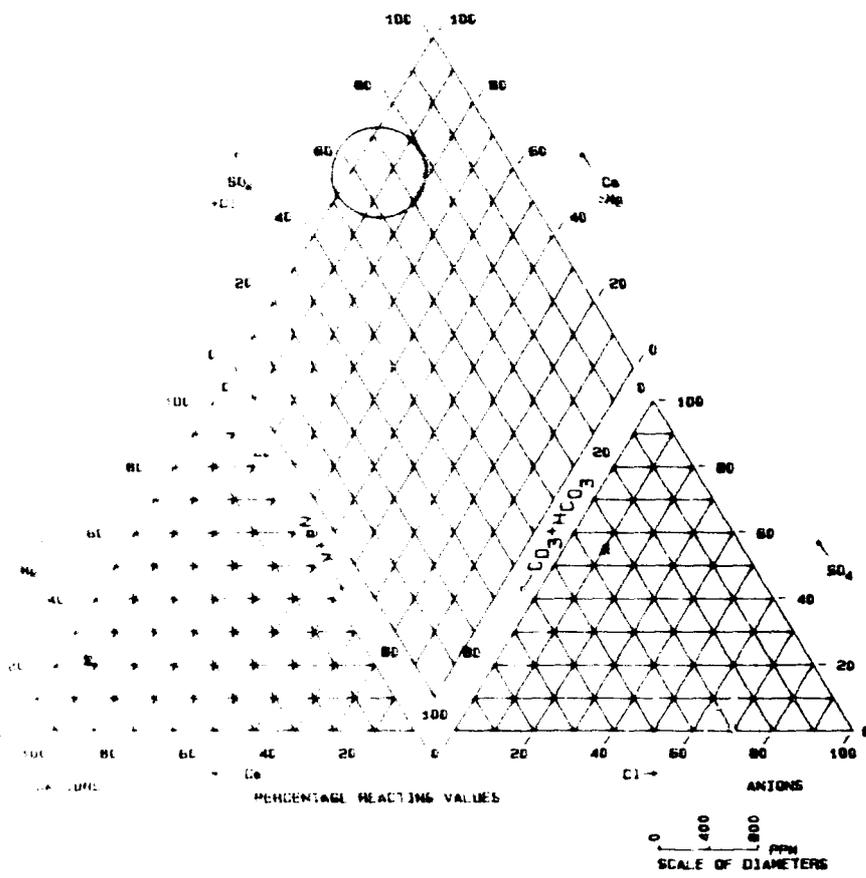
CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	8.00	0.40	34.05
Mg	8.75	0.72	61.37
Na+K	2.10	0.05	4.58

ANIONS	PPM	EPM	% EPM
HCO3+CO3	49.00	0.20	99.40
SO4	0.20	0.00	0.52
Cl	0.00	0.00	0.00

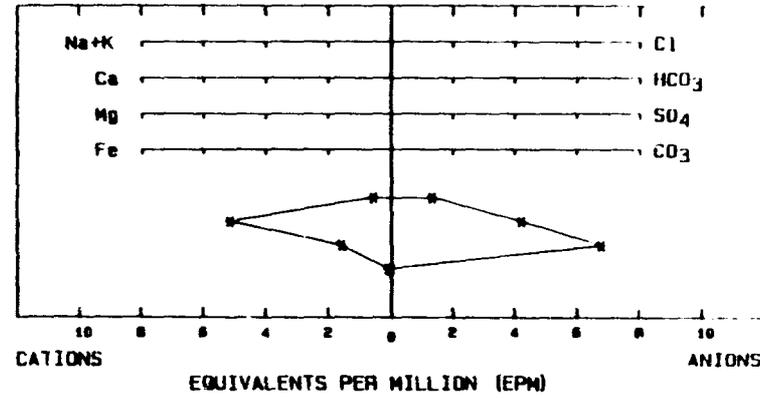
TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
 ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 18.26 %
 SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.00

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIPER TRILINEAR DIAGRAM

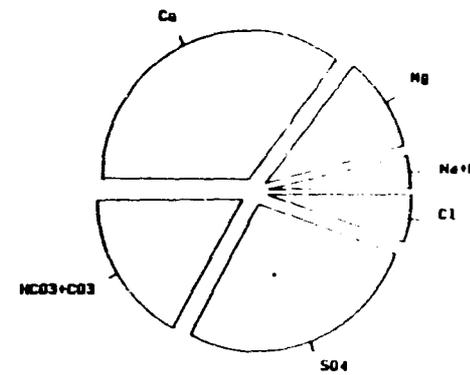


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADII
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



NOTE: ERROR (IF ANY) IN CATION/ANION
BALANCE HAS BEEN REMOVED

PROJECT: DMVS/USAID
WELL: 625 0958
LOCATION: BAFOLU ABT 2A

SAMPLE: MA005 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID - DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA005

11/14

WATER ANALYSIS REPORT

PROJECT: OMVS/USAID
 LOCATION: BAFOLUARE 30

FILE: 625-1258

WELL NO.: YAKO 15-1-83

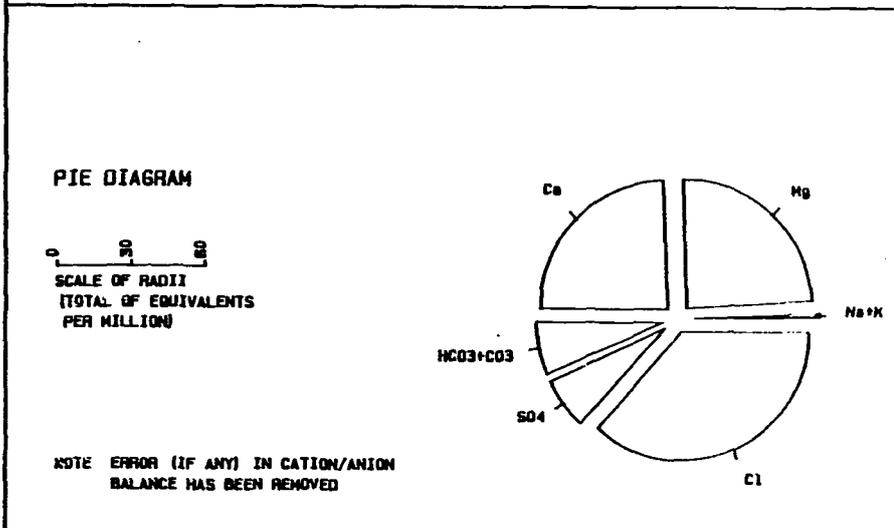
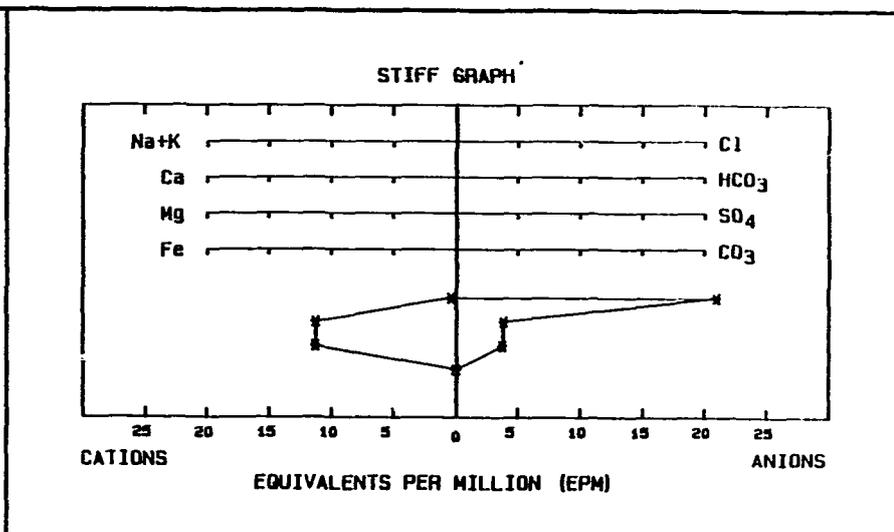
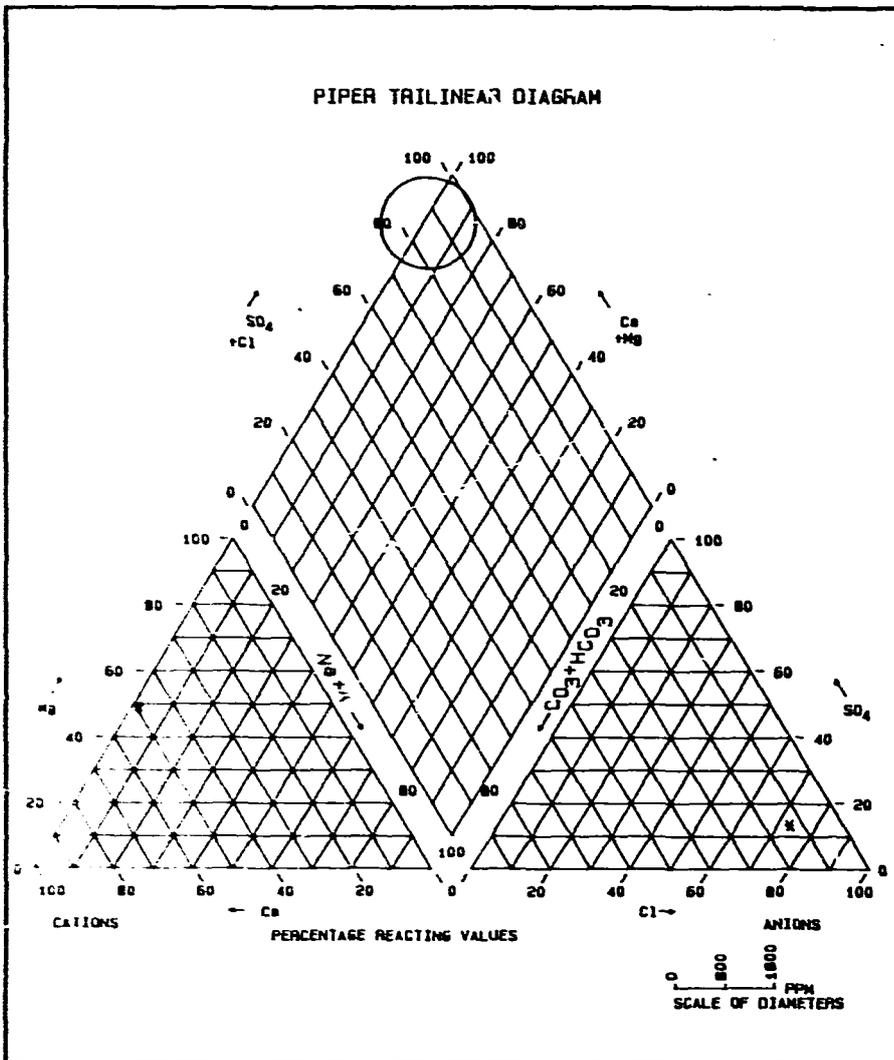
CATIONS	PPM	ECM	% ECM
Ca	103.40	5.16	70.89
Mg	19.14	1.57	21.63
Na+K	14.30	0.54	7.49

ANIONS	PPM	ECM	% ECM
HCO3+CO3	257.00	8.21	84.10
SO4	105.00	3.77	39.00
Cl	47.50	1.34	13.87

TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
 ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 25.22 %
 SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.24

LABORATORY: GENERAL

158



PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: BAFOURABE 2A

SAMPLE: MA004 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA004

157

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID
 LOCATION: BAFLOULABE 2A

FILE: 625-0958

WELL NO.: MA004 08/02/89 .

CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	226.00	11.28	49.24
Mg	137.04	11.27	49.21
Na+K	10.80	0.36	1.56

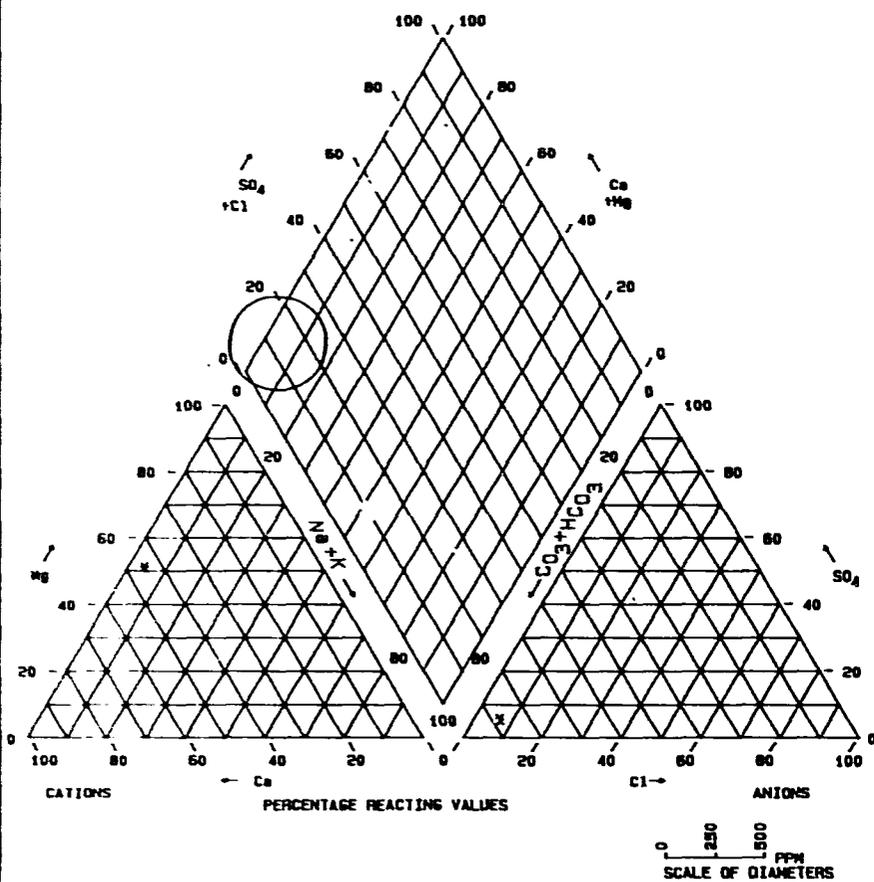
ANIONS	PPM	EPM	% EPM
HCO ₃ ⁻ +CO ₃ ²⁻	235.00	3.85	13.44
SO ₄ ²⁻	112.21	2.30	13.25
Cl	745.00	21.01	73.30

TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
 ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 11.12 %
 SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.06

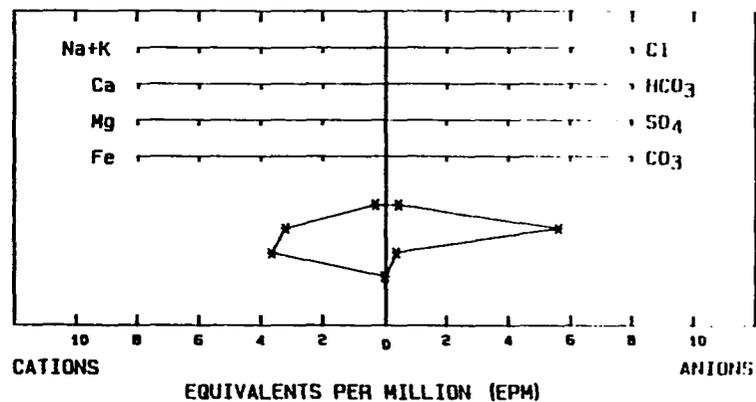
USAID/DAKAR/SENEGAL

152

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

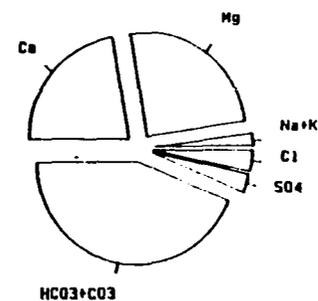


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADII
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



NOTE ERROR (IF ANY) IN CATION/ANION
BALANCE HAS BEEN REMOVED

PROJECT: OMVS/USAID
FILE: 625-095B
LOCATION: BAFOLABE 2A

SAMPLE: MA003 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA003

153

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID
 LOCATION: BAFLOULABE 2A

FILE: 625-0958

WELL NO.: MA003 08/22/89

CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	64.10	3.20	44.55
Mg	44.54	3.66	51.02
Na+K	3.30	0.32	4.44

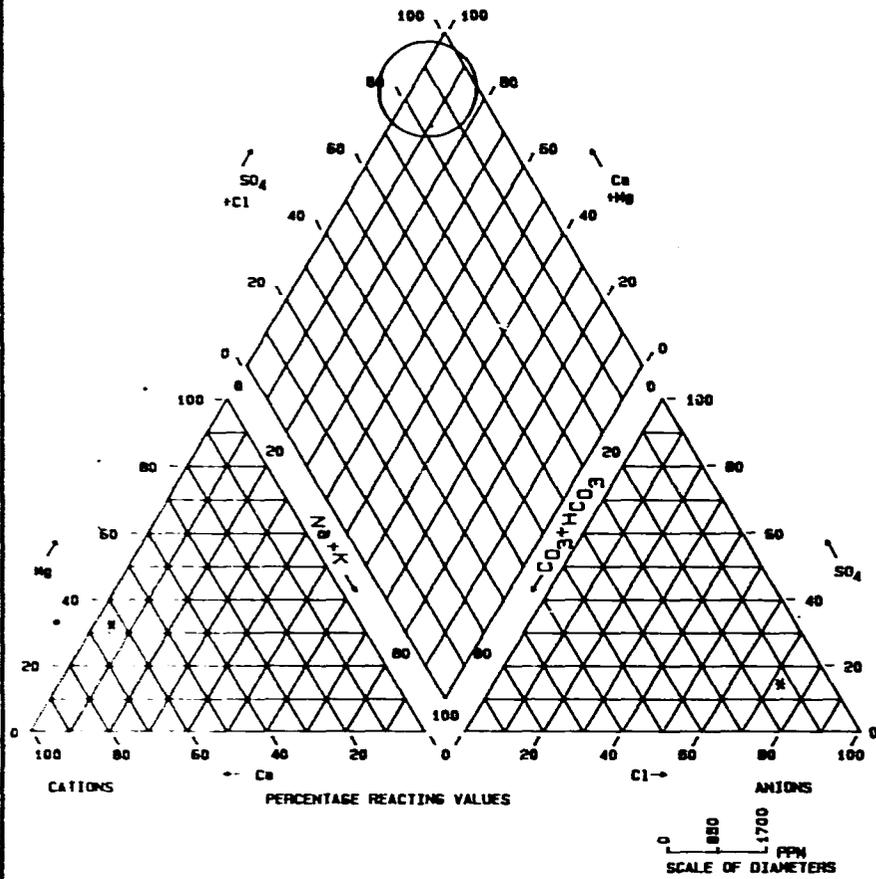
ANIONS	PPM	EPM	% EPM
HCO3+CO3	243.00	5.62	87.61
SO4	17.20	0.35	5.58
CL	13.50	0.44	6.81

TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
 ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 5.54 %
 SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.11

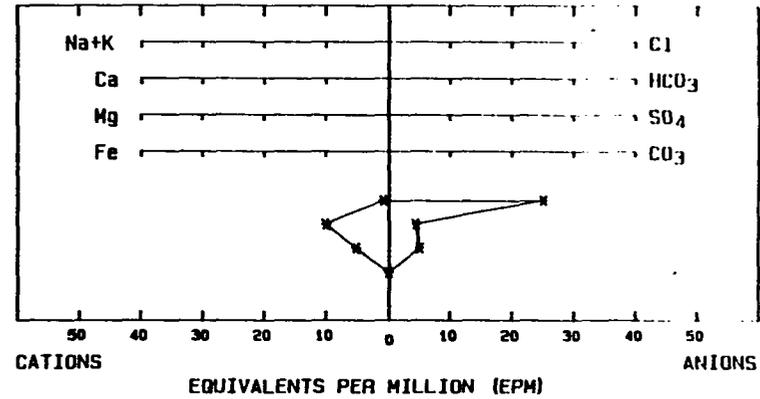
USAID/DAKAR/SENEGAL

-124-

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

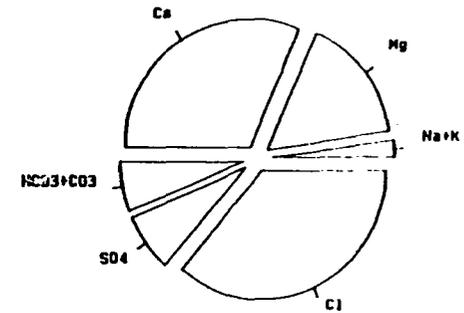


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADIUS
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



NOTE: ERROR (IF ANY) IN CATION/ANION
BALANCE HAS BEEN REMOVED

PROJECT: OMVS/USAID
FILE: 625-0958
LOCATION: BAFORABE 2A

SAMPLE: MA002 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USA ID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA002

1
153

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: DMVS/USAID FILE: 625-0958
LOCATION: BAFLOULABE 2A

WELL NO.: MA002 08/02/89

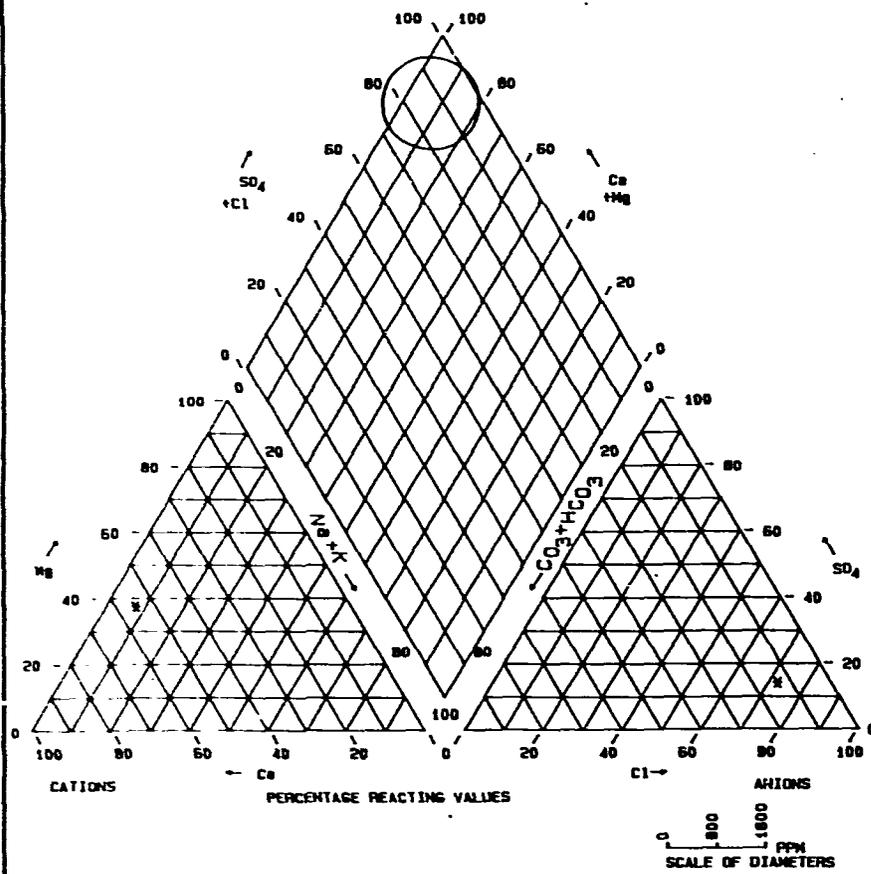
CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	202.00	10.08	63.02
Mg	63.04	5.18	32.42
Na+K	21.50	0.73	4.56

ANIONS	PPM	EPM	% EPM
-CO3+CO3	271.00	4.44	12.84
SO4	242.50	5.05	14.60
Cl	890.00	25.10	72.56

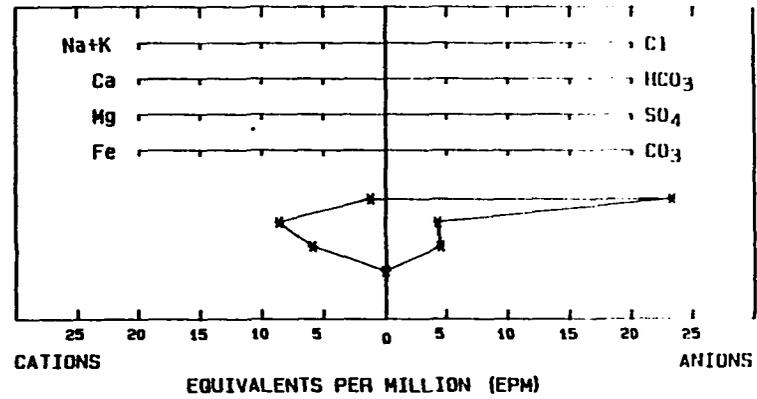
TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 36.76 %
SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.16

USAID/DAKAR/SENEGAL

PIPER TRILINEAR DIAGRAM

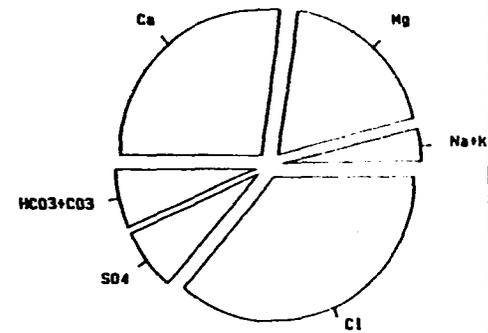


STIFF GRAPH



PIE DIAGRAM

SCALE OF RADIUS
(TOTAL OF EQUIVALENTS
PER MILLION)



PROJECT: OMVS/USAID
FILE: 625-0958
LOCATION: BAFOLABE 2A

SAMPLE: MA001 08/02/89

CHEMICAL GRAPHS

USAID/DAKAR/SENEGAL

FIGURE: MA001

CHEMISTRY ANALYSIS

PROJECT: OMVS/USAID
 LOCATION: BAFDULABE 2A

FILE: 625-0958

WELL NO.: MA001 08/02/89

CATIONS	PPM	EPM	% EPM
Ca	172.30	8.60	54.82
Mg	71.53	5.89	37.53
Na+K	32.20	1.20	7.65

ANIONS	PPM	EPM	% EPM
HCO3+CO3	264.00	4.33	13.47
SO4	217.50	4.53	14.10
Cl	825.00	23.27	72.43

TOTAL DISSOLVED SOLIDS:
 ERROR IN CATION/ANION BALANCE: 34.39 %
 SODIUM ABSORPTION RATION (S.A.R.): 0.34

USAID/DAKAR/SENEGAL

REPertoire HYDROGEOLOGIQUE

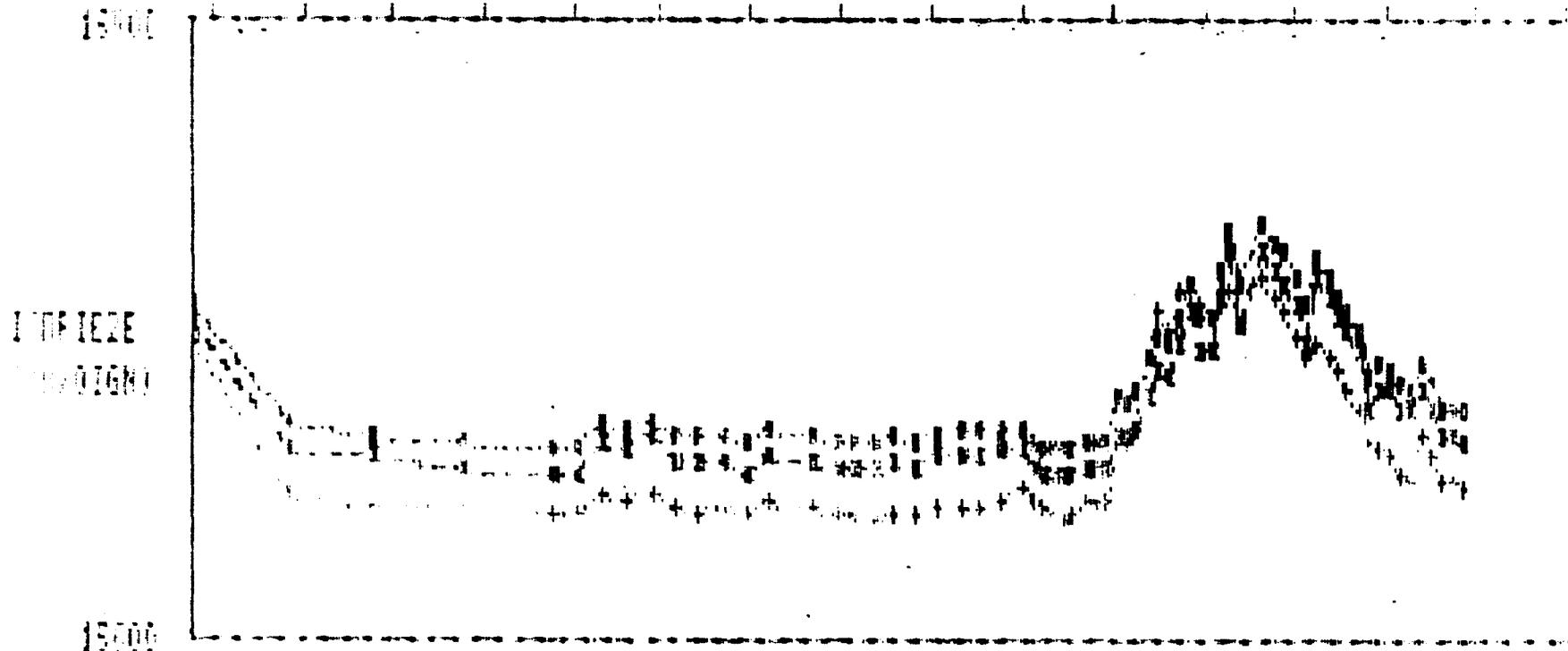
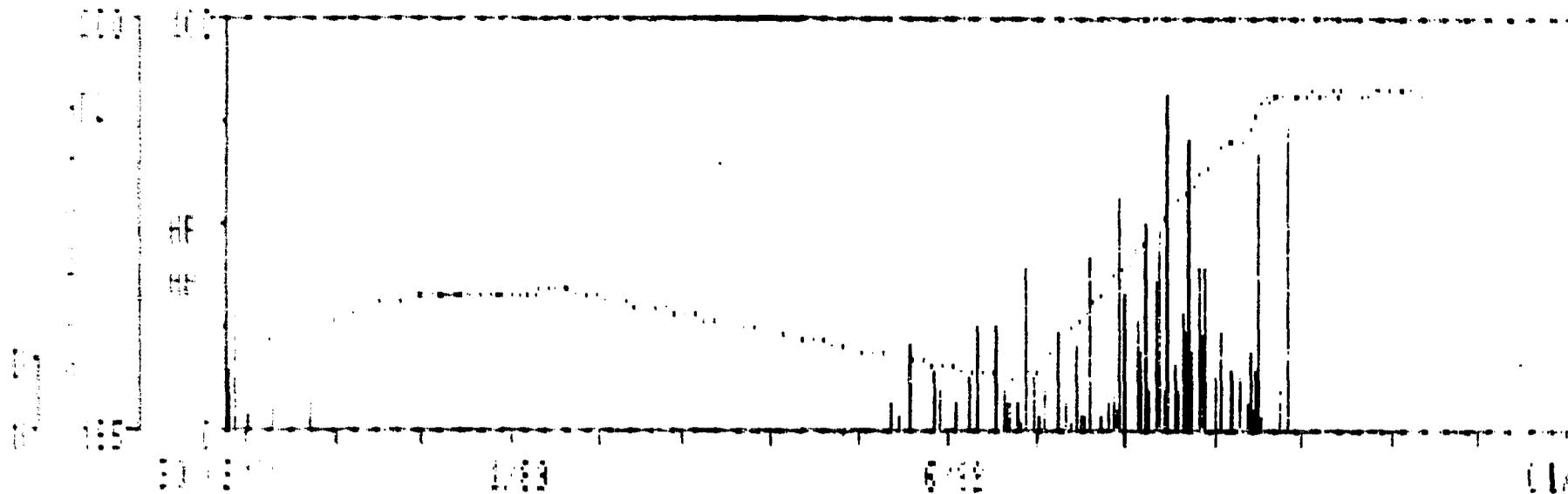
**CARTE TOPOGRAPHIQUE 1:200,000
27 BAFULAE**

GES -- Graphiques
Variations piézométriques en fonction du temps
Période d'observation du 30/09/88 au 01/01/90

ANNEXE 4

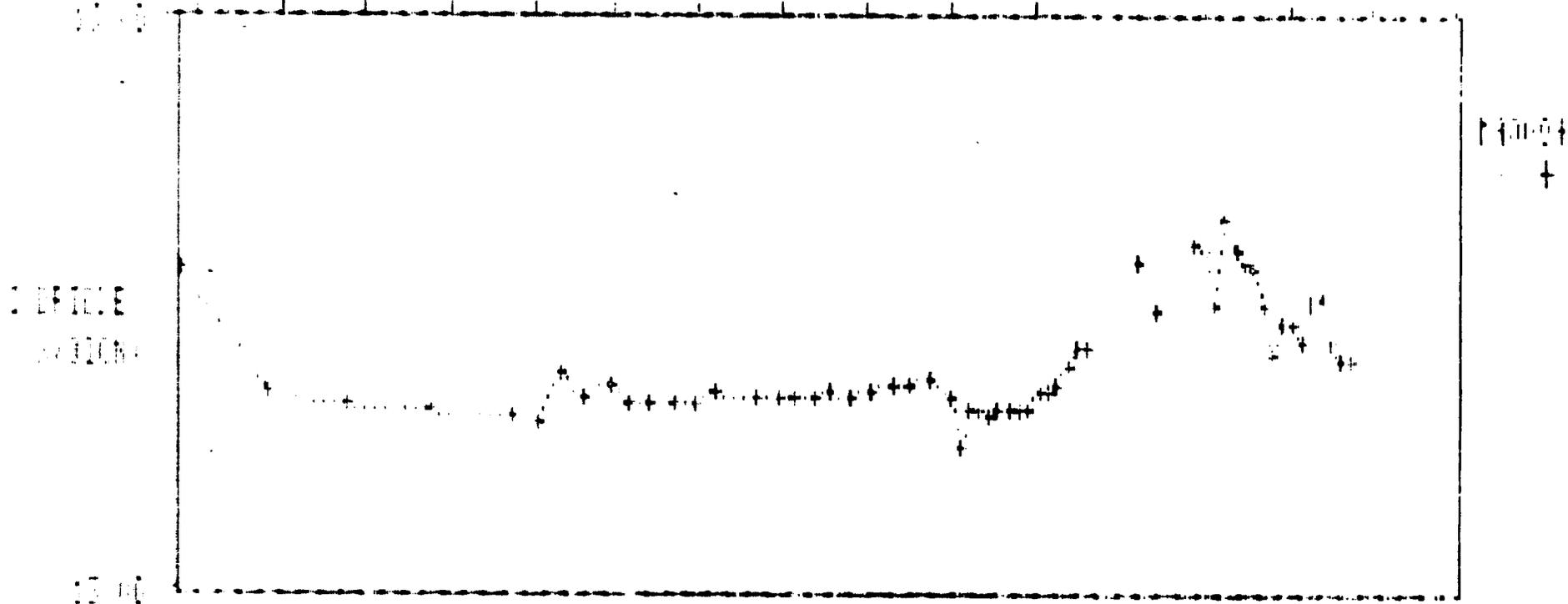
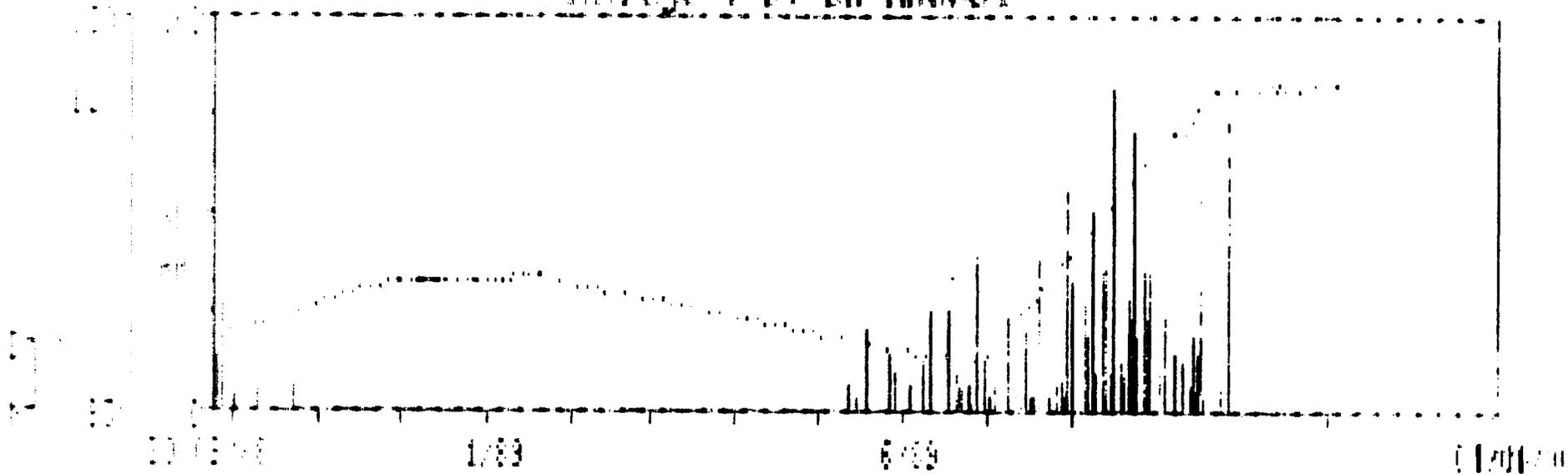
154

Graphique Piézométrie-fct-Temps



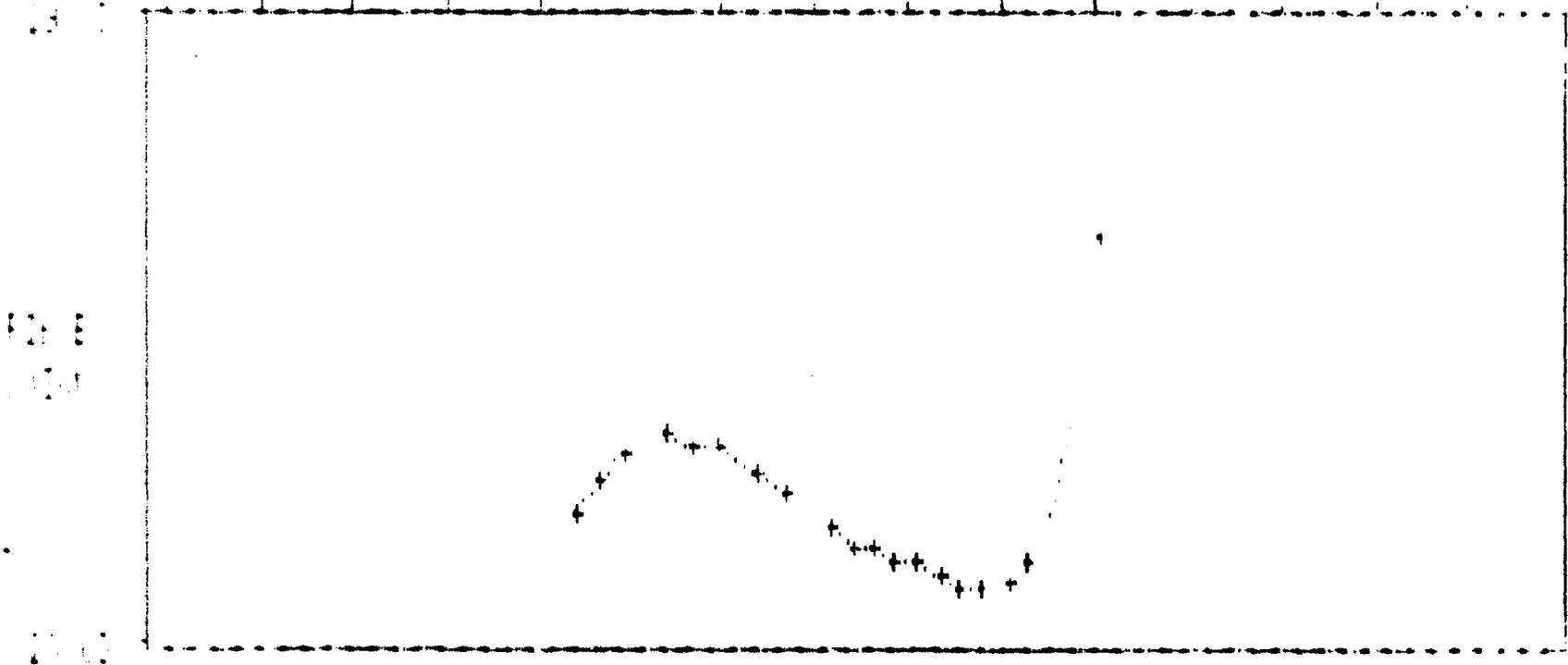
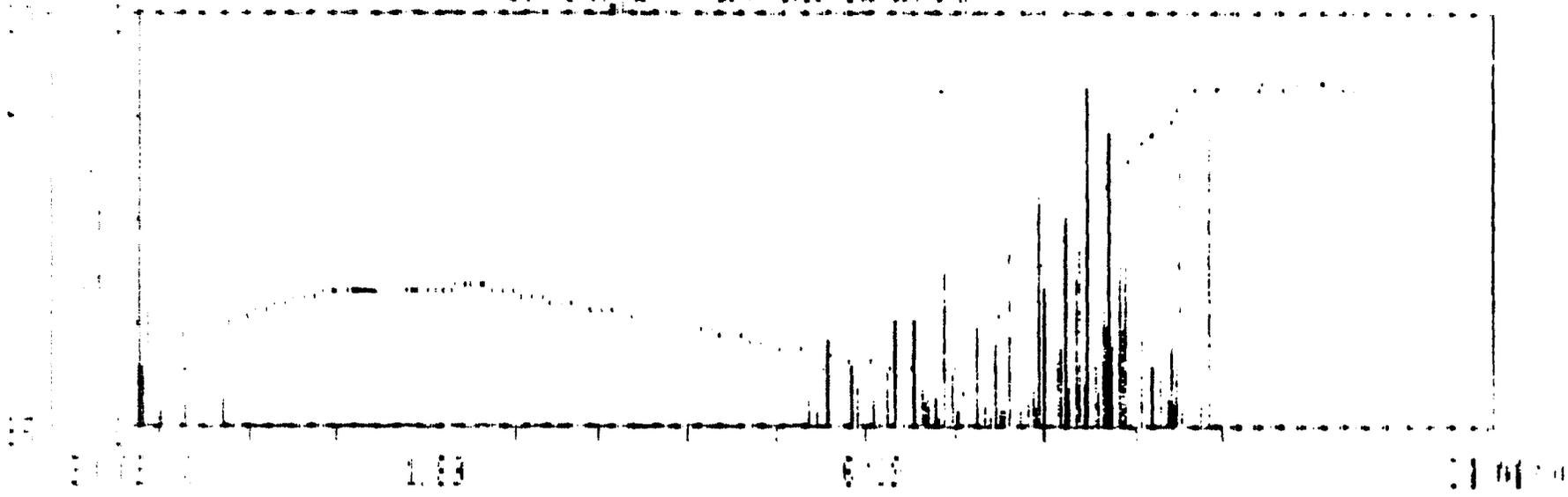
MA001
 MA002
 MA003

Graphique Piezométrie-Ec1-Temps
Ouvrage : 27-2A-MAN004



161

Graphique Piezométrique - 101-30194
Ouvrage : 27-2A-106003-

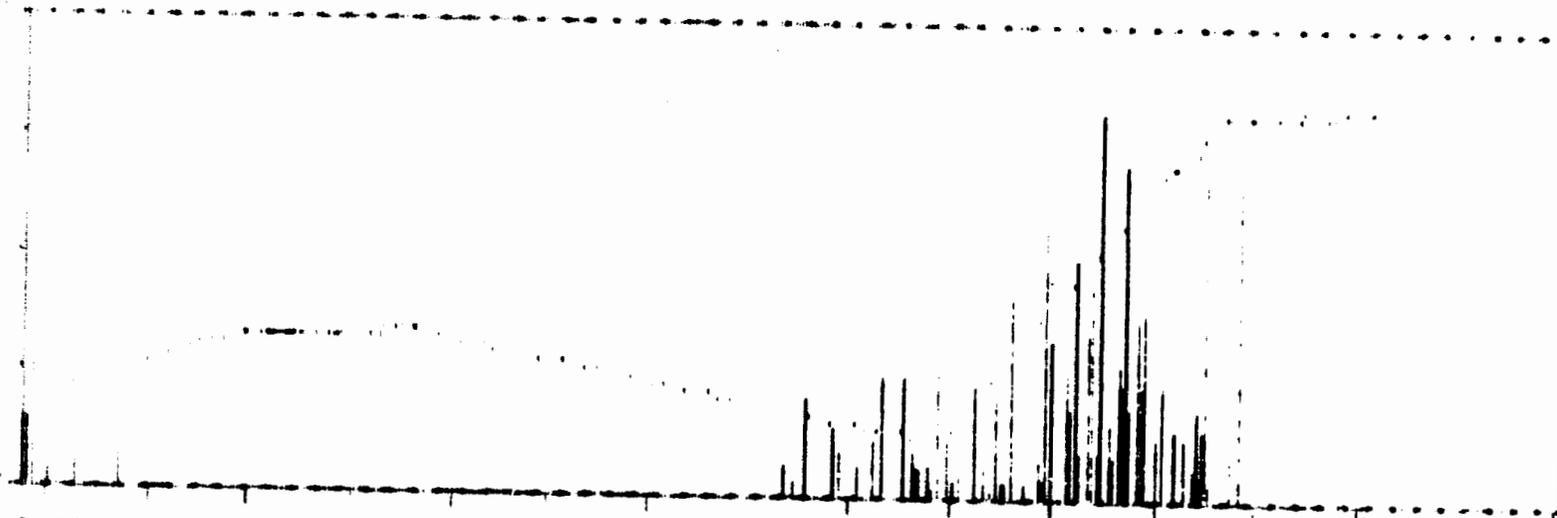


PROCES

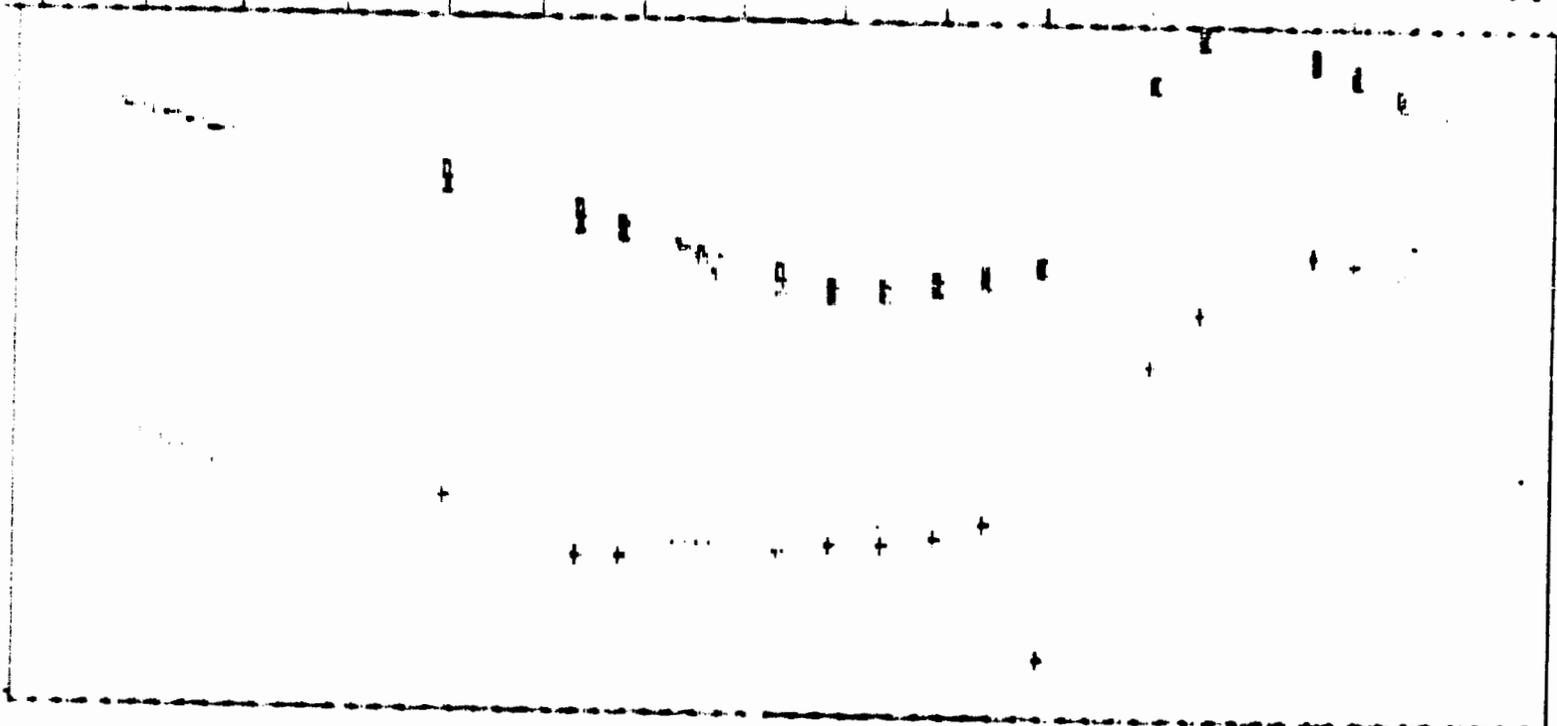
1.00
6.00
21.00

2

Graphique Piérométrie-fct-Serap



0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000

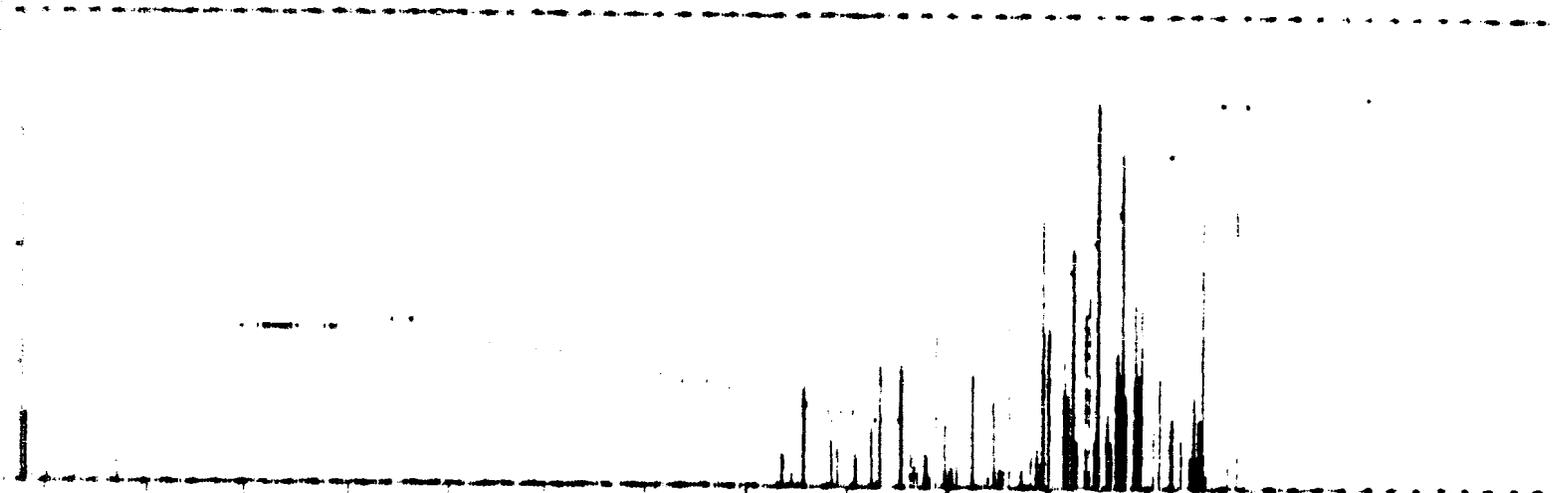


HA0006

HA0007

HA0008

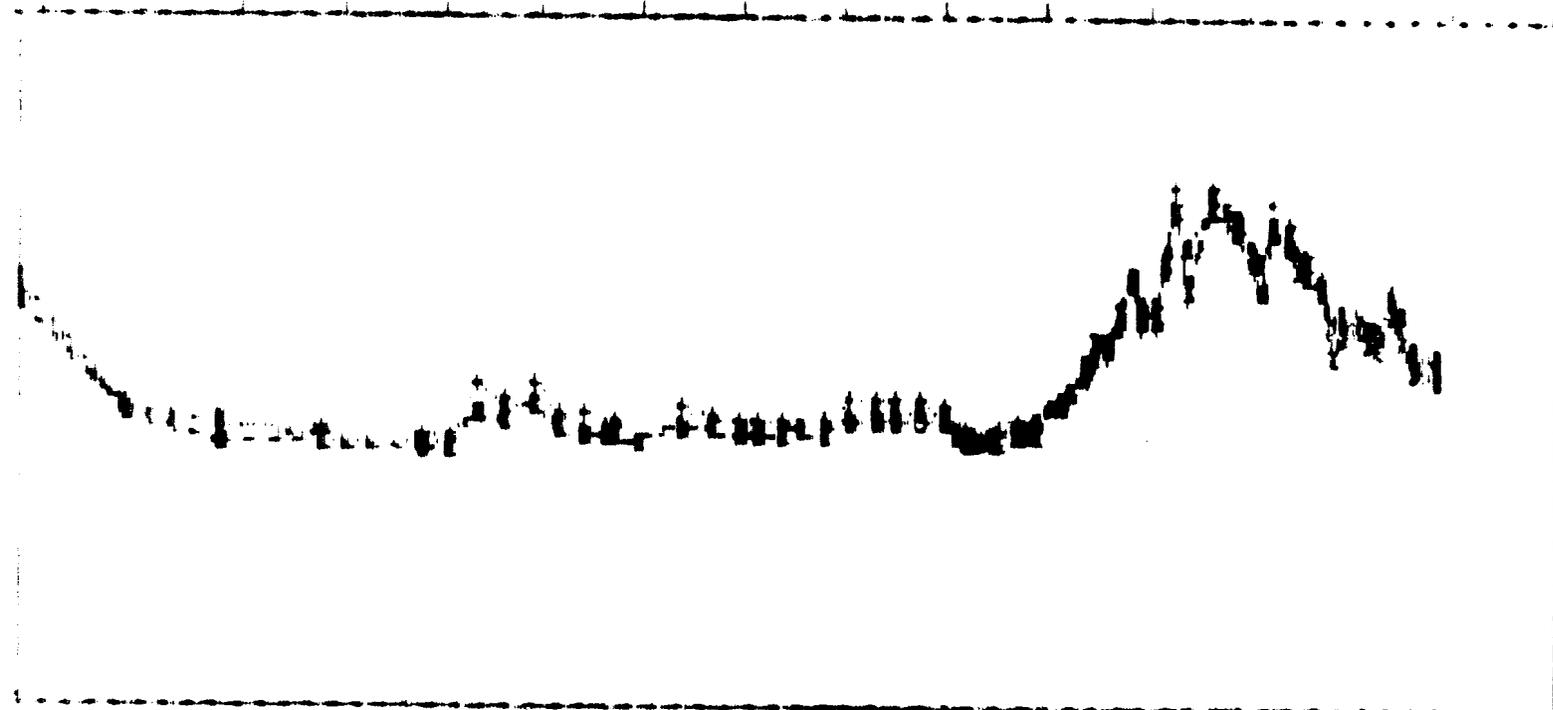
Graphique Piezométrie-foi-Temps



1.23

6.26

11.10.30



MAR 03

+

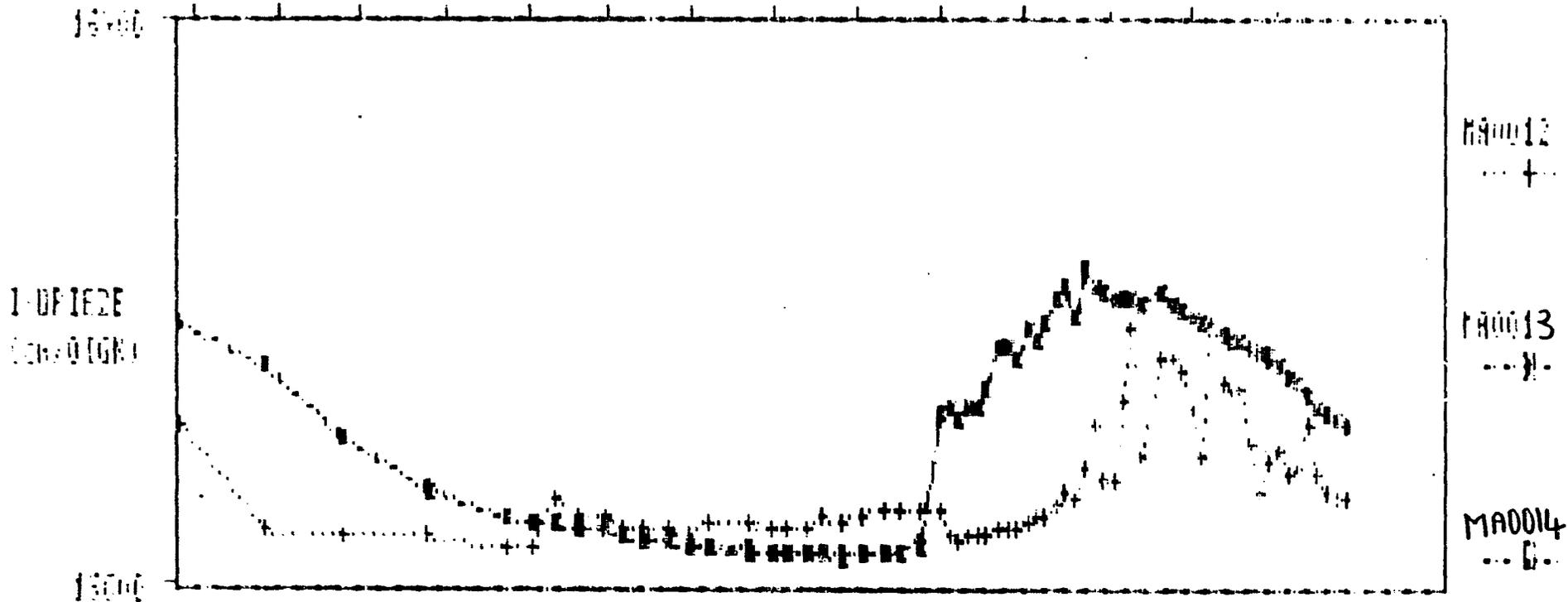
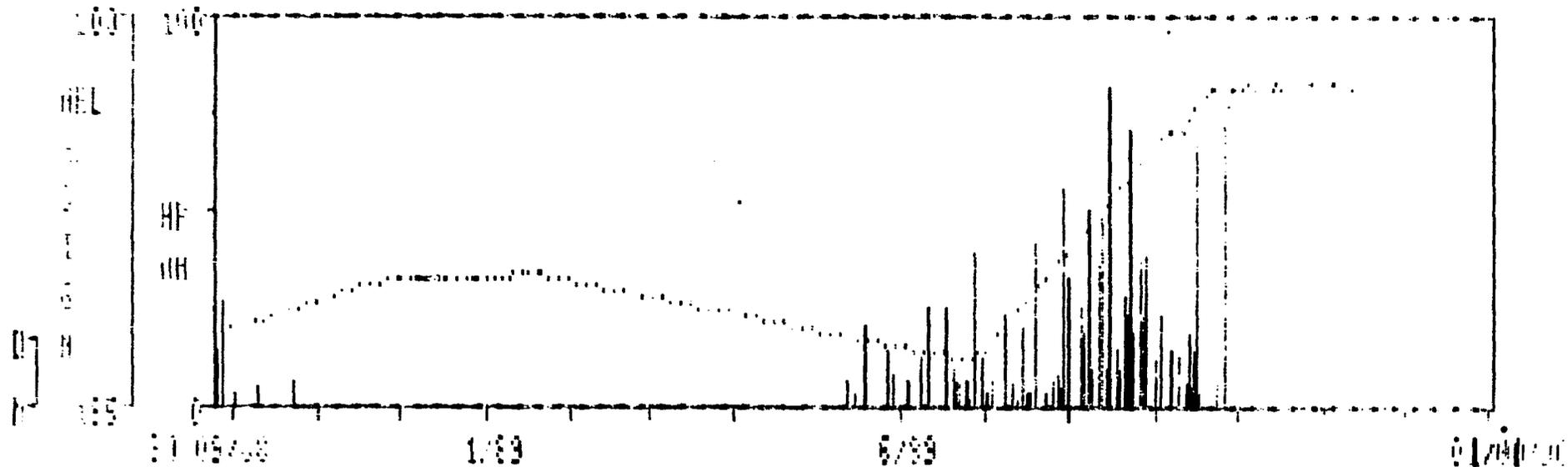
MAR 10

---*

MAR 011

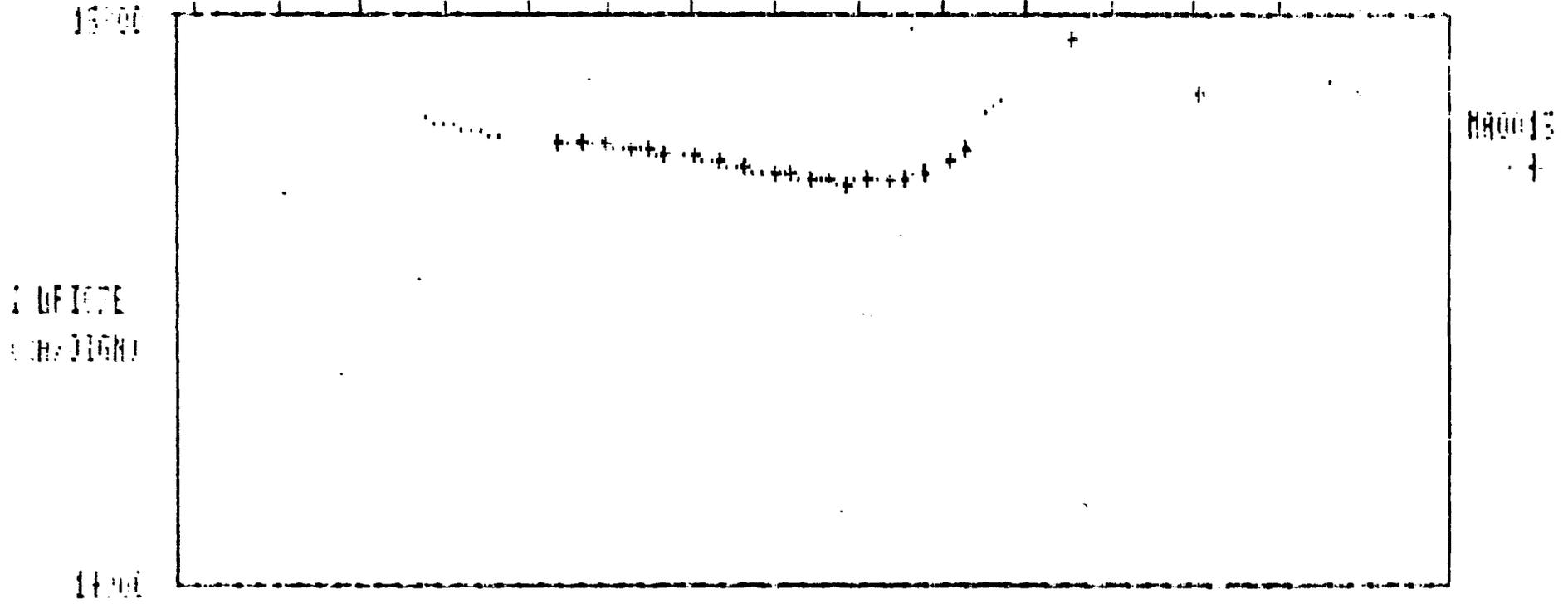
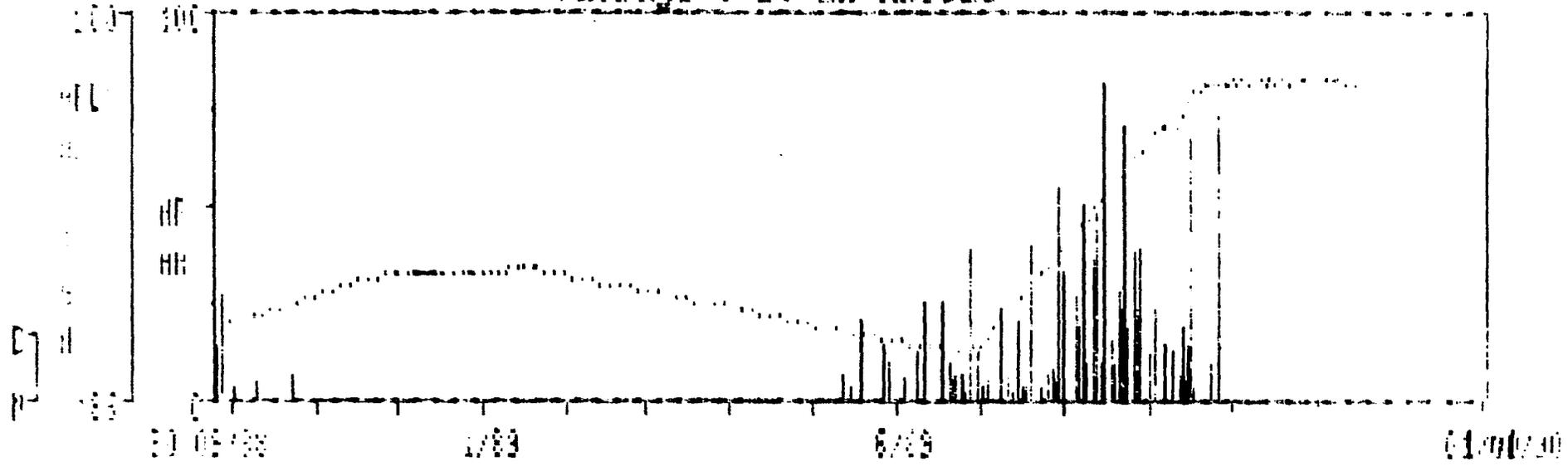
---G.

Graphique Piézométrie-fct-Temps



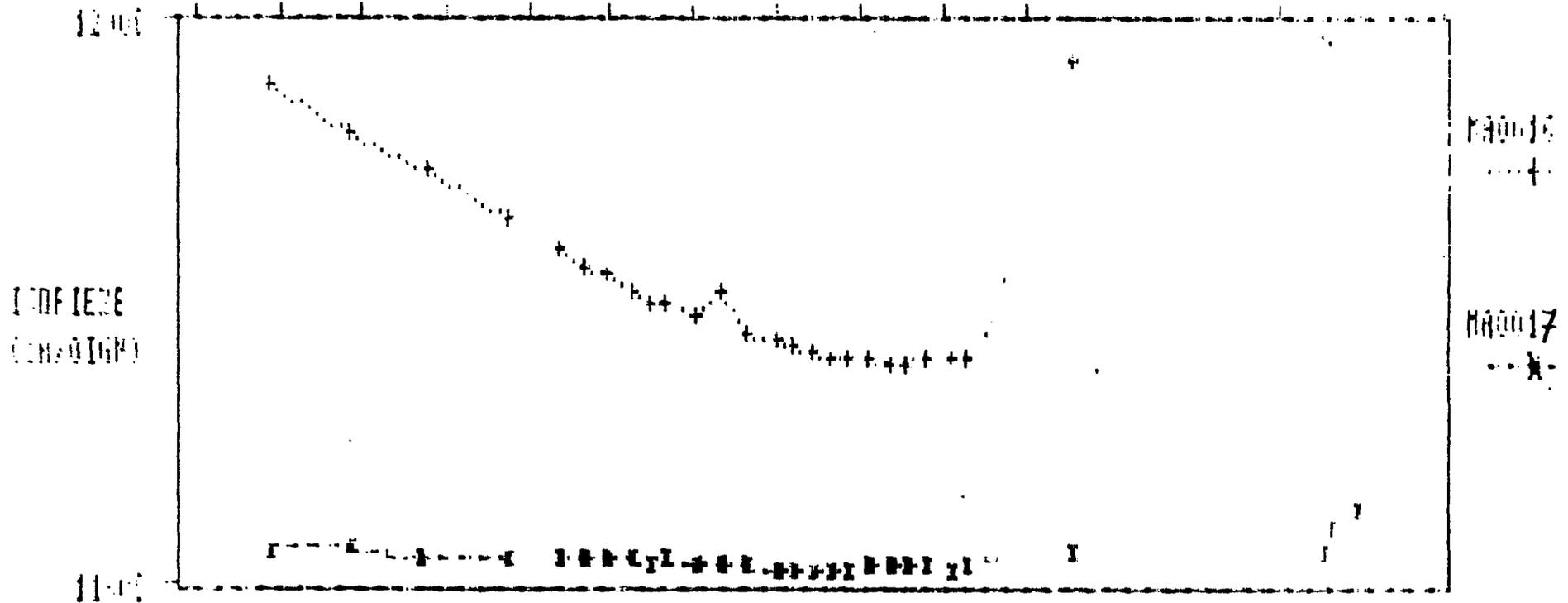
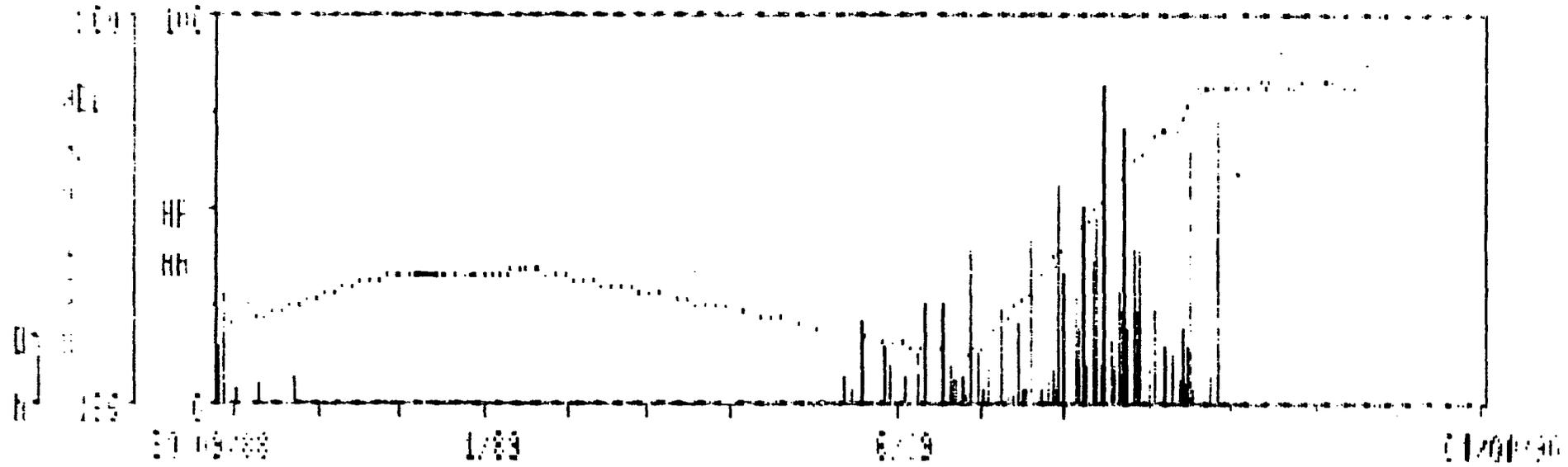
Graphique Piézométrie-fct-Temps

Ouvrage : 27-2A-MA0015-



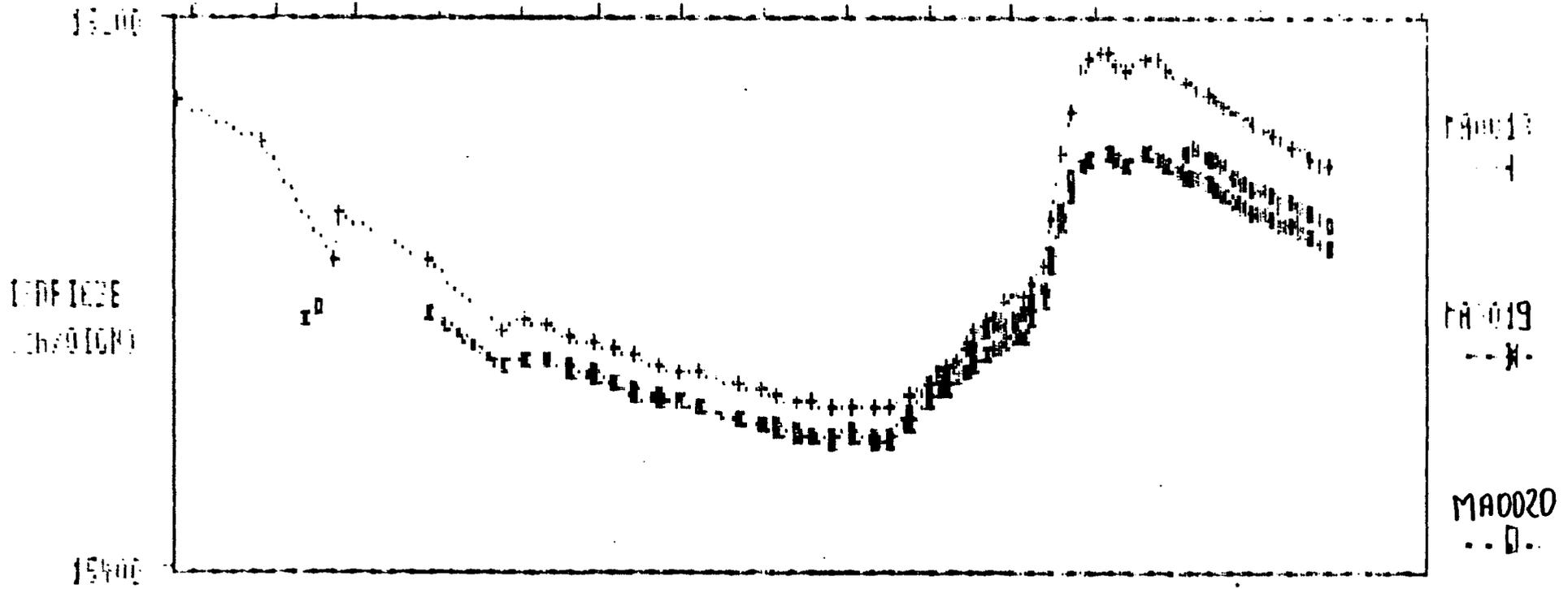
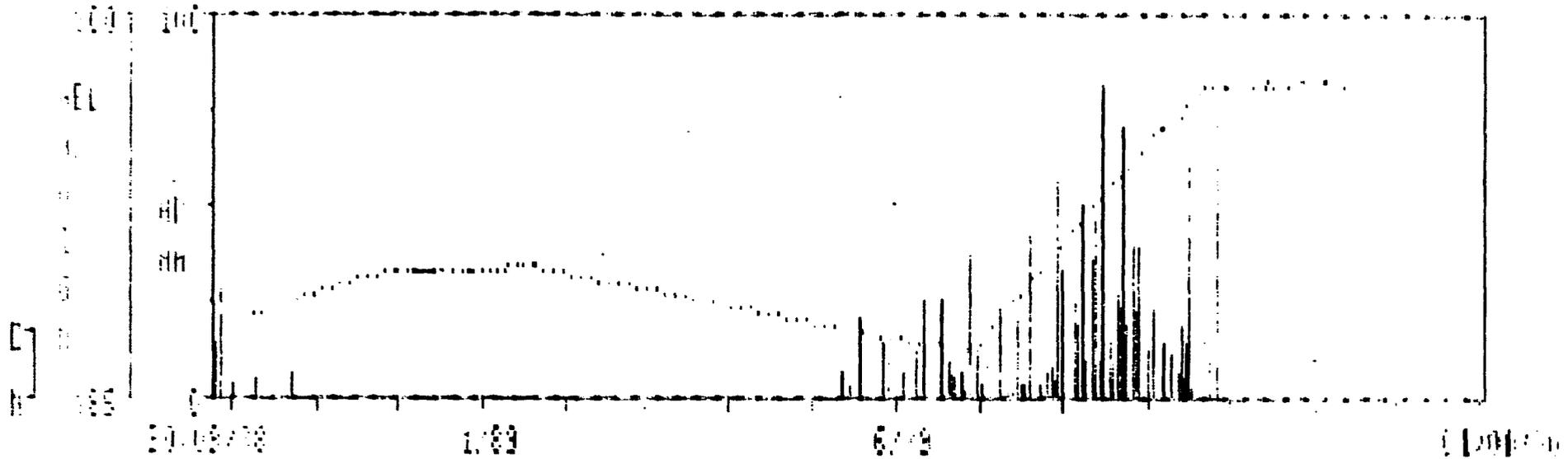
166

Graphique Piézométrie-fct-Temps



167

Graphique Piezométrie-Isot-Temps



REPertoire HYDROGEOLOGIQUE

**CARTE TOPOGRAPHIQUE 1:200,000
27 BAFOULAE**

**Paramètres hydrologiques du barrage de Manantali
Observés sur la période 1986 - 1989**

ANNEXE 5

169

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	1
1.1	Données	1
1.1.1	Stations météorologiques	1
1.1.2	Paramètres analysés	1
1.1.3	Collecte des données	1
1.2	Evaporation - Evapotranspiration	2
1.2.1	Méthode de calcul Penman	2
1.2.2	Evaporomètre Piche	2
1.2.3	Bac d'évaporation classe A	3
2	LE HAUT BASSIN	4
2.1	Température de l'air	4
2.2	Humidité relative de l'air	5
2.3	Vitesse du vent	5
2.4	Evaporation et évapotranspiration	6
2.5	Insolation	6
2.6	Pluviométrie	7

1 INTRODUCTION

1.1 Données

1.1.1 Stations météorologiques

Dans le cadre du présent rapport, des paramètres climatiques sont présentés et analysés pour la période de Janvier 1986 à Décembre 1989 pour les stations météorologiques suivantes:

- le haut bassin:
 - Mahina, Mali (Direction du Service Météorologique du Mali)
- la vallée de Bakel à Podor:
 - Bakel, Sénégal (ASECNA, Dir. de l'exploitation météorologique)
 - Matam, Sénégal "
 - Podor, Sénégal "
- le delta:
 - Richard Toll, Sénégal (Compagnie Sucrière Sénégalaise)
 - St. Louis, Sénégal (ASECNA)

Les stations sont maintenues par les organismes indiqués entre parenthèses.

1.1.2 Paramètres analysés

Les paramètres analysés dans ce rapport sont les suivants:

- température
- humidité relative
- vitesse du vent
- insolation
- pluviométrie
- évaporation et évapotranspiration calculée (selon la méthode de calcul Penman)
- évaporation mesurée à l'appareil Piche et au bac "Classe A"

1.1.3 Collecte des données

La plupart des données ont été recueillies par le personnel du projet Eaux Souterraines. Les données manquantes, pour la période de Janvier 1986 à Décembre 1989, ont été complétées par l'auteur en collaboration avec l'ASECNA et la CSS. L'auteur a remarqué certaines données douteuses parmi celles recueillies par le projet. L'auteur a remplacé ces valeurs avec des valeurs moyennes quand il n'a pas pu les vérifier.

Les données recueillies et analysées sont des moyennes mensuelles enregistrées à chaque station. La totalité des données analysées est présentée en annexe.

Le texte du rapport est muni des tableaux des paramètres climatiques, valeurs moyennes mensuelles sur la période 1986-89, ainsi que des graphiques préparés à partir de ces valeurs.

171

1.2 Evaporation - Evapotranspiration

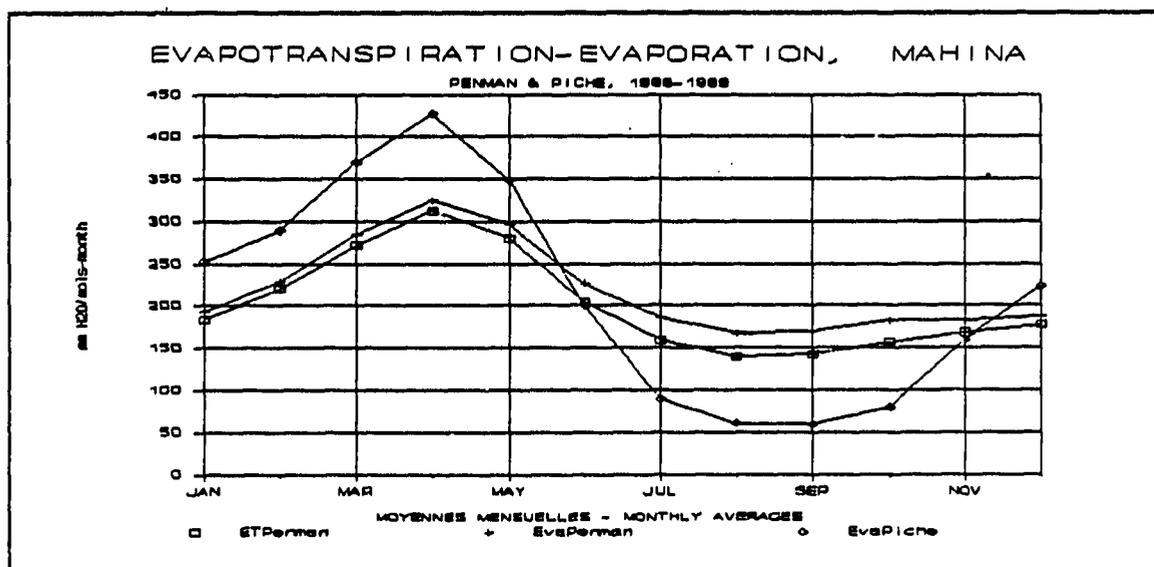
1.2.1 Méthode de calcul Penman

La méthode d'estimation des taux d'évaporation d'une surface d'eau libre et d'évapotranspiration potentielle (culture de référence; gazon) utilisée ici est celle de Penman, telle que recommandée par la FAO¹. Les coefficients utilisés pour l'estimation du rayonnement global concordent avec ceux déterminés pour diverses stations dans la vallée du fleuve Sénégal².

Pour le lecteur intéressé, les tableaux de calcul, en annexe, indiquent toutes les valeurs des coefficients utilisés pour chaque mois. Les tableaux indiquent, également, l'importance des termes énergétiques et aérodynamiques dans l'évapotranspiration totale.

1.2.2 Evaporomètre Piche

Toutes les stations météorologiques, à l'exception de celle de Richard Toll, sont équipées d'évaporomètre Piche. L'évaporation mensuelle mesurée par ces appareils est indiquée dans les tableaux suivants mais aucune analyse n'en est faite (la corrélation entre ces valeurs et l'évaporation réelle est très mauvaise). L'évaporomètre Piche n'est pas sensible à l'insolation car il est installé sous abri. Il est surtout sensible à l'humidité relative de l'air, donc pas très indicatif dans cette région où l'évaporation due à la radiation est forte. La figure suivante indique la valeur d'évaporation mesurée par l'appareil Piche à Mahina par rapport à celle calculée pour le même endroit; elle est surestimée pendant la saison sèche et sous-estimée pendant la saison des pluies.



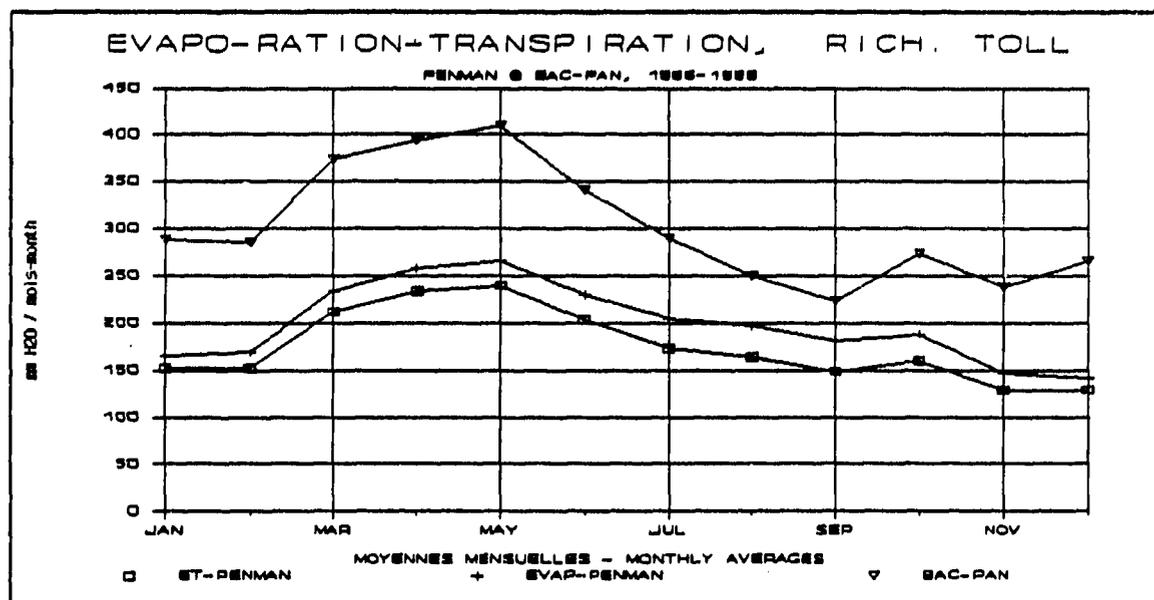
1 Frère, M. et Popov, G.F., Surveillance agrométéorologique pour la prévision des récoltes, Etude FAO: production végétale et protection des plantes. #17, Rome 1979.

2 Rijks, D.A., 1976. Agrométéorologie. AGP:SF/REG 114, Rapport technique 2. FAO, Rome.

1.72

1.2.3 Bac d'évaporation classe A

Les bacs d'évaporation ne sont pas utilisés dans toutes les stations météorologiques de la vallée. Les données existent pour toute la période pour la station de Richard Toll seulement. Les données existent pour une partie de la période pour St. Louis, Podor et Bakel. Par conséquent, une analyse de ces données n'a pas été faite. La figure suivante indique la corrélation entre le taux d'évaporation mesuré au bac à Richard Toll par rapport à celui calculé pour le même endroit (calculé = $0.6 \times$ mesuré).



2 LE HAUT BASSIN

La Direction du Service Météorologique du Mali a fourni des données climatiques, moyennes mensuelles, observées à Mahina (600 kilomètres de la côte) durant la période Janvier 1986 à Décembre 1989. Le tableau ci-après indique les valeurs moyennes mensuelles pour la période.

METEO: MAHINA SOURCE: DIRECTION DU SERVICE METEOROLOGIQUE, MALI
 LAT: 13.7° ALT: 100 METRES
 ESTIMEE

MOIS/AN MON/YR	T MIN	T MAX	T MOY	T MAX-	HUM.REL.	VENT	EVAP'N	EVAP'N	PLUIE	JOURS de	INSOLA-	INSOL.	
	EVAPOTRANS- RATION	EVAPOTRANS- RATION	T AVG	T MIN	REL.HUM.	WIND	Evapo- rometre	BAC "A" totale	pluie	TION	TION	PIRATIC	
PENMAN MOIS/AN totale MON/YR	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen	mm	Class A	RAIN	of	totale	PENM.	
mm	average	average	average	average	average	average	PICHE	Pen	FALL	rain	heures	hres/jr	
mm	Cels.	Cels.	Cels.	Cels.	%	m/s	mm	mm	mm	jrs/days	hours	hours/de	
JAN	15.3	33.1	24.2	17.8	32.8	2.8	252.6	*	0.0	0.0	230.0	7.4	183.
193.7													
FEB	17.7	35.6	26.6	17.9	25.0	3.2	289.5	*	0.0	0.0	210.6	7.5	220
229.7													
MAR	21.2	39.4	30.3	18.2	20.5	3.0	370.2	*	0.0	0.0	250.6	8.1	272.
284.9													
APR	25.5	42.2	33.9	16.7	21.7	3.4	427.1	*	2.7	1.0	221.0	7.4	312.
324.4													
MAY	27.5	40.9	34.2	13.4	36.5	3.9	348.3	*	28.5	4.3	212.8	6.9	280.
796.4													
JUN	25.8	37.2	31.5	11.3	55.3	3.7	199.8	*	137.7	8.8	199.2	6.6	204.
226.3													
JUL	23.9	31.5	27.7	7.7	72.5	3.2	89.1	*	170.7	13.3	189.6	6.1	159.
186.0													
AUG	23.2	31.2	27.2	8.0	79.0	2.7	60.3	*	256.4	16.0	162.7	5.2	139.
166.5													
SEP	24.2	32.0	28.1	7.8	76.3	2.6	60.0	*	171.9	12.0	186.3	6.2	142.
170.0													
OCT	22.4	35.0	28.7	12.5	68.1	2.4	79.7	*	46.0	5.0	222.4	7.2	156.
182.4													
NOV	17.3	35.6	26.4	18.4	46.8	2.3	159.6	*	0.0	0.0	213.8	7.1	168.
182.8													
DEC	14.0	34.2	24.1	20.2	38.9	2.6	223.0	*	0.0	0.0	221.4	7.1	177.
188.0													
TOTAL							2559		814	60	2520		
2418	2631												

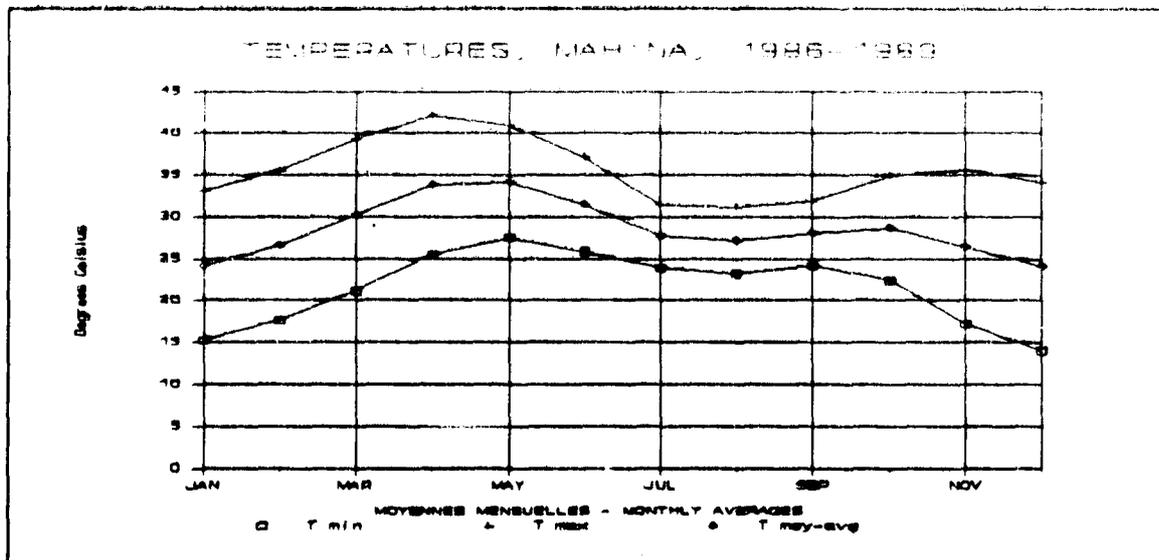
2.1 Température de l'air

La figure suivante indique les températures minimum moyennes, maximum moyennes et moyennes, (Tmin+Tmax)/2, à Mahina pour la période. On remarque que Avril et Mai sont les mois les plus chauds de l'année et Décembre le mois le plus frais. On remarque aussi que l'écart entre la température minimum moyenne et la température maximum moyenne est importante de Octobre à Juin. Cet écart est réduit pendant la saison des pluies quand l'humidité relative de l'air augmente.

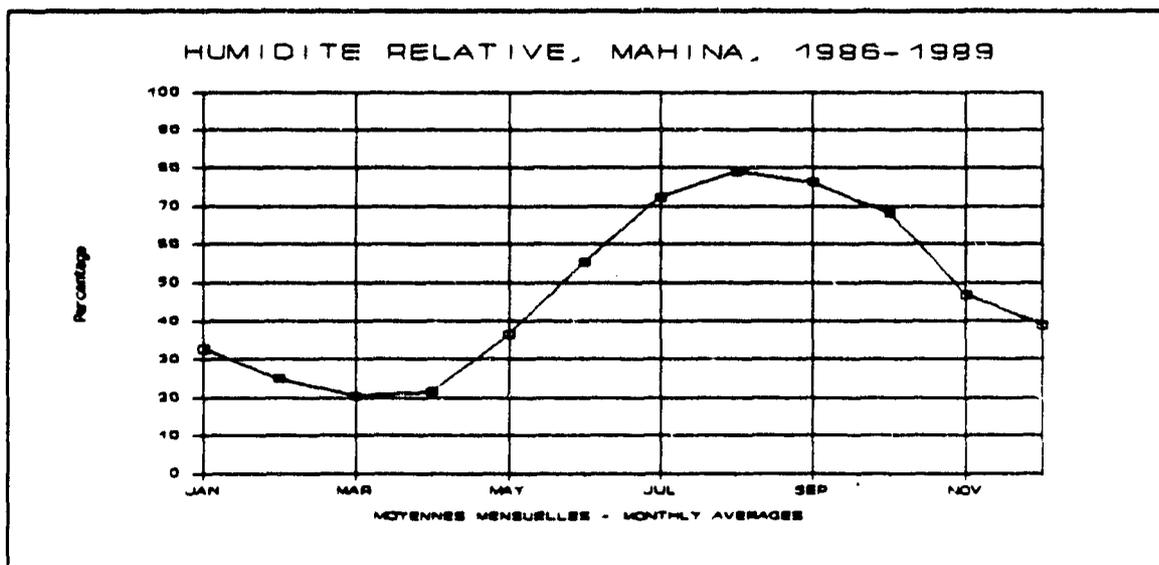
2.2 Humidité relative de l'air

La figure suivante indique l'humidité relative pendant l'année. Elle est définie comme étant le rapport de la tension de vapeur dans l'air et de la tension de vapeur saturante à la même température. L'humidité relative atteint

174



son maximum pendant la saison des pluies et son minimum en Mars et Avril, période de l'harmattan, vent d'Est très chaud et desséchant.

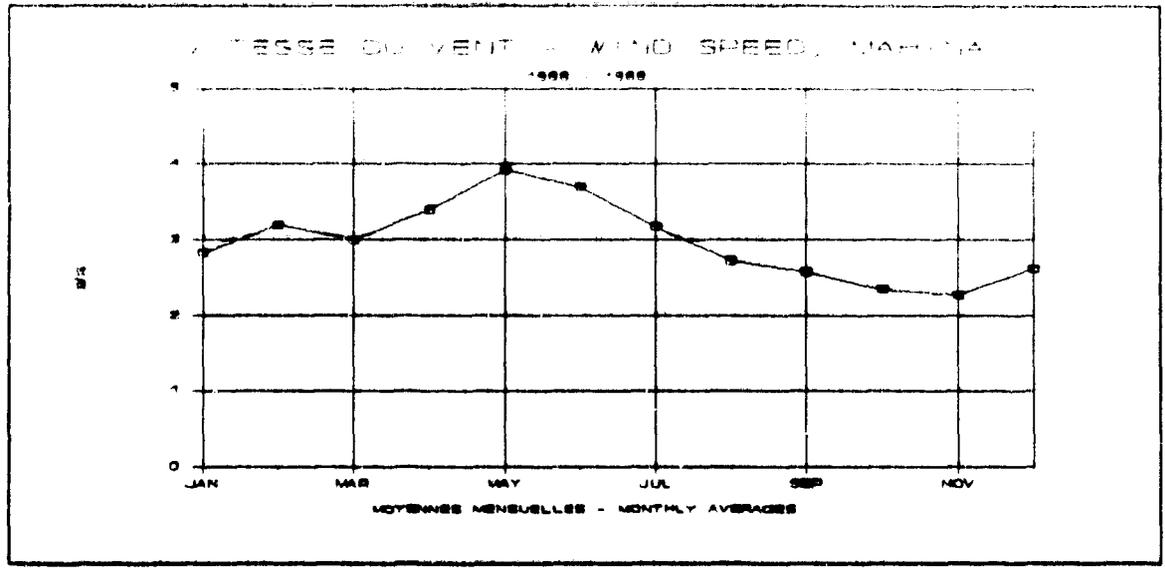


2.3 Vitesse du vent

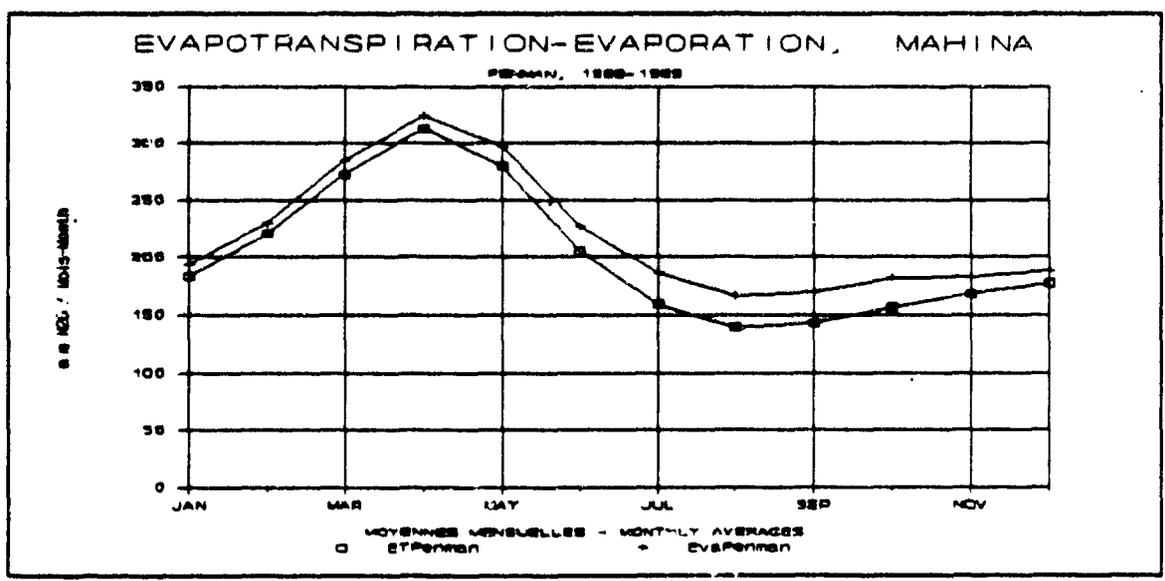
On remarque à la figure suivante que la vitesse du vent augmente de Novembre à Mai et baisse pendant la saison des pluies.

2.4 Evaporation et évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle (culture de référence: gazon) et l'évaporation d'une surface d'eau libre, estimées selon la méthode de calcul Penman, sont indiquées dans la figure suivante. Durant toute l'année l'évaporation d'une surface d'eau libre est légèrement plus élevée que l'évapotranspiration potentielle. L'évapotranspiration potentielle calculée



pour Mahina est la plus élevée en Avril quand la température, le vent et l'insolation sont près de leur maximum et l'humidité relative à son minimum.



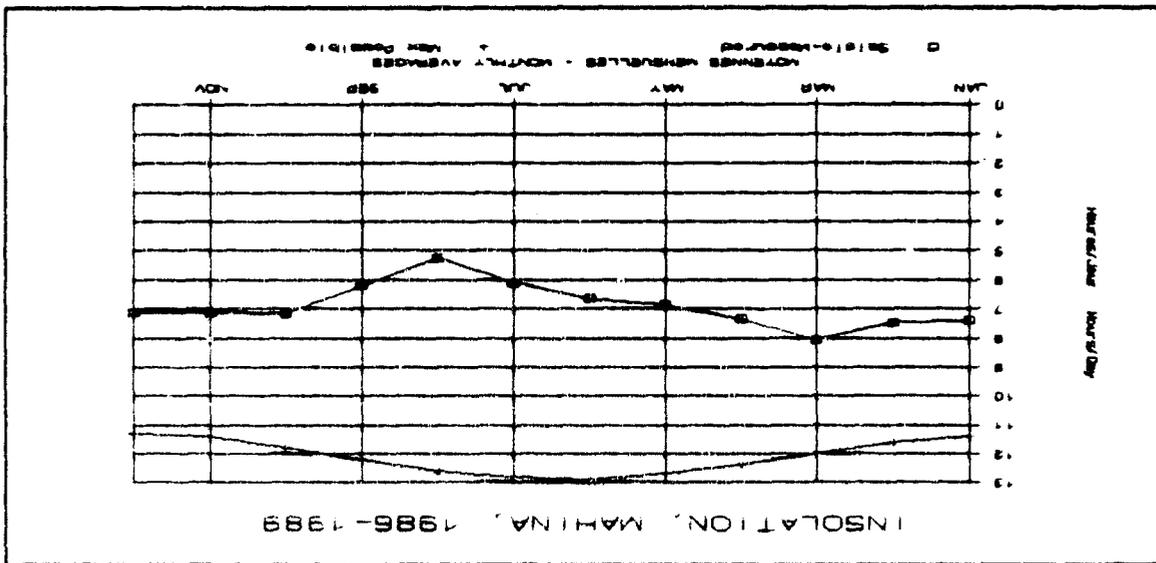
L'évaporation moyenne calculée pour la période de Janvier 1986 à Décembre 1989 est de 2631 mm par année. Cette valeur est supérieure à celle établie par la FAO³ pour l'ensemble de la vallée, 2400 mm par année. Les valeurs calculées pour Mahina, 1986-1989, sont bien plus élevées pendant la saison sèche que les valeurs calculées par la FAO.

2.5 Insolation

³ Etude hydro-agricole du bassin du fleuve Sénégal, Rapport de synthèse, pour l'OMVS par le FAO, Rome 1977.

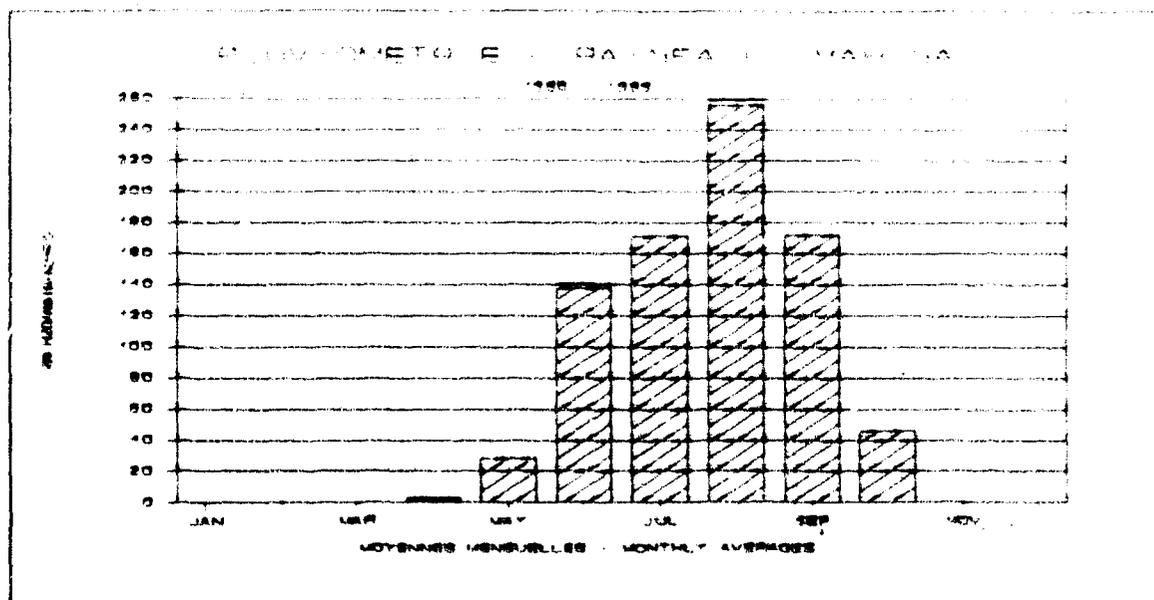
La pluviométrie moyenne mensuelle à Mahina pour la période 1986-1989 est indiquée par la Figure 6. La saison des pluies commence au mois de Mai et finit annuelle s'élève à 814 mm.

2.6 Pluviométrie



L'insolation moyenne calculée pour la période Janvier 1986 à décembre 1989 est de 2520 heures par année. Ce chiffre est bien inférieur à celui avancé par la FAO pour Matam (3325 heures par année) et St. Louis (2889 heures par année). Cette différence peut être expliquée en grande partie par la pluviométrie bien plus importante à Mahina, et la couverture du ciel qui l'accompagne pendant la saison des pluies.

La figure suivante montre que la durée d'insolation est assez constante pendant l'année, ce qui est normale pour la latitude. Pendant la saison des pluies, à cause des nuages, l'insolation mensuelle observée atteint son minimum malgré que la durée astronomiquement possible est près de son maximum. De Janvier à Mai la poussière et les vents de sable diminuent également la durée d'insolation.



METEO: MANINA

SOURCE: DIRECTION DU SERVICE METEOROLOGIQUE, MALI

MARTHA PAGA- METRE	PSYCHO- METRIQUE CONST.	RAY. SOL. MAX RAD'M	ENS. ASTR. MAX INSOL'W	RATIO INSOL'W Calcul	RAD'M RECU REC'D	CORPS NOIR BLACK BODY RAD'M	VAP. SAT. SAT'D VAP TENS. -PRES.	VAP. ACT. ACTUAL VAP TENS. -PRES.	RAD'M EMISE EMITTED	RAD'M NETTE NET	COEFF. VENT VIND	AERODY- NAMIQUE MANIC	EVAPOTRANS- PIRATION POTENT'L	EVAPORATION eau libre free water
STATUT STATUS	Saisie Measured	Saisie Measured	Saisie Measured	Calcul Calcul'd	Calcul Calcul'd	Calcul Calcul'd	Saisie Measured	Calcul Calcul'd	Calcul Calcul'd	Calcul Calcul'd	Saisie Measured	Calcul Calcul'd	Calcul Calcul'd	Calcul Calcul'd
SYMBOLES UNITE	DeltaGamma sans/none	RA mm H2O	H hrs/heures sans/none	n/N sans/none	RA mm H2O	σT _k mm H2O	E _a millibars	E _d millibars	E _{d, n/N} mm H2O	RA, n/N, E _d mm H2O	σ _{vent} sans	E _{a, E_d, D} mm H2O	E _t mm H2O	E _t mm H2O
Jan-86	2.48	12.41	11.3	0.71	3.89	15.10	26.93	7.81	2.69	1.21	0.89	5.49	6.70	7.02
Feb-86	2.94	13.52	11.6	0.78	4.71	15.78	32.84	8.18	3.15	1.55	0.89	5.50	7.06	7.50
Mar-86	3.58	14.89	12.0	0.76	5.33	16.31	41.01	8.97	3.59	1.74	0.89	7.60	9.34	9.80
Apr-86	4.44	15.65	12.5	0.64	5.35	17.80	52.62	11.58	2.82	2.53	0.89	8.42	10.95	11.39
May-86	4.13	15.83	12.8	0.49	4.74	17.24	48.38	21.29	1.47	3.27	0.54	4.19	7.46	8.04
Jun-86	3.99	15.70	13.0	0.57	4.99	17.10	46.50	24.85	1.41	3.58	0.61	3.64	7.22	7.98
Jul-86	3.32	15.72	12.9	0.50	4.53	18.27	37.59	28.69	1.04	3.48	0.54	1.85	5.13	6.01
Aug-86	3.22	15.85	12.6	0.48	4.39	18.16	36.30	27.22	0.97	3.43	0.54	1.28	4.71	5.80
Sep-86	3.07	15.14	12.2	0.49	4.24	15.95	34.43	28.85	0.98	3.26	0.54	1.18	4.43	5.32
Oct-86	3.48	14.12	11.8	0.63	4.55	18.45	39.38	28.78	1.28	3.27	0.54	1.57	4.85	5.68
Nov-86	2.97	12.84	11.4	0.59	3.87	15.81	33.03	14.20	1.98	1.92	0.89	3.21	5.13	5.54
Dec-86	2.39	12.02	11.2	0.58	3.47	15.27	28.26	11.59	2.00	1.48	0.89	4.00	5.47	5.80
Jan-87	2.79	12.41	11.3	0.68	3.89	15.58	30.75	12.81	2.23	1.66	0.89	3.35	5.01	5.43
Feb-87	3.24	13.62	11.6	0.68	4.48	16.16	36.51	10.95	2.82	1.87	0.89	5.34	7.20	7.81
Mar-87	3.65	14.89	12.0	0.70	5.12	16.70	41.86	8.38	3.17	1.85	0.89	6.05	8.00	8.43
Apr-87	4.33	15.65	12.5	0.54	4.93	17.48	51.18	11.26	2.45	2.47	0.89	7.66	10.14	10.48
May-87	4.71	15.83	12.8	0.39	4.45	17.91	56.84	21.60	1.28	3.16	0.61	5.91	9.07	9.45
Jun-87	4.03	15.70	13.0	0.48	4.63	17.14	47.03	25.86	1.15	3.48	0.54	3.22	6.70	7.36
Jul-87	3.51	15.72	12.9	0.51	4.64	18.52	40.06	27.24	1.07	3.57	0.54	2.30	5.87	6.72
Aug-87	3.29	15.85	12.6	0.40	4.12	18.24	37.16	28.81	0.79	3.33	0.54	1.39	4.72	5.56
Sep-87	3.96	15.14	12.2	0.56	4.78	17.05	45.88	32.64	0.89	3.86	0.54	1.78	5.62	6.54
Oct-87	3.58	14.12	11.8	0.58	4.33	16.60	41.01	28.88	1.18	3.15	0.68	2.25	5.40	6.11
Nov-87	3.24	12.84	11.4	0.67	4.19	16.16	36.51	15.70	2.13	2.06	0.89	4.34	6.40	6.81
Dec-87	2.98	12.02	11.2	0.63	3.74	15.82	33.22	10.98	2.35	1.39	0.89	5.47	6.85	7.11
Jan-88	3.08	12.41	11.3	0.59	3.78	15.94	34.22	11.29	2.24	1.54	0.54	4.40	5.94	6.21
Feb-88	3.27	13.62	11.6	0.50	3.92	16.21	36.94	8.13	2.29	1.63	0.75	7.28	6.90	9.07
Mar-88	4.09	14.89	12.0	0.58	4.71	17.20	47.83	11.00	2.49	2.23	0.82	7.13	9.35	9.6
Apr-88	4.55	15.65	12.5	0.59	5.17	17.71	54.11	11.38	2.69	2.48	0.89	7.71	10.19	10.5
May-88	4.71	15.83	12.8	0.64	5.46	17.88	56.24	18.87	2.33	3.12	0.75	6.90	10.03	10.5
Jun-88	3.90	15.70	13.0	0.48	4.60	16.97	45.19	26.86	1.09	3.51	0.54	3.00	6.51	7.2
Jul-88	3.17	15.72	12.9	0.37	3.99	16.09	35.65	26.74	0.80	3.19	0.54	1.49	4.68	5.4
Aug-88	3.12	15.85	12.6	0.38	3.92	16.02	35.04	28.73	0.70	3.22	0.54	0.98	4.18	5.0
Sep-88	3.22	15.14	12.2	0.49	4.28	16.14	36.30	28.31	0.92	3.36	0.54	1.08	4.43	5.3
Oct-88	3.42	14.12	11.8	0.65	4.60	16.40	38.93	26.47	1.33	3.27	0.68	1.88	5.15	6.0
Nov-88	2.97	12.84	11.4	0.67	4.10	15.81	33.03	16.18	2.00	2.10	0.89	3.07	5.17	5.7
Dec-88	2.54	12.02	11.2	0.71	3.79	15.18	27.59	9.11	2.57	1.22	0.89	3.90	5.11	5.4
Jan-89	2.86	12.41	11.3	0.66	3.85	15.37	29.13	8.18	2.61	1.24	0.89	4.80	6.04	6.2
Feb-89	3.01	13.62	11.6	0.62	4.21	15.87	33.61	7.73	2.66	1.55	0.89	6.46	8.01	8.2
Mar-89	3.65	14.89	12.0	0.67	5.01	16.69	41.96	9.23	2.95	2.06	0.89	6.38	8.45	8.7
Apr-89	4.55	15.65	12.5	0.68	5.46	17.70	54.11	18.40	2.13	3.25	0.75	6.32	9.57	10.1
May-89	4.71	15.83	12.8	0.63	5.38	17.70	54.11	18.40	2.13	3.25	0.75	6.32	9.57	10.1
Jun-89	3.94	15.70	13.0	0.51	4.75	17.03	45.72	24.89	1.28	3.47	0.54	3.38	6.85	7.1
Jul-89	3.14	15.72	12.9	0.51	4.52	16.03	35.24	26.78	1.03	3.49	0.54	1.38	4.85	5.3
Aug-89	3.14	15.85	12.6	0.43	4.19	16.04	35.24	28.90	0.80	3.39	0.54	1.00	4.39	5.1
Sep-89	3.19	15.14	12.2	0.50	4.33	16.11	35.87	27.97	0.96	3.37	0.54	1.20	4.57	5.1
Oct-89	3.36	14.12	11.8	0.60	4.43	16.31	39.03	27.11	1.20	3.23	0.61	1.60	4.83	5.1
Nov-89	3.14	12.84	11.4	0.58	3.89	16.01	35.24	18.43	1.87	2.22	0.89	3.50	5.72	6.1
Dec-89	2.89	12.02	11.2	0.64	3.70	15.58	30.93	15.03	1.96	1.74	0.89	3.70	5.44	5.7
MIN	2.48	12.02	11.20	0.36	3.47	15.10	26.93	6.97	0.70	1.21	0.54	0.96	4.18	5.1
MOY/AVG	3.45	14.44	12.10	0.57	4.42	16.40	39.39	18.71	1.82	2.61	0.72	3.94	6.55	7.1
MAX	4.71	15.93	13.00	0.78	5.46	17.91	56.84	32.64	3.59	3.86	0.89	8.42	10.95	11.1

CONSTANTES ET COEFFICIENTS UTILISEES - CONSTANTS AND COEFFICIENTS USED

Albedo = 0.25 (evapotranspiration), 0.050 (evaporation)
Coefficient "a" = 0.29 : radiation terme: (a + b²n/N)
Coefficient "b" = 0.42 : radiation terme: (a + b²n/N)
Coefficient du Vent - Vind = Tire de (read from) Table, P.40, Para.2.3. FAO 1979
Ra = Tire de (read from) Table 1, P. 44, FAO 1979.

177

METEO: MAHINA
LAT: 13.7°

SOURCE: DIRECTION DU SERVICE METEOROLOGIQUE, MALI
ALT: 100 METRES

ESTIMEE
ESTIMATED

MOIS/AN MONTH/YR	T MIN	T MAX	T MOY T AVG	T MAX- T MIN	HM. REL. REL. HM.	VENT WIND	EVAP'N Evapo- rometre PICHE	EVAP'N BAC 'A' Class A Pan	PLUIE totale RAIN FALL	JOURS de pluie DAYS of rain	INSOLA- TION totale heures	INSOLA- TION hres/jr hours/da	EVAPOTRANS- PIRATION PENMAN totale	EVAPO- RATION PENMAN totale
	moyen average Cels.	moyen average Cels.	moyen average Cels.	moyen average Cels.	moyen average %	moyen average m/s	mm	mm	mm	jr/day	heures	hours/da	mm	mm
Jan-86	13.5	31.2	22.4	17.7	29	3.2	268.2	*	0.0	0	247.3	8.0	207.7	217.7
Feb-86	16.3	36.7	25.5	18.4	25	2.7	287.8	*	0.0	0	253.4	9.1	197.8	210.1
Mar-86	20.2	38.7	29.5	18.5	17	3.3	392.4	*	0.0	0	284.0	9.2	289.7	303.8
Apr-86	25.8	41.9	33.9	16.1	22	3.7	439.4	*	3.8	2	239.4	8.0	328.5	341.8
May-86	28.5	38.1	32.3	11.8	44	3.8	299.5	*	72.5	7	194.9	6.3	231.4	249.3
Jun-86	25.3	38.0	31.7	12.7	53	3.6	234.7	*	81.0	8	223.0	7.4	218.8	239.4
Jul-86	23.8	32.2	27.9	8.8	71	2.8	101.5	*	245.1	11	199.3	6.4	159.0	188.3
Aug-86	22.9	31.9	27.4	9.0	75	2.4	78.0	*	172.8	15	188.4	6.0	148.0	173.7
Sep-86	22.8	30.2	26.4	7.8	78	2.8	52.7	*	235.8	18	178.7	6.0	132.8	159.5
Oct-86	23.3	34.2	28.8	10.9	68	2.1	40.5	*	87.8	5	229.7	7.4	149.8	178.1
Nov-86	18.8	34.7	25.8	17.9	43	1.8	185.8	*	0.0	0	201.8	6.7	153.8	188.3
Dec-86	13.0	33.3	23.2	20.3	41	2.8	229.9	*	0.0	0	201.7	6.5	189.7	179.7
Jan-87	13.8	35.3	24.6	21.5	41	1.9	238.8	*	0.0	0	231.9	7.5	155.4	188.3
Feb-87	17.1	37.7	27.4	20.8	30	2.7	273.4	*	0.0	0	219.9	7.9	201.7	213.2
Mar-87	20.2	39.5	29.9	19.3	20	2.5	385.3	*	0.0	0	280.7	8.4	248.0	281.2
Apr-87	24.5	42.2	33.4	17.7	22	3.3	408.8	*	0.0	0	202.3	6.7	304.1	314.3
May-87	29.0	41.4	35.2	12.4	38	4.4	338.0	*	15.4	3	154.9	5.0	281.2	293.1
Jun-87	28.4	37.3	31.9	10.9	55	3.8	194.8	*	115.9	7	188.3	6.2	200.9	221.5
Jul-87	24.8	33.3	29.1	8.5	88	3.9	111.8	*	140.5	11	205.1	6.6	181.9	208.7
Aug-87	23.7	31.8	27.8	8.1	77	3.1	88.4	*	137.3	13	155.9	5.0	148.3	172.3
Sep-87	28.8	34.1	31.5	5.3	71	2.8	84.9	*	78.0	8	204.5	6.8	188.8	196.2
Oct-87	22.7	38.1	29.4	13.4	85	2.8	118.4	*	58.8	8	203.2	6.8	187.5	190.7
Nov-87	17.3	37.5	27.4	20.2	43	2.7	182.0	*	0.0	0	227.9	7.8	182.1	208.5
Dec-87	16.5	35.1	25.8	18.8	33	3.1	283.9	*	0.0	0	218.2	7.0	212.4	228.8
Jan-88	21.1	31.8	26.4	10.5	33	3.7	248.4	*	0.0	0	208.1	6.7	184.2	192.8
Feb-88	20.3	34.9	27.8	14.8	22	4.2	328.4	*	0.0	0	188.8	5.8	258.2	283.1
Mar-88	24.2	40.0	32.1	15.8	23	3.4	334.1	*	0.0	0	208.4	6.7	289.9	299.7
Apr-88	28.2	42.5	34.4	16.3	21	3.2	435.4	*	4.2	1	221.2	7.4	305.7	317.1
May-88	27.5	42.5	35.0	15.0	30	3.8	392.8	*	18.1	2	252.8	8.1	310.8	328.1
Jun-88	28.2	38.0	31.1	9.8	59	3.8	158.3	*	188.4	8	188.7	6.2	195.4	217.4
Jul-88	23.8	30.5	27.1	6.9	75	3.1	74.3	*	238.2	16	148.2	4.8	145.0	169.4
Aug-88	23.1	30.4	26.8	7.3	82	2.6	41.8	*	345.5	18	140.8	4.5	129.5	155.7
Sep-88	22.9	31.7	27.3	8.8	78	2.2	49.0	*	197.0	13	178.0	5.9	133.0	159.9
Oct-88	21.7	35.3	28.5	13.8	68	2.3	85.9	*	18.1	3	238.4	7.8	159.7	188.4
Nov-88	18.2	35.3	25.8	19.1	49	2.0	131.7	*	0.0	0	227.8	7.8	155.1	171.4
Dec-88	12.8	32.9	22.8	20.3	33	2.1	209.2	*	0.0	0	244.9	7.9	158.8	188.8
Jan-89	12.9	34.4	23.7	21.5	28	2.5	258.9	*	0.0	0	232.7	7.5	187.3	198.1
Feb-89	17.0	35.1	26.1	18.1	23	3.2	270.2	*	0.0	0	200.4	7.2	224.3	232.2
Mar-89	20.3	39.3	29.8	19.0	22	2.8	369.0	*	0.0	0	249.4	8.0	281.9	275.0
Apr-89	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
May-89	27.0	41.8	34.3	14.8	34	3.7	385.2	*	8.0	5	248.8	8.0	298.7	315.3
Jun-89	25.4	37.3	31.4	11.9	54	3.8	213.7	*	185.4	14	200.7	6.7	205.8	227.0
Jul-89	23.5	30.1	26.8	8.6	78	2.9	69.1	*	59.1	15	205.8	6.8	150.4	179.8
Aug-89	23.0	30.7	26.9	7.7	82	2.8	55.3	*	389.9	18	187.9	5.4	138.0	184.5
Sep-89	22.5	31.8	27.2	9.3	78	2.7	53.3	*	177.9	11	184.0	6.1	137.2	184.5
Oct-89	22.0	34.2	28.1	12.2	71	2.4	73.8	*	41.2	6	220.2	7.1	149.9	178.4
Nov-89	18.7	35.0	26.9	16.3	52	2.8	129.1	*	0.0	0	197.8	6.8	171.7	187.0
Dec-89	13.9	35.4	24.7	21.5	49	2.7	189.0	*	0.0	0	220.8	7.1	188.7	182.4
MOY NOY/AVG	12.8	30.1	22.4	5.3	17	1.8	40.5	*	0.0	0	140.8	4.5	129.5	155.7
MAX	21.4	35.5	28.5	14.1	48	3.0	208.7	*	69.2	5	209.8	6.9	199.1	217.0
MIN	29.0	42.5	35.2	21.5	82	4.4	439.4	*	369.9	18	284.0	9.2	328.5	341.8

MOYENS ANNUELS - YEARLY AVERAGES

TOTAUX ANNUELS - YEARLY TOTALS

1986	20.8	34.9	27.9	14.1	47.2	2.9	2808	*	879	64	2640	*	2383	2604
1987	22.1	38.8	29.4	14.7	48.9	3.1	2674	*	542	40	2471	*	2160	2867
1988	22.1	35.3	28.7	13.2	47.8	3.0	2485	*	1011	81	2422	*	2425	2830
1989	*	*	*	*	*	*	*	*	(822)	(99)	*	*	*	*

180