

PD-ABD-853

ISA 75965

**RAPPORT DE SYNTHÈSE
HYDROGÉOLOGIQUE
DELTA DU FLEUVE SENEGAL**

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

Rapport Final

Volume II

June 1990

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

**RAPPORT DE SYNTHÈSE
HYDROGÉOLOGIQUE
DELTA DU FLEUVE SENEGAL**

Projet OMVS/USAID 625-0958
Eaux Souterraines

Rapport Final

Volume II

Redigé 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 INTRODUCTION	
1.1 Origine du projet	1
1.2 Objectifs du projet	1
1.3 Auteurs de ce rapport	2
1.4 Intervenants dans ce projet	2
1.5 Divers	3
2 DELTA - PRESENTATION DU MILIEU NATUREL	
2.1 Généralités	4
2.2 Géographie physique	4
2.2.1 Observations topographiques	4
2.2.2 Réseau hydrographique	5
2.3 Développement agricole - actuel et projeté	6
3 DELTA - INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES	
3.1 Endiguements	8
3.2 Ouvrages de gestion hydraulique	8
3.3 Périmètres hydroagricoles existants	12
3.4 Découpage en biefs et sous biefs du réseau hydrographique	13
3.5 Réseau piézométrique OMVS	15
4 DELTA - CARACTERISATION DU MILIEU AQUIFERE	
4.1 Définition à priori	16
4.2 Définition géostatistique	17
4.2.1 Couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt)	18
4.2.2 Couche #2 semi-perméable (argile et/ou silt)	20
4.2.3 Réservoir aquifère.	22
5 DELTA - CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE	
5.1 Paramètres hydrauliques structuraux	24
5.1.1 Résultats des essais de perméabilité à niveaux descendants	24
5.1.2 Résultats des essais de pompage	28
5.2 Hydrogéochimie	31
5.2.1 Faciès hydrogéochimiques	32
5.2.2 S.A.R - Coefficient d'absorption du sodium	33
5.2.3 T.D.S. - Solides totaux dissous	33
5.2.4 Pesticides et herbicides	34
6 CYCLES DE FLUCTUATIONS PLURI-ANNUELLES - PERIODE 87 - 89	
6.1 Profondeurs des niveaux d'eau par rapport au sol	36
6.2 Niveaux piézométriques (cotes IGN)	37
6.3 Zones à nappes captives et/ou libres	40
6.4 Valeurs de conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$ = micro Siemens par cm)	41
6.4.1 Wilcoxon Rank-Sum Test	43
6.4.2 Wilcoxon Signed-Rank Test	44
6.4.3 Conductivité électrique - différenciation par compartiment	44
6.4.4 Exploitation cartographique des valeurs de conductivité électrique	46

7 EVALUATION DES APPORTS ET DES PERTES	
7.1 Apports pluviaux et induits par irrigation	48
7.2 Apports - Infiltration latérale berge lit mineur, fleuve et défluent	52
7.2.1 Vitesses interstitielles d'écoulement horizontal	55
7.2.2 Evaluation des distances d'influence et des volumes d'infiltration au droit du lit mineur du fleuve	56
7.3 Pertes par évaporation.	60
7.3.1 Relation hydraulique entre les compartiments inférieur et supérieur de l'aquifère	61
8. CONCLUSIONS	
8.1 Caractérisation du milieu aquifère	65
8.1.1 Définition de l'aquifère	65
8.1.2 Extension du réservoir aquifère	65
8.2 Caractérisation hydrogéologique	66
8.2.1 Paramètres hydrauliques structuraux	66
8.2.2 Nappe libre et/ou captive	66
8.2.3 Flux horizontal	67
8.2.4 Flux vertical	68
8.2.5 Hydrogéochimie	69
8.3 En résumé	69
9 RECOMMANDATIONS	
9.1 Programmes de travail à court terme	71
9.1.1 Poursuite des travaux d'interprétation - petite échelle	71
9.1.2 Poursuite des travaux d'interprétation - grande échelle	71
9.1.3 Modifications aux procédures de mesure de la conductivité électrique	72
9.2 Programmes de travail à moyen et long terme	73
9.2.1 Monitoring de la salinisation des sols (recommandation BRGM)	74
9.2.2 Echanges hydrauliques latéraux et verticaux avec les formations du Quaternaire (proposition BRGM)	75

REFERENCES

DOCUMENT ANNEXE (présenté à part)

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Delta - fluctuations limnimétriques pluri-annuelles	10
Figure 2 Couche semi-perméable #1 - distribution de son épaisseur (m)	18
Figure 3 Couche semi-perméable #2 - distribution de son épaisseur (m)	21
Figure 4 Compartiment supérieur de l'aquifère - distribution de log(K) vs formation géologique	25
Figure 5- Compartiment inférieur de l'aquifère - distribution de log(K) vs formation géologique	25
Figure 6 S.A.R. - distribution par compartiment supérieur et inférieur de l'aquifère	32
Figure 7 Distribution des profondeurs de niveaux d'eau (m/sol) par saison	36
Figure 8 Piézomètre GA0201- Variation de conductivité (μ S/cm) vs profondeur (m/sol)	42
Figure 9 GA0147 - Variation de conductivité (μ S/cm) vs profondeur (m/sol)	42

LISTE DES CARTES

carte #1 "Topographie du Ouallo (m /0 IGN) (dlt top)"	5
carte #2 "Localisation des grands périmètres et de la digue - rive droite et rive gauche (dlt str)"	8
carte #3 " Localisation des Ouvrages Hydrauliques, des pluviomètres, des échelles limnimétriques (dlt equi)"	9
carte #4 " Réseau piézométrique OMVS, localisation des puits, localisation des piézomètres (dlt a b)"	15
carte #6 "Couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt - Zones Probables de Discontinuité (dlt ag1d)"	19
carte #5 "Couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt - isopaches (épaisseur) en mètres (dlt ag1e)"	19
carte #8 "Couche #2 semi-perméable (argile et/ou silt - Zones probables de Discontinuité (dlt ag2d)"	21
carte #7 "Couche #2 semi-perméable (argile et/ou silt - Isopaches (épaisseur) en mètres (dlt ag2e)"	21
carte #9 "Réservoir aquifère - Isohypses de son toit (m/ 0 IGN) (dlt aq1t)"	22
carte #10 "Réservoir aquifère - compartiment supérieur - isohypses de son mur (m/0 IGN) (dlt aq1b)"	23
carte #11 "Réservoir aquifère - compartiment supérieur - Isopaches (épaisseur) en mètres (dlt aq1e)"	23
carte #12 "Carte de localisation des sites de pompage d'essai (dlt locq)"	28
carte #13 "Analyses d'eau de type non chloruré sodique (sw_gwchm)"	33
carte #14 "S.A.R. - coefficient d'absorption du sodium - période 1987 - 1988 (sar)"	33
carte #15 " T.D.S. - Solides totaux dissous (mg/l) valeur provenant du laboratoire (tds)"	33
carte #16 " Profondeur niveau d'eau - Juin 88 (m/sol) -compartiment supérieur aquifère (nv 8806)"	36
carte #17 "Profondeur niveau d'eau - Octobre 88 (m/sol) - compartiment supérieur aquifère (nv 8810)"	37
carte #18 "Piézométrie - Juin 88 - <u>avec</u> cotes plans d'eau - compartiment supérieur aquifère (m/0 IGN) (z1 8806)"	40
carte #19 "Piézométrie - Juin 88 - <u>sans</u> cotes plans d'eau - compartiment supérieur aquifère (m/0 IGN) (zgw8806)"	40
carte #20 "Piézométrie - Octobre 88 - <u>avec</u> cotes plans d'eau - compartiment supérieur aquifère (m/0 IGN) (z1 8810)"	40
carte #21 "Piézométrie - Octobre 88 - <u>sans</u> cotes plans d'eau - compartiment supérieur aquifère (m/0 IGN) (zgw8810)"	40
carte #22 "Remontée du niveau d'eau libre (mètres) entre Octobre 88 et Juin 88 <u>avec</u> les cotes de plans d'eau (re 88106)"	40
carte #23 "Remontée du niveau d'eau libre (mètres) entre Octobre 88 et Juin 88 <u>sans</u> les cotes de plans d'eau (zgw 1006)"	40
carte #24 " Zones à nappe captive ou libre - Juin 88 (ty 8806)"	40
carte #25 " Zones à nappe captive ou libre - Octobre 88 (ty 8810)"	40
carte #26 " Conductivité Electrique - Juin 89 (μ S/cm) - piézomètres seuls- compartiment supérieur de l'aquifère (co 8906t)"	46
carte #27 " TDS (calculés) - Solides Totaux Dissous - octobre 88"	46
carte #28 "Gradient hydraulique vert. (l vert.) Juin 88 - zones à valeurs négatives ou positives - compartiments supérieur - inférieur de l'aquifère (iv 8806)"	61
carte #29 "Gradient hydraulique vert. (l vert.) Octobre 88 - zones à valeurs négatives ou positives - compartiments supérieur - inférieur de l'aquifère (iv_8810)"	61

LISTE DES TABLEAUX

Tableau #1 - Delta - Rives Gauche (RG) et Droite (RD) - Liste des ouvrages vannés et des barages existants au cours de la période 1986 - 1989	9
Tableau #2: DELTA - GRANDS PERIMETRES HYDRO-AGRICOLES (SAED, SONADER, PRIVE)	12
Tableau #3: Réseau hydrographique du Delta - Découpage en biefs et sous biefs	14
Tableau #4: Paramètres hydrauliques de l'aquifère	28
Tableau #5: Période 1986 - 1989 - précipitation annuelle	37
Tableau #6: fluctuations moyennes inter-saisonnières	38
Tableau #7: Observations régionales sur les variations de charges hydrauliques inter-saisonnières	39
Tableau #8: Distribution des valeurs saisonnières de conductivité électrique	41
Tableau #9: Test de Wilcoxon Rank-Sum - Valeurs saisonnières de Z	44
Tableau #10: Juin 89 - Distribution des valeurs de conductivité par compartiment inférieur et supérieur de l'aquifère	45
Tableau #11: relation conductivité = fct(minéralisation)	46
Tableau #12: Besoins en eau globaux (culture du riz)	49
Tableau #13: Estimation de l'infiltration superficielle en zone irriguée (LP)	51
Tableau #14: Estimation de l'infiltration superficielle en zone non irriguée(HP)	51
Tableau #15: Liste des piézomètres par lignes piézométriques (L1 A L7)	53
Tableau #16: Lignes piézométriques transversales	54
Tableau #17: vitesse moyenne linéaire interstitielle v_n (m/an), si $n = 0.08$ (silt)	56
Tableau #18: vitesse moyenne linéaire interstitielle v_n (m/an), si $n = 0.15$ (sable et silt)	56
Tableau #19: vitesse moyenne linéaire interstitielle v_n (m/an), si $n = 0.23$ (sable à grains fins)	56
Tableau #20: Valeurs de h/h_b - vs - période d'oscillation	58
Tableau #21: Temps de répercussion ($t_L = \text{jrs}$) - vs - période d'oscillation	58
Tableau #22: Volumes d'eau infiltrés par mètre de berge ($V_{mt} = \text{m}^3/\text{m}$)	58
Tableau #23: Volumes totaux d'eau infiltrés ($V = \text{m}^3$)	59
Tableau #24: Evaluation du volume d'eau évaporé (m^3/an)	61
Tableau #25: Liste des piézomètres par lignes piézométriques (L8 A L12)	63

LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE 1** **LARGEUR (m) ET PROFONDEUR (m/0 IGN) DU LIT MINEUR ENTRE LES BORNES KILOMETRIQUES (PK) 25 KM ET 143 KM**
- ANNEXE 2** **VARIATION DES COTES DES PLANS D'EAU LIBRES PERIODE 1987 - 1989**
- ANNEXE 3** **RAPPEL GEOLOGIQUE ET DONNEES ACQUISES PAR LE PROJET**
- ANNEXE 4A** **RECEUIL DES SECTIONS GEOLOGIQUES**
*** 13 sections à caractère régional (espacement kilométrique des piézomètres)**
- ANNEXE 4B** **RECEUIL DES SECTIONS GEOLOGIQUES**
*** 5 sections à caractère local (espacement métrique des piézomètres) perpendiculaire au lit du fleuve Sénégal**
- ANNEXE 4C** **RECEUIL DES SECTIONS GEOLOGIQUES**
*** 10 sections localisées dans les limites des périmètres hydroagricoles**
- ANNEXE 4D** **RECEUIL DES SECTIONS GEOLOGIQUES**
*** 6 sections décrivant les sites de pompages**
- ANNEXE 5** **DISTRIBUTION DES VALEURS DE CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE PAR FM GEOLOGIQUE ET PAR COMPARTIMENT SUPERIEUR ET INFERIEUR DE L'AQUIFERE**
- ANNEXE 6** **LISTE DES ECHANTILLONS D'EAU SOUTERRAINE ET DE SURFACE TABLEAUX DES RESULTATS ET REPRESENTATIONS GRAPHIQUES**
- ANNEXE 7** **PESTICIDES ET HERBICIDES UTILISES PAR LA CSS ET LA SAED NATURE ET TAUX D'EPANDAGE**
- ANNEXE 8** **PROFILS PIEZOMETRIQUES OBSERVES SUR LES LIGNES PIEZOMETRIQUES PERPENDICULAIRES AUX ABORDS DU FLEUVE CYCLES HYDROGEOLOGIQUES 1988 ET 1989**
- ANNEXE 9** **OBSERVES DANS LES LIMITES DE CERTAINS GRANDS PERIMETRES HYDROAGRIQUES**
- ANNEXE 10** **STATIONS METEOROLOGIQUES DE ST LOUIS ET DE RICHARD TOLL**
- ANNEXE 11** **ECHELLES LIMNIMETRIQUES DE DIAMA AMONT DIAMA AVAL ROSSO LAC DE GUIERS DAKAR BANGO PERIODE 1986 - 1989**

1 INTRODUCTION

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 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 au 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 II couvrant la région du delta du fleuve Sénégal.

De façon générale, les activités du projet, couvrant toute la vallée du fleuve Sénégal et le voisinage immédiat 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 pour le développement agricole.

1.3 Auteurs de ce rapport

Ce rapport, disponible en français et en anglais, a été rédigé par M. Denis Richard, ingénieur conseil (ISTI) en collaboration avec M. E. Weiss, expert USGS, suite à l'exploitation systématique de la base informatique GES (réalisation du projet) et Groundwater ainsi que des nombreux outils informatiques annexes (WP5, Lotus, Surfer, Grapher et autres). M. Weiss a contribué en particulier à la rédaction des chapitres 4 au complet, 7.2.1. et 7.2.2.

M. Thomas Pekiutowsky, expert indépendant et mandaté par USAID, a rédigé les annexes #10 et #11. L'annexe #10 cumule les paramètres climatologiques moyens mensuels (période 1986 - 1989: 4 année) et l'annexe #11 présentent les données hydrologiques moyennes mensuelles du delta pour la même période.

1.4 Intervenants dans ce projet

La rédaction de ce rapport couvrant la région du delta de la vallée du fleuve Sénégal a été possible grâce à l'effort de l'ensemble des intervenants dont:

- * les effectifs nationaux des bureaux de secteurs (M. L. Sangare, chef de secteur de St Louis, Sénégal, M. A. Ndiayes, chef de secteur de Rosso, Mauritanie et M. Toure, chef de secteur de Manantali, Mali) 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.

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, un ingénieur conseil, M. D. Richard.

INFORMISSION, sous-traitant de ISTI, 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 modélisation) ont participé à l'orientation des travaux d'interprétation et la révision de l'objectif 1).

1.5 Divers

Ce rapport de synthèse décrit le milieu hydrogéologique du delta en s'appuyant largement sur le traitement cartographique des données. Toutes les cartes groupées dans ce rapport et bien d'autres peuvent être consultées et imprimées aisément à partir du système GES. Dans le texte de ce rapport,

associé au nom des cartes, on trouvera le nom du fichier (entre parenthèse) correspondant à chacune des cartes permettant de consulter la carte en couleur à l'écran et d'obtenir éventuellement son impression.

2 DELTA - PRESENTATION DU MILIEU NATUREL

2.1 Généralités

Le delta du fleuve Sénégal est une entité géographique de forme triangulaire dont le sommet est situé à une centaine de kilomètres du littoral marin (ville de Richard Toll) et sa base s'étend de l'embouchure du fleuve Sénégal sur un front marin de plus de 100 km. Les cotés de ce triangle sont définis par une limite dite Ouallo/Dieri. Ouallo est le terme consacré désignant le lit majeur du fleuve (plaine inondable) par opposition au Dieri terme également consacré désignant la zone semi-désertique bordant ses cotés Nord et Sud. La limite du Ouallo/Dieri est celle fixée par les travaux pédologiques de la S.E.D.A.G.R.I. (1973).

L'OMVS, Cellule d'Evaluation et de Planification Continue, Septembre 1988 a proposé un découpage géographique de la vallée, lequel a été adopté par le projet¹.

Le delta du fleuve Sénégal s'étend du littoral de l'océan Atlantique jusqu'à la jonction de la défluvence de la Taouey et du fleuve Sénégal (PK143).

PK signifie point kilométrique mesuré le long du cours du fleuve Sénégal. Le point de départ de ces points kilométriques est le pilier central du pont Faidherbe (PK0), à St Louis.

La superficie du delta comprise entre ces limites est de 4343 km². Cette superficie inclut celle du Lac de Guiers. La superficie du lac de Guiers², fonction de la cote de son plan d'eau, varie de 175 km² (cote Z = 0.0 m/0 IGN) à 275 km² (cote Z = 1.8 m/0 IGN).

La région du delta est comprise entre les latitudes Nord 15° et 16°.

2.2 Géographie physique

2.2.1 Observations topographiques

Les cartes topographiques (IGN) à l'échelle 1/50,000 montrant les courbes de niveau globale dans les limites du delta n'existent pas. L'amplitude du relief deltaïque est métrique et plus généralement centimétrique.

Les caractéristiques topographiques de l'ensemble du delta du fleuve Sénégal (Ouallo) ont été restituées suite à un calcul géostatistique (Distance Inverse - 10 points le plus près) basé sur la digitalisation de 12,656 cotes IGN réparties à l'intérieur du Ouallo - zone inondable.

Les sources d'informations topographiques ayant permis cette restitution sont nombreuses et de natures diverses. Ce sont les cartes topographiques 1:50,000 partiellement renseignées, les restitutions photogrammétriques (mosaïques EIRA à l'échelle 1:50,000) produites à partir de photographies aériennes et des levés topographiques à caractère plus limité réalisés dans le cadre des travaux de constructions des périmètres hydroagricoles dans le delta.

Le lecteur consultera la carte #1 "Topographie du Ouallo (m /0 IGN) (dit top)" ci-après, sur laquelle on trouvera en surcharge la localisation du réseau piézométrique OMVS (puits = carré demi-noirci et piézomètre - cercle noirci).

Les courbes de niveau sont distantes de 3 mètres et la première courbe visible est celle de deux (2) mètres. Les valeurs minimale et maximale varient de la cote -1 à 10 mètres. La répartition des superficies planaires hypsométriques par classe de cotes IGN, pour l'ensemble du delta (rive droite et rive gauche) est:

¹ R. #: OMVS\CEPC, sept. 1988, p.3.

² R. #: COGELS et Alt., 1982, p 46.

COTE ASL	AIRE KM ²	% AIRE TOTALE
< 10	4343.8	100.00%
< 8	4325.6	99.58%
< 5	4172.5	96.06%
< 3	3754.5	86.43%
< 2	3206.9	73.83%
< 1	1668.0	38.40%
<.5	426.9	9.83%
< 0	26.5	0.61%

La superficie en planimétrie du delta en rive droite est de 1664 km² et celle du delta rive gauche est de 2679 km².

Le relief est extrêmement plat, généralement inférieur à 2.0 mètres (73.83% de la superficie du delta est à une cote < 2 mètres), principalement dans la partie centrale du delta. Les reliefs les plus remarquables sont associés:

- * aux toundous - terme consacré désignant les anciennes dunes arasées appartenant aux sédiments Ogoliens. Ces formes topographiques sont délimitées par la courbe de niveau 2 mètres. Ces reliefs sont alignés dans un axe Nord-Sud de part et d'autre du barrage de Diama et de la digue vanne Mbell et dans un axe N.E.-S.O. entre le marigot Lampsar et la limite du Ouallo/Dieri.

- * aux dunes récentes du littoral pouvant atteindre dans certains cas une cote de 15 mètres.

Dans le Dieri, les cotes IGN varient de 5 à 15 mètres. Toutefois, le relief est insuffisamment connu et, par conséquent, non digitalisé.

Il est évident que cette carte topographique a été dressée pour les besoins hydrogéologiques du projet et ne s'adresse nullement aux aménagistes du delta.

2.2.2 Réseau hydrographique

Dans la région du delta, le lit mineur du fleuve Sénégal est très large (jusqu'à 800 m) même à l'étiage et très profond (parfois, 16 mètres) (voir annexe 1). Son tracé hydrographique est spatialement fixe et sa pente de Richard Toll à son embouchure est de 0,6 cm/km².

Le fleuve Sénégal possède plusieurs défluent:

- * en rive droite, le Ndiadier, le Mbell, le Gouere, le Garak,
- * en rive gauche, le Djoudj, le Gorom, le Djeuss, le Lampsar.

Avant la mise en place d'un système de gestion hydraulique des eaux de surface, tous ces marigots étaient des défluent, c'est-à-dire qu'ils étaient remplis lors du passage de la crue du fleuve Sénégal et se vidaient progressivement avec la baisse des plans d'eau libres après la saison des pluies. Non pérennes, ils tarissaient.

Aujourd'hui, avec la gestion hydraulique des eaux de surface, la plupart de ces marigots sont, du moins sur une partie de leur parcours, pérennes. Ces marigots sont utilisés comme canaux naturels d'irrigation ou de drainage. Les niveaux d'eau sont donc entretenus artificiellement, suivant les cycles agricoles théoriquement possibles: hivernage (HIV) de juillet à octobre, contre saison froide (CSF) démarrant entre le 1 octobre et le 1 novembre et contre saison chaude (CSC) démarrant entre le 15 février et le 15 mars pour la culture du riz.

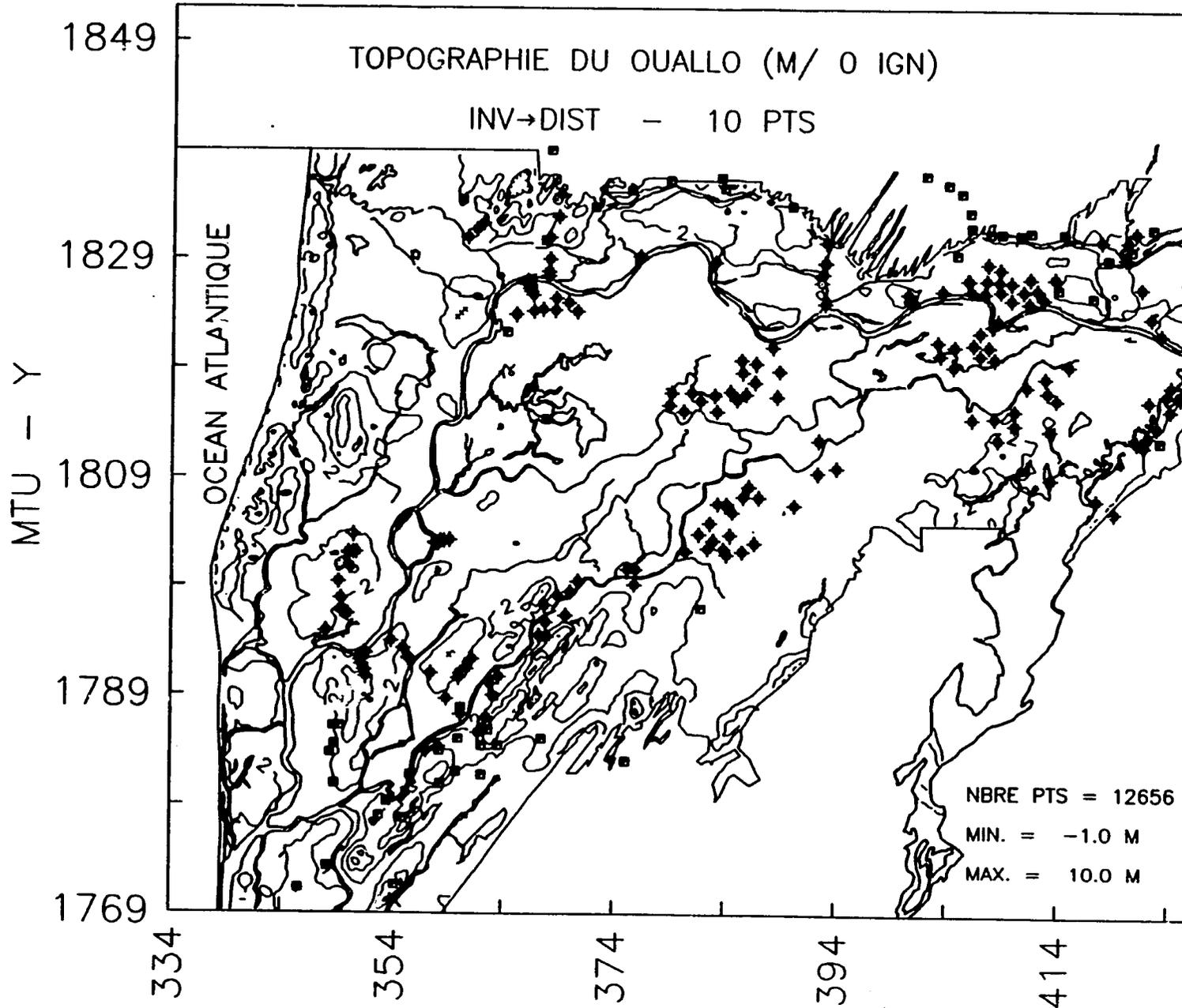
² R#.: P.N.U.D./F.A.O., 1977, p. 30.

5

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 1



2.3 Développement agricole - actuel et projeté

Le delta du Fleuve Sénégal, grâce au cycle crue/décru (apport de limon), est une zone agricole à haut potentiel comme en témoignent les aménagements actuels et projetés. Il est, actuellement, de loin la région agricole la plus développée de la vallée.

Le développement agricole s'est accéléré suite à la réalisation des barrages de Diama (delta du fleuve Sénégal) et de Manantali (Haut bassin). La mise en fonctionnement de ces barrages est respectivement le mois de novembre 86 (Diama) et le mois de juillet 87 (Manantali). L'exploitation conjuguée de ces barrages permet d'accroître les potentialités agricoles des terres du Ouallo grâce à la régularisation de la crue naturelle du fleuve (barrage de Manantali) et au blocage de l'invasion des eaux salées⁴ telle qu'observée par le passé (barrage de Diama).

La superficie agricole utile (SAU)⁵ du delta se situe entre 33,800 ha et 134,384 ha. La limite inférieure est déduite d'une analyse topographique et géomorphologique du delta (CHAUMENY, 1972)⁶ et la limite supérieure, d'une analyse pédologique et agricole des sols du delta (S.E.D.A.G.R.I. 1973)⁷.

(SAU) est la surface cultivable. Elle est obtenue par déduction de la surface brute (SB) ou géographique, de la superficie des zones non cultivables:

- * forêts classées ou en défens,
- * étendues d'eau (mares permanentes et cours d'eau),
- * emprises des villes, villages, voies de communication,
- * zones non cultivables pour des raisons de qualité du sol (pédologiques ou géologiques), manque de drainage, relief, salure...

Dans le delta, pour l'année de référence 1987, les superficies aménagées nettes irrigables (SNI) s'élevaient à 20059 ha et les superficies cultivées (SC) à 10270 ha. Par rapport à la superficie cultivée (SC), le potentiel agricole du delta serait exploité à 30.4% ou 7.6% selon la limite considérée.

(SNI) est la superficie qui peut être effectivement irriguée et cultivée. Elle est obtenue par déduction après aménagement de la superficie agricole utile (SAU), des emprises des ouvrages et des infrastructures d'exploitation: endiguements, canaux d'irrigation et de drainage, voies de desserte, aires de battages, batiments....

(SC) est la part de la SNI qui est mise en culture au cours d'une campagne agricole donnée. Elle est toujours inférieure ou égale à la SNI et correspond aux aménagements existant effectivement cultivés pour la saison concernée.

Par rapport à la surface géographique totale du delta (4343 km²), la superficie cultivée (SC) soumise à une culture irriguée (riz) (102.7 km² - 1987) était de 2.36%.

⁴ Voir GAC et Alt. 1986.

⁵ Réf.: PES, 1989.

⁶ Réf.: P.N.U.D.\F.A.O., 1977, tableau 6, P. 253, Delta non salé et dessalement facile.

⁷ Réf.: P.N.U.D.\F.A.O., 1977, tableau 4, p. 250 et p. 21. SAU = total des superficies des classes d'aptitude culturale 1, 1R, 2, 2R, excluant les classes 6 et 6R. Planimétrie réalisée par le chef de secteur de St Louis. Les classes d'aptitudes culturales se définissent comme suit:

CLASSE 1	: FACILEMENT IRRIGABLE
CLASSE 2	: IRRIGABLE
CLASSE 1R	: RIZICULTIVABLE
CLASSE 2R	: RIZICULTIVABLE
CLASSE 6	: NON IRRIGABLE (terres salées)
CLASSE 6R	: NON IRRIGABLE (texture grossière, drainage impossible, topographie irrégulière).

En retenant la limite supérieure de la superficie agricole utile (SAU) (1343.84 km² - S.E.D.A.G.R.I.) et dans l'hypothèse où la totalité de ce potentiel serait irriguée, 30.9% de la superficie géographique du delta seraient soumis à une contrainte hydraulique induite: l'irrigation.

3 DELTA - INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES

3.1 Endiguements

Dans le cadre de son développement agricole, le schéma hydraulique du delta a grandement évolué depuis 1964, date de mise en place de la digue périphérique le long du fleuve Sénégal en rive gauche. Cette digue a permis aux gestionnaires du développement agricole (delta rive gauche) d'accéder à une agriculture irriguée à grande échelle avec planification du système d'alimentation en eau et de drainage.

L'équivalent en rive droite n'existe pas encore (mars 1990), bien que les travaux soient en cours.

Les tracés de ces digues (RG = existante et RD = en cours de construction) et des limites des grands périmètres sont visibles sur la carte #2 "Localisation des grands périmètres et de la digue - rive droite et rive gauche (dit str)" (lignes parallèles au fleuve = digue; zones hachurées = grands périmètres hydroagricoles).

Depuis 1964, le delta en rive gauche est soustrait au cycle annuel d'inondation naturelle correspondant au passage de l'onde de crue et à la saison des pluies. La digue a permis un développement agricole passant par des phases de submersion contrôlée jusqu'à la réalisation d'une agriculture irriguée à grande échelle avec maîtrise totale de l'eau.

En l'absence de la digue en rive droite, les eaux de crue débordent annuellement sur cette rive. La répartition des superficies planes hypsométriques par classe de cotes IGN du *delta en rive droite* et les capacités de stockage en millions de mètres cubes par classe retenue, est:

COTE IGN	AREA KM ²	VOLUME 10 ⁶ m ³
<10	1664.0	NA
<3	1348.5	NA
<2.5	1220.3	1,287
<2	995.7	776
<1.5	676.2	385
<1.25	534.5	257
<1	385.0	152
<.5	135.0	42

L'examen de la figure #1 montre que les cotes moyennes mensuelles du niveau d'eau du fleuve ont atteint les valeurs de 1.25 mètres, cotes maintenues sur des périodes variant de 3 à 6 mois selon l'année concernée. A cette cote correspond un volume maximal de stockage de 257 millions de mètres cubes si le temps de remplissages des diverses cuvettes était suffisamment long pour atteindre un équilibre avec le potentiel de remplissage et la capacité de stockage des cuvettes et si les cuvettes appartenant à ce potentiel étaient hydrauliquement intercommunicantes.

3.2 Ouvrages de gestion hydraulique

Les ouvrages de gestion hydraulique (barrage route, barrage, ouvrages vannés, etc.) localisés dans les limites du delta en rive droite et gauche sont énumérés dans le tableau #1. Plusieurs de ces ouvrages sont localisés dans le corps de la digue en rive gauche à l'embouchure des défluent et d'autres sont implantés le long de leur parcours.

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 2

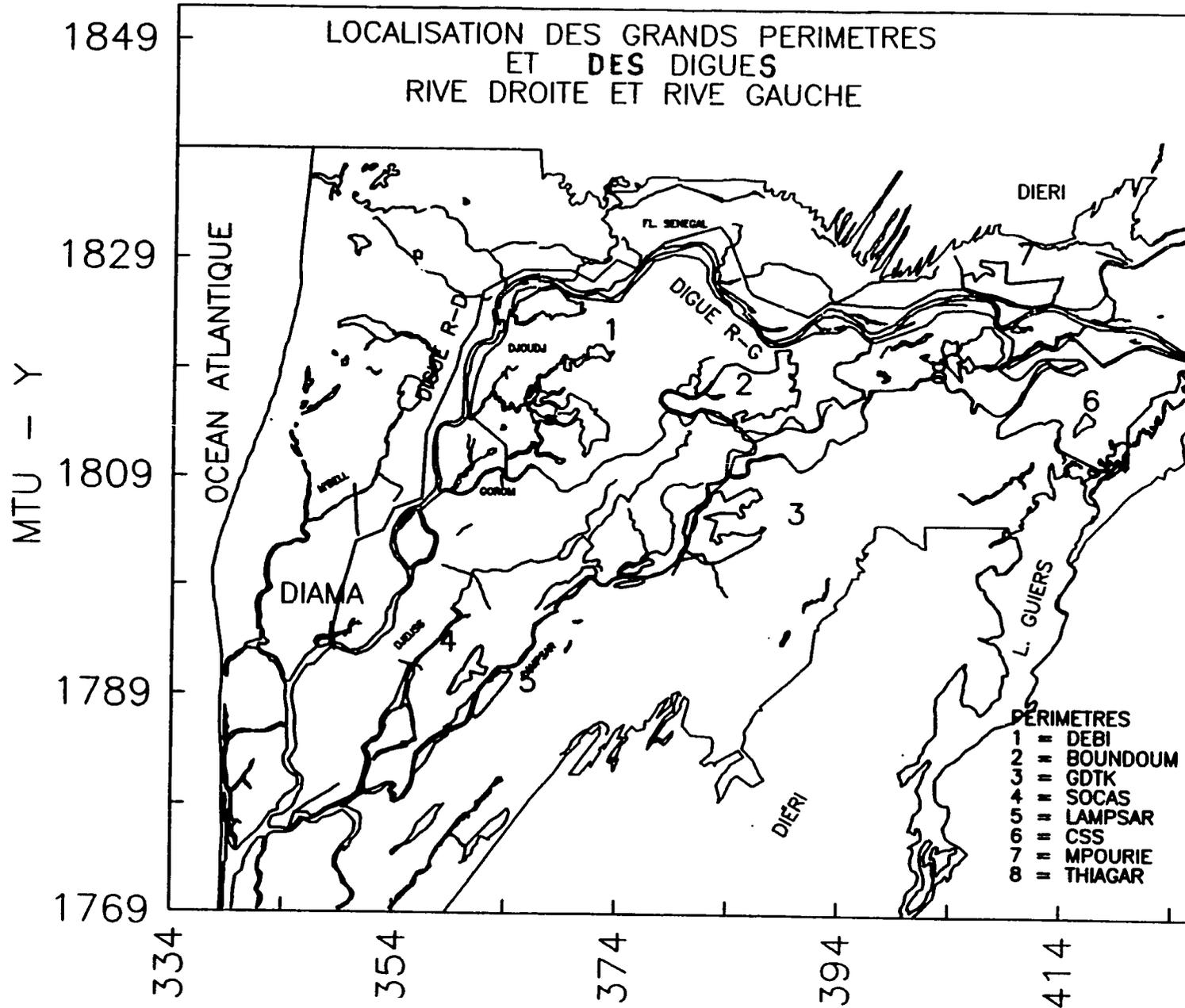


Tableau #1 - Delta - Rives Gauche (RG) et Droite (RD) - Liste des ouvrages vannés et des barages existants au cours de la période 1986 - 1989

RIVE	NOM OUVRAGE	MTU-X	MTU-Y	COURS D'EAU	GERE O/N
RG	PONT BARRAGE DE BANGO	344.2	1777.9	LAMPSAR	O
RG	BARRAGE DE DIAOUDOM	350.6	1776.7	N'GALAM	O
RG	OUVRAGE J KEUR MOMAR SOW	356.4	1792.2	DJEUSS	N
RG	BARRAGE DE MAKHANA	354.5	1781.3	LAMPSAR	N
RG	PONT BARRAGE DE NDIOL	361.3	1787.0	LAMPSAR	O
RG	PONT BARRAGE DE ROSS BETHIO	377.8	1800.2	LAMPSAR	O
RG	OUVRAGE DE N'DONQ	385.7	1813.7	LAMPSAR/GOROM AM	N
RG	OUVRAGE DE DIAMBAR	396.2	1816.6	GOROM AM	N
RG	OUVRAGE DE DIOVOL	396.2	1817.4	GOROM AM	N
RG	OUVRAGE G GOROM	364.7	1810.0	GOROM AV	N
RG	OUVRAGE W DE GAELA	382.4	1815.8	GOROM AV	N
G+D	BARRAGE DE DIAMA	349.0	1794.1	FL. SENEGAL	O
RD	DIGUETTE M'BELL	350.9	1808.0	M'BELL	N
RG	OUVRAGE I	356.5	1797.4		N
RG	OUVRAGE H DE THIENG	360.5	1804.3		N
RG	OUVRAGE F DU DJOUDJ	361.9	1815.2	DJOUDJ	O
RG	OUVRAGE E DE DEBI	364.9	1823.0		O
RG	OUVRAGE D - ILE AUX CAIMANS	376.0	1826.9	DJOUDJ	O
RG	OUVRAGE C DE THIAOUWAR	389.1	1821.5		N
RG	OUVRAGE B DE RONCQ	397.0	1821.6	GOROM AM.+LAMPSAR	N
RG	OUVRAGE A DE THIAGAR	408.8	1822.5		N
RG	OUVRAGE DU NDIADIER	364.7	1827.2	NDIADIER	N
RG	PONT ROUTE TAHOUHEY	425.8	1820.7	TAHOUHEY	O

SOURCE: SAED - Carte Hydraulique (année imprécisée)

La localisation de ces ouvrages hydrauliques ainsi que celle des postes pluviométriques, les échelles limnimétriques et de quelques villes repères est présentée à la carte #3 " Localisation des Ouvrages Hydrauliques, des pluviomètres, des échelles limnimétriques (dit equi)" (carré noirci = barrage ou ouvrage vanné; dague = échelle limnimétrique; triangle = poste pluviométrique; cercle = ville).

Parmi ces ouvrages, ceux qui ont été exploités au cours de la période 1986 - 1989 sont indiqués par la lettre O dans la colonne "Géré O/N". Toutes ces infrastructures ont été équipées (le sont toujours) d'une échelle limnimétrique calée sur le zéro IGN, toutefois, peu d'entre elles ont été suivies à l'exception des échelles localisées en aval et en amont du barrage de Diama, le pont barrage de Dakar Bango et le pont route de la Tahouey.

Seuls les ouvrages exploités seront, ci-après, brièvement décrits dans leur fonctionnement.

BARRAGE DE DIAMA

Le barrage de Diama, achevé en 1986, a été mis en fonctionnement au mois de novembre 1986. La figure #1 montre les cycles de fluctuations pluri-annuelles du plan d'eau libre amont du barrage. Au cours de la période du suivi piézométrique correspondant aux activités du projet (1986 - 1989), les cotes moyennes mensuelles d'exploitation ont varié de -0.26 à 1.37 m à l'échelle amont du barrage de Diama (voir figure #1).

* Communication personnelle avec M. J. Petolon, conseiller technique à la SAED.

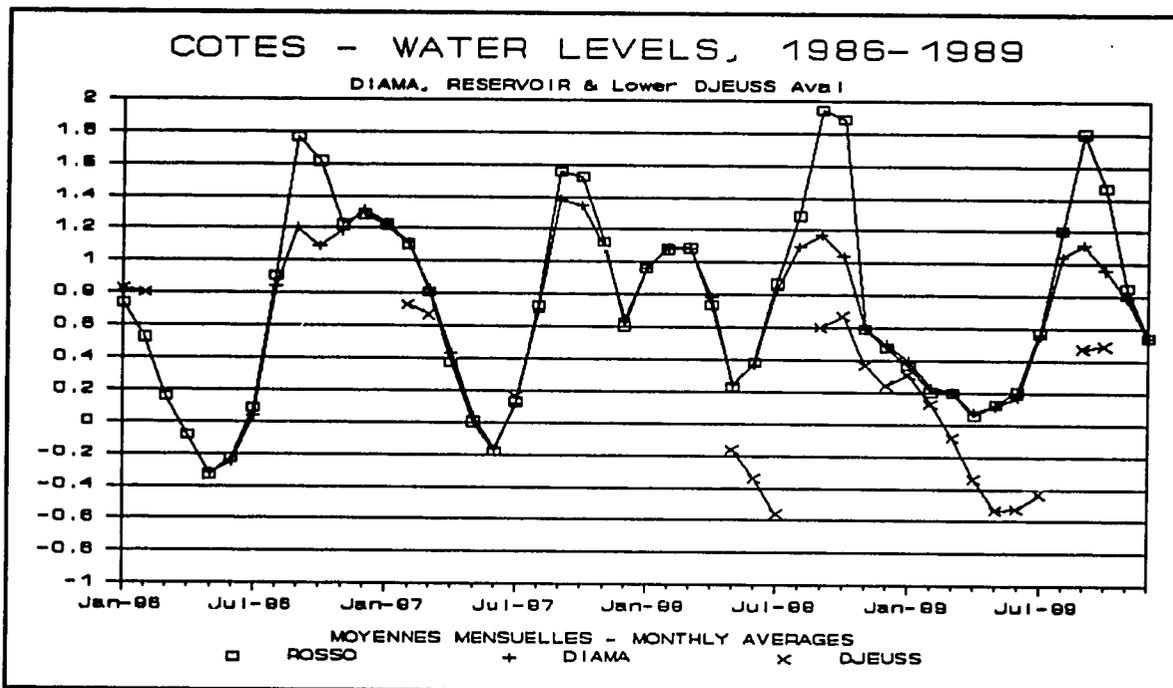


Figure 1 Delta - fluctuations limnimétriques pluri-annuelles

Depuis cette date, la remontée de la langue salée observée par le passé, a été stoppée. Cette affirmation est partiellement vraie, dans la mesure où l'exploitation conjuguée des barrages de Diama et de Manantali a été possible seulement à partir du mois de juillet 87, un an après la mise en exploitation du barrage de Diama. Cette mise en fonctionnement des barrages, à des temps différents, a forcé les responsables de la gestion du barrage de Diama, à ouvrir partiellement les vannes à la fin de la saison sèche 86/87.

Les cotes prévues d'exploitation du plan d'eau en amont du barrage de Diama, seulement après l'achèvement de la construction de la digue en rive droite, varieront entre les valeurs 1.5 m et 2.5 m. Ces cotes d'exploitation créeront un plan d'eau respectivement jusqu'à l'Est de Boghe (PK395) ou à l'Est de Cas-Cas (PK442)*.

On notera que les variations des niveaux d'eau de surface à Rosso sont identiques à celles de Diama, à l'exception du passage de l'onde de crue (1988). Ces variations de niveau d'eau sont étroitement liées à l'exploitation du barrage de Diama, seule, pour la période de juillet 86 à juillet 87 et à l'exploitation conjuguée des barrages de Manantali et de Diama pour la période au delà de juillet 87.

Les fluctuations du plan d'eau sont artificielles et partiellement commandés par les gestionnaires des ouvrages communs (Diama et Manantali) en fonction des besoins en eau des agriculteurs riverains et des impératifs du chantier liés à la construction de la digue en rive droite.

PONT ROUTE DE LA TAHOUÉY

Le canal de la Tahouey, reliant le fleuve au lac de Guiers - réservoir en eau potable de Dakar, la capitale du Sénégal - est harnaché par un ouvrage vanne, lequel est également un pont route à Richard Toll.

L'exploitation de cet ouvrage se fait gravitairement. Au moment du passage de l'onde de crue à la fin de la saison des pluies, les vannes sont ouvertes pour permettre la réalimentation du lac de

* R. GERSAR 1983.

13-

Guiers¹⁰. En dehors de cet apport saisonnier, le lac de Guiers est faiblement réalimenté par les eaux de ruissellement et pas du tout par les eaux souterraines à cause de sa cote d'exploitation toujours supérieure à celle de la piézométrie avoisinante. Dorénavant, avec le barrage de Diama et les lâchures du barrage de Manantali, il est maintenant possible d'alimenter le Lac de Guiers par le canal de la Tahouey en dehors de la période de crue naturelle.

DIGUE VANNE MBELL

Cet ouvrage a été édifié, provisoirement, lors de la construction du barrage de Diama, pour éviter qu'en l'absence d'une digue en rive droite du fleuve Sénégal (en cours de construction à la fin de 1989), les eaux de retenue du barrage de Diama ne contournent le barrage par la voie du marigot Mbell. Après l'achèvement de la construction de la digue en rive droite, cet ouvrage deviendra inutile car elle est située en dehors de la zone de retenue définie par les deux digues périphériques - droite et gauche.

VANNES D et E DU Djoudj - PARC NATIONAL

Cet ouvrage est dans le corps de la digue en rive gauche et contrôle les niveaux d'eau de la zone marécageuse du Djoudj nécessaire à la préservation de la vie aviaire du parc.

OUVRAGE VANNE DU NDIADIER

Cet ouvrage a été construit lors de la réalisation du barrage de Diama et sera intégré dans le corps de la digue en rive droite. Cet ouvrage servira à l'alimentation de la grande dépression topographique de l'Aftout-Es-Saheli (cotes négatives) parallèle à la cote mauritanienne au Nord du delta à partir du réservoir de Diama. La mise en valeur de cette dépression (agriculture, recharge de nappe) n'est pas encore commencée. Elle nécessitera la construction du canal du N'Diadier.

BOUNDOUN BARRAGE

Cet ouvrage, très ancien, sert à départager l'écoulement du marigot Gorom amont et aval et à diriger les eaux pompées de la station de Roncq dans le marigot Lampsar lequel est utilisé dans son bief médian comme un canal naturel d'irrigation pour des périmètres hydroagricoles (Grande Digue Tellel Kassak et le Lampsar) et, dans son bief aval, comme un réservoir naturel d'eau potable pour la ville de St Louis.

Les niveaux d'eau dans le bief médian de Lampsar sont contrôlés par l'exploitation des barrages ponts de Ndiol et de Ross Bethio. Les niveaux d'eau dans le bief aval du Lampsar sont contrôlés par l'exploitation conjuguée des ponts barrages de Dakar Bango et de Ndiol.

3.3 Périmètres hydroagricoles existants

Dans le delta sur la rive gauche, la SAED¹¹ assiste à l'exploitation de plusieurs périmètres hydroagricoles (Débi, Boundoun, Grande Digue-Tellel-Kassak Nord et Sud, Thiagar, Balky, Sousse, Dombo). La SOCAS¹² exploite celui de Savoigne, l'ISRA¹³, le périmètre expérimental de N'Diol, et la CSS¹⁴, une partie de la plantation sucrière de Richard Toll. Cette plantation s'étend au delà de la limite du delta.

¹⁰ R. : ISE - 1983.

¹¹ SAED: Société d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta, de la vallée du Sénégal et de la Falémé.

¹² SOCAS: Société de Commercialisation Agricole du Sénégal.

¹³ ISRA: Institut Sénégalais de Recherches Agricole

¹⁴ CSS: Compagnie Sucrière du Sénégal.

Dans le delta en rive droite, la SONADER¹⁵ exploite le périmètre chinois de M'Pourié, près de Rosso.

Associés à ces grands périmètres, et ce sur les deux rives du fleuve Sénégal, une multitude de petits périmètres irrigués villageois (PIV) se sont mis en place suite à la mise en eau du barrage de Diama à partir du mois de novembre 1986 et à l'existence d'un système hydraulique sous la gestion des principaux intervenants tels la SAED, la SONADER, et l'agro business.

Le tableau #2 énumère les grands périmètres constituant l'ossature principale du schéma hydraulique avec l'identification de leur station de pompage et le lieu de vidange.

Tableau #2: DELTA- GRANDS PERIMETRES HYDRO-AGRIQUES (SAED, SONADER, PRIVE)

ORGAN. RESP.	STATION PRINCIPALE IRRIGATION	SOURCE ALIMENTATION	PERIMETRES DESSERVIS	SUPERFICIE NOMINALE HECTARES	LIEU DE VIDANGE
SAED	RONCQ	FLEUVE	13 CUVETTES LAMPSAR	2500	NOAR+KANKRAYE
SAED	RONCQ	FLEUVE	SOCAS, ISRA		PARDIAGNE
SAED	RONCQ	FLEUVE	GRANDE DIGUE TELLEL	2175	N'DIAEL
SAED	RONCQ	FLEUVE	KASSAK SUD	527	N'DIAEL
SAED	RONCQ	FLEUVE	KASSAK NORD	800	N'DIAEL
SAED	THIAGAR	FLEUVE	THIAGAR	1900	DIOVOL
SAED	THIAOUWAR	FLEUVE	BOUNDOM	3200	GOROM AVAL
GOROM					
SAED	DEBI	FLEUVE	DEBI	1500	FLEUVE
SAED	GRUPE MOTO POMPE	TAHOUEY	NDOMBO	300	ANCIENNE TAHOUEY
SAED	GRUPE MOTO POMPE	TAHOUEY	THIAGO	500	ANCIENNE TAHOUEY
PRIVE	CSS	FLEUVE	CSS, BALKY, SOUSSE	7500	DIOVOL + LAC DE GUERS RIVER
SONADER	MPOURIE	FLEUVE	MPOURIE	1216	

Le système d'alimentation actuel¹⁶ des grands périmètres s'effectue de plusieurs façons:

- * le long du canal de la Tahouey et du Lac de Guiers en pompant à partir de ces sources,
- * pour les périmètres en bordure du fleuve, par gravité à travers des ouvrages de contrôle en période d'hivernage, et par pompage direct au fleuve pendant la contre-saison,
- * au parc du Djoudj, par gravité pendant la période d'hivernage,
- * le long de l'axe Gorom/Lampsar, par pompage suite à son remplissage par gravité en hivernage et par pompage durant la contre saison (station de Roncq).

Le système de drainage actuel s'effectue par gravité ou par pompage d'exhaure vers les dépressions et les marigots.

Tous les périmètres - grands et petits (PIV) - sont inventoriés annuellement par la Cellule d'Evaluation de Planification Continue de l'OMVS. Cet inventaire permet de suivre l'évolution des superficies cultivées (SC) annuellement et par saisons agricoles. La situation est donnée à la section 2.3 pour l'année référence 1987.

¹⁵ SONADER: Société Nationale d'Equipeement Rural

¹⁶ R.É.: GERSAR CACG, EUROCONSULT, SIR ALEXANDER GIBB & PARTNERS, SONED-AFRIQUE, Plan Directeur de la rive gauche, draft, juin 1989, p. 6 et 57.

15

3.4 Découpage en biefs et sous biefs du réseau hydrographique

La gestion des eaux de surface à l'aide des ouvrages de contrôle (voir section 3.2) découpe le réseau hydrographique du delta en biefs et sous biefs décrits dans le tableau #3.

Chacun de ces biefs sera caractérisé par ses propres conditions de charges hydrauliques. Dans les zones où il existe une échelle limnimétrique, les conditions hydrauliques caractéristiques de la saison sèche et de la saison des pluies sont décrites dans l'annexe 2 pour la période 1987 à 1989. La période retenue pour chacune des saisons en vue de tracer les cartes hydrogéologiques, est:

- * saison sèche -(fin): du 15 mai au 15 juillet
- * saison des pluies : du 15 août au 15 octobre

Dans les zones où il n'existe pas une échelle limnimétrique Gorom aval et le Lampsar), les conditions caractéristiques de la saison des pluies seront déduites:

- * pour le Lampsar, d'un abaque théorique¹⁷ et celles de la saison sèche, de mesures sur le terrain (mars 1988)¹⁸.
- * pour le Gorom aval, de mesures de terrain effectuées¹⁹ entre le 15/10/80 et 20/02/81.

Ce découpage permettra à l'hydrogéologue d'introduire, dans le cadre de l'analyse des variations piézométriques de la nappe superficielle des conditions hydrauliques de surface. Celles-ci sont induites par l'exploitation des infrastructures hydrauliques du delta et varient en fonction de la période agricole et des aléas climatiques.

¹⁷ R.é.: GERSAR, EUROCONSULT, SIR ALEXANDER BIGG, SONED-AFRIQUE, juin 1989, figure 2.6, p. 43.

¹⁸ R.é.: même document, p. 6.

¹⁹ R.é.: SAED, 1980.

Tableau #3: Réseau hydrographique du Delta - Découpage en biefs et sous biefs

#	ZONES	OBSERVATIONS	RENSEIGNEMENTS
1	ATLANTIQUE	LITTORAL MARIN	ISOPIEZE = 0 M/ IGN
2	LAC DE GUIERS	COTES PLAN D'EAU VARIABLES AU COURS DE L'ANNEE REPLISSAGE PAR LA TAHOUY RESERVOIR EAU POTABLE DE LA VILLE DE DAKAR	ECHELLES LIMNIMETRIQUES SANENTE, GNITH, RICHARD TOLL
3	DJEUSS AVAL LAMP SAR AVAL	COTES PLAN D'EAU VARIABLES AU COURS DE L'ANNEE REPLISSAGE PAR LA STATION DE RONCQ ET L'OUVERTURE DU PONT BARRAGE DE DAKAR BANGO ZONE DELIMITEE PAR LES OUVRAGES DE KEUR MOMAR SOW, PONT BARRAGE DE BANGO, PONT BARRAGE DE NDIOL	ECHELLE LIMNIMETRIQUE DE DAKAR BANGO
4	LAMP SAR BIEF MEDIAN	COTES PLAN D'EAU VARIABLES AU COURS DE L'ANNEE REPLISSAGE PAR LA STATION DE RONCQ ET L'OUVERTURE DU PONT BARRAGE DE ROSS BETHIO JUIN 89 ZONE DELIMITEE PAR LES OUVRAGES PONT BARRAGE DE NDIOL, OUVRAGE DE NDNQ	AUCUN, DEDUCTION DU SCHEMA DIRECTEUR DU DELTA ANNEXE C SCHEMA HYDRAULIQUE
5	GOROM AVAL	COTES PLAN D'EAU VARIABLES AU COURS DE L'ANNEE REPLISSAGE PAR L'OUVRAGE DE GAELA, SUITE AU DRAINAGE DU PERIMETRE DE BOUNDOUN ZONE DELIMITEE PAR LES OUVRAGES CAMPAGNE 1980/1981 G (DIGUE RIVE GAUCHE) ET NDNQ	AUCUN, DEDUCTION DU DOCUMENT INTERNE SAED: QUELQUES OBSERVATIONS SUR LA FLUCTUATION DU NIVEAU D'EAU DANS LE GOROM AVAL
6	Djoudj	COTES PLAN D'EAU VARIABLES AU COURS DE L'ANNEE REPLISSAGE GRAVITAIRE PAR LES OUVRAGES D ET E ZONE DELIMITEE PAR LE Djoudj ET SES TRIBUTAIRES	PARC NATIONAUX
7	DIAMA AMONT ROSSO MBELL AMONT	COTES PLAN D'EAU VARIABLES SELON LA GESTION HYDRAULIQUE DES BARRAGES DE DIAMA ET DE MANANTALI ZONE DELIMITEE PAR LE BARRAGE DE DIAMA, LE PK143, L'OUVRAGE MBELL	ECHELLES LIMNIMETRIQUES DIAMA AVAL + ROSSO
8	DIAMA AVAL MBELL AVAL	COTES PLAN D'EAU VARIABLES SOUS L'INFLUENCE DE LA MAREE ZONE DELIMITEE PAR LE BARRAGE DE DIAMA ET L'OUVRAGE MBELL PARTIE AVAL	ECHELLE LIMNIMETRIQUE DIAMA AVAL

3.5 Réseau piézométrique OMVS

Dans les limites du delta, le Projet EauX Souterraines a été responsable de la construction d'un réseau piézométrique, constitué de 252 piézomètres. A ce nombre de piézomètres, s'ajoutent 54 puits villageois pour un total de 306 ouvrages d'observation. La carte #4 " Réseau piézométrique OMVS, localisation des puits, localisation des piézomètres (dit a b)" montre la répartition des puits et piézomètres (cercle noirci = piézomètre; carré demi-hachuré = puits villageois).

Les lignes ■ codées "L (chiffre)" visibles sur cette carte indiquent le lieu d'emplacement des lignes piézométriques locales et transversales au fleuve Sénégal et/ou dans les limites de grands périmètres hydroagricoles sur lesquelles des profils piézométriques saisonniers ont été tracés (voir annexe 8 et 9).

Ce réseau OMVS, dont la distribution spatiale des piézomètres est irrégulière permet de faire des observations hydrogéologiques à une échelle régionale et/ou locale. Il regroupe:

- * 26 puits villageois sur la rive gauche et 28 sur la rive droite,
- * 173 piézomètres sur la rive gauche et 79 piézomètres sur la rive droite.

Les puits se localisent généralement à la limite du Ouallo/Dièri et plus du quart des ouvrages (puits + piézomètres) se situe à une distance inférieure à 500 mètres²⁰ d'un cours d'eau pérenne (voir section 1.2.2. de ce rapport), susceptible d'influencer la ressource en eaux souterraines.

Les critères d'implantation pour le réseau piézométrique étaient définis dans les Termes de Références du document de projet.²¹

Ces critères sont de façon générale:

- 1) un piézomètre/100ha dans les limites des grands périmètres hydroagricoles (piézomètres courts).
- 2) suivant 10 profils piézométriques transversaux (mailles kilométriques) à la vallée du fleuve Sénégal pré-localisés (piézomètres courts, moyens et profonds).
- 3) suivant une densité approximative d'un piézomètre par 100 km² (piézomètres courts, moyens et profonds).
- 4) suivant des profils piézométriques transversaux (mailles métriques) au droit du fleuve dans la zone influencée par le barrage de Diama (piézomètres courts et moyens).
- 5) suivant la géométrie probable des réservoirs aquifères sous-jacents, un piézomètre par cible géologique distincte.

Le point #5 a permis la réalisation de deux et parfois trois piézomètres sur un même site géographique, captant des formations géologiques différentes.

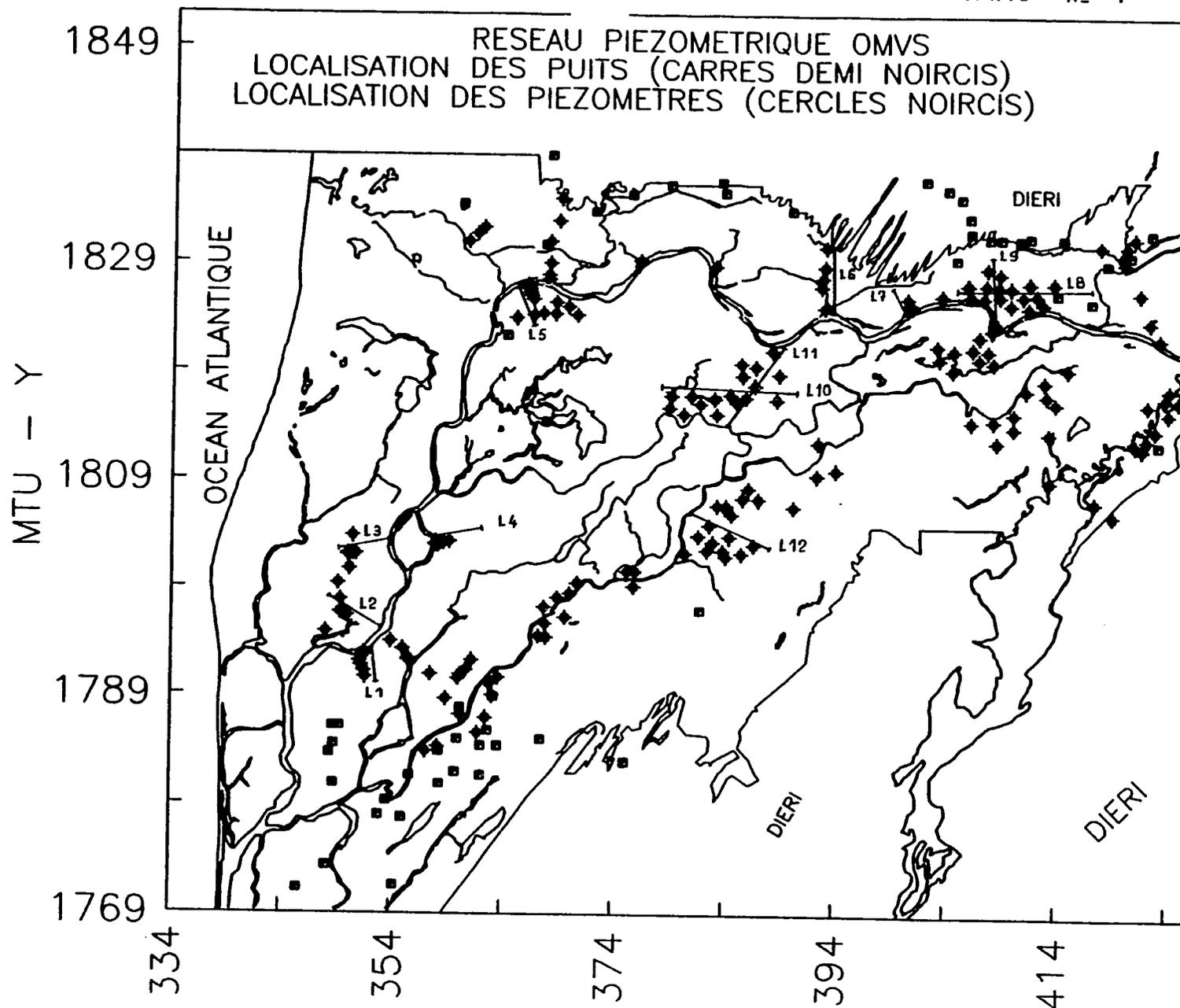
²⁰ Voir annexe #3, figure #3.

²¹ AID, 1983.

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 4



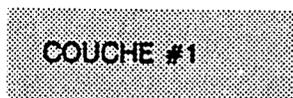
4 DELTA - CARACTERISATION DU MILIEU AQUIFERE

4.1 Définition à priori

Dans les limites du delta, le projet a réalisé 6 essais de pompages en terrain sédimentaire non consolidé (voir la carte de localisation #12 suivant la page 26).

Les sites de pompage testés présentent une grande similitude dans la géométrie de leur réservoir aquifère. Schématiquement, elle peut être décrite comme suit:

0 -----

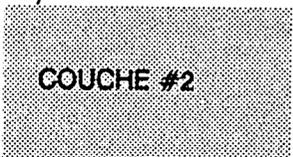


superficiellement, un ensemble de strates horizontales constituées de silt et argile, rarement de sable fin, appartenant aux sédiments Actuel/Sub-Actuel²². Cet ensemble forme la couche semi-perméable #1.

4/5 m -----

réservoir aquifère, relativement homogène, constitué de sable fin. Ces sédiments appartiennent généralement aux dépôts du Nouakchottien et, parfois, à la partie supérieure des sédiments de l'Inchirien.

15/18 m -----



un ensemble de strates horizontales constituées de silt et d'argile dont l'épaisseur de l'ensemble peut varier de quelques mètres à plusieurs mètres. Cet ensemble stratiforme appartient au au sommet des sédiments de l'Inchirien et, parfois, à la base des sédiments du Nouakchottien. Cet ensemble forme la couche semiperméable #2.

19/30 m -----

réservoir aquifère hétérogène constitué de sable AQUIFERE II à grains fins à grossiers avec une fraction silteuse significative. Ces sédiments sont localisés dans les sédiments de l'Inchirien.

40/50 m -----

La dispersion géographique des sites de pompage dans les limites du delta et la similitude dans la géométrie des différents réservoirs aquifères testés (échelle locale) permet d'inférer cette même géométrie du réservoir à l'ensemble du delta (échelle régionale).

Le schéma géométrique uniquement à l'exclusion de la description des formations géologiques, ci-dessus proposé, est également avancé dans les conclusions du rapport Audibert²³.

Les sédiments de la couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt) ont été décrits dans le détail dans le cadre de l'étude pédologique et géomorphologique P.N.U.D/F.A.O. 1977. Hollalde, Faux Hollalde

²² Le lecteur trouvera une description géologique détaillée des séries lithostratigraphiques rencontrées dans les limites du delta à l'annexe 3 avec cartes à l'appui.

²³ R.É.: Audibert, 1970, document II, p. 31.

et **Fonde** sont des termes consacrés décrivant les différents types de sols en terme de texture, principalement au niveau de la teneur en argile²⁴ :

HOLLALDE	55 % < % ARGILE
FAUX HOLLALDE	30 % < % ARGILE < 55%
FONDE	% ARGILE < 30%

Les extensions latérales du réservoir aquifère I incluant la couche semi perméable #1 sont limitées:

- * au Nord et au Sud par la limite du Ouallo/Dieri (voir section 2.1 de ce rapport), définissant le lit majeur ou plaine inondable actuelle du delta.
- * à l'Ouest, par le littoral marin,
- * à l'Est, dans les limites du delta, ces formations se prolongent au delà de la limite du delta,

Les extensions latérales du réservoir aquifère II incluant la couche semi-perméable intercalaire II sont limitées:

- * à l'Est, à la frontière géologique proposée par Audibert²⁵ et confirmée structurellement par la DHE²⁶.
- * au Nord et au Sud, dans les limites des cartes produites, ces formations se prolongent au delà des bordures de cartes.

4.2 Définition géostatistique

L'hétérogénéité verticale et horizontale observée sur l'ensemble des descriptions géologiques provenant des travaux du Projet Eaux Souterraines et celles consignées dans le rapport Audibert rend difficile la définition de la géométrie de l'aquifère à l'échelle régionale (delta). Dans sa recherche d'une telle définition, le projet a utilisé une approche géostatistique (Kriging), basée sur la théorie des variables régionales. Les calculs ont été effectués à l'aide du logiciel SURFER²⁷.

Associée à cette approche géostatistique, correspondent également les prémisses suivantes:

- 1) les couches semi-perméables #1 et #2 se définissent, d'abord, *granulométriquement* par la juxtaposition contiguë des horizons lithostratigraphiques constitués de silt et/ou argile. Autrement dit, si deux horizons stratigraphiques successifs ou plus appartiennent individuellement à la classe dominante des argiles et/ou silts, cet ensemble stratigraphique constitue hydrogéologiquement une couche semi-perméable unique.
- 2) les couches semi-perméables #1 et #2 se définissent, ensuite, *géologiquement* par un rattachement à une série stratigraphique (voir section 4.1 et l'annexe 3 de ce rapport). La connaissance des isobathes du toit de chacune des séries stratigraphiques du delta permettra de fixer, *par hypothèse*, selon la couche semi-perméable concernée, les cotes IGN maximales et minimales de positionnement des couches semi-perméables #1 ou #2. Ces cotes seront fixées pour chacune des couches semi-perméables concernées aux sections 4.2.1. et 4.2.2.

4.2.1 Couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt)

Dans les limites du delta (borné par le littoral et la limite du Ouallo/Dieri), 229 forages (projet + Audibert, 1970) renseignent sur l'existence et/ou l'absence de la couche #1 semi-perméable.

²⁴ P.N.U.D./F.A.O., 1977, p. 265, tableau 19.

²⁵ R#.: Audibert, 1970, document II, planche 2.

²⁶ R#.: DHE, 1985, planche 3.

²⁷ R#.: Golden Software Inc., SURFER - version 4, p. 3-26 et suivante.

La couche semi-perméable #1, constituée d'argile et/ou de silt, est identifiée aux sédiments récents - Post-Nouakchottien ou Actuel/Sub-Actuel - superficiels. La mise en place de ces sédiments est liée aux cycles d'inondation saisonniers (saison des pluies) et aux paysages géomorphologiques existants lors des débordements du fleuve Sénégal. Par hypothèse, la cote minimale de positionnement du toit de la couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt) est limitée à la cote IGN -2.0 mètres²². Par conséquent, tous les piézomètres ayant une première couche (argile et/ou silt) dont le toit se situe à une cote IGN > ou = -2.0 mètres sont réputés traverser la couche semi-perméable #1.

L'histogramme de la figure 2 montre la distribution de l'épaisseur de cette couche #1 (argile et silt) en pourcentage telle que définie ci-dessus dans les limites du delta.

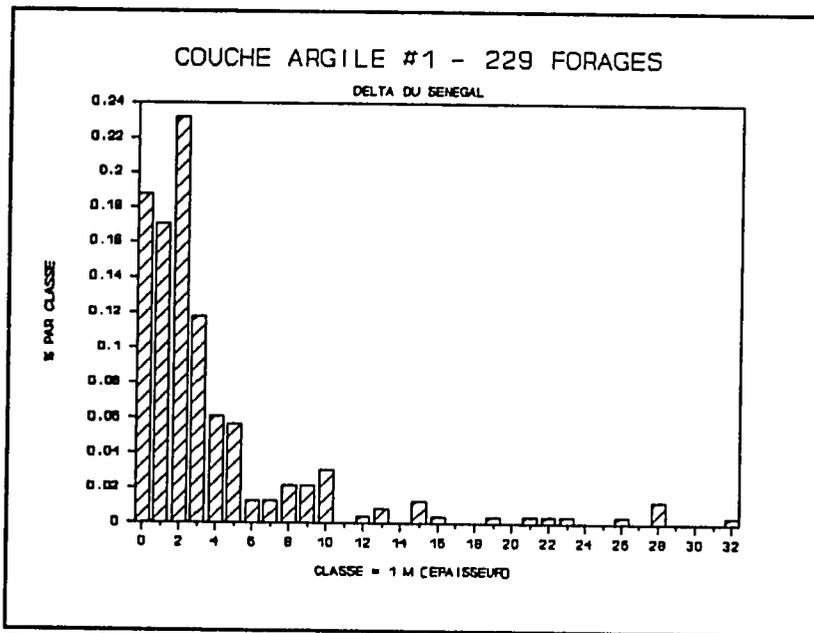


Figure 2 Couche semi-perméable #1 - distribution de son épaisseur (m)

Les statistiques sur l'épaisseur de la couche #1 semi-perméable constituée de silt et argile sont:

NBRE PTS	229
VAL. MIN.(m)	0.00
VAL. MAX.(m)	31.17
MOYENNE (m)	3.77
ECART TYPE (m)	5.38
VAL. MEDIANE (m)	2.00

19% des piézomètres ne traversent pas la couche semi-perméable superficielle. Par conséquent des zones de discontinuité sont prévisibles et sont montrées à la carte #6 "Couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt - Zones Probables de Discontinuité (dl_t_ag1d)".

L'épaisseur moyenne de la couche #1 est de l'ordre de 3.77 mètres et 76.85% des forages traversent cette couche dont l'épaisseur est inférieure à 4 mètres.

L'épaisseur médiane est de 2.0 mètres. Cette épaisseur correspond sensiblement à la puissance de ces sédiments récents. Toutefois, l'écart-type suggère un étalement des épaisseurs, atteignant la

²² Voir annexe 3, carte isobathe du toit du Nouakchottien correspondant également à la base des sédiments Actuel/Sub-Actuels.

valeur extrême de 31 mètres. La couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt) de grandes épaisseurs cumulent en continuité les strates de silt et d'argile du Post Nouakchottien et celles de la série stratigraphique du Nouakchottien. Les plus fortes épaisseurs de cette couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt) sont localisées en bordure du lit du fleuve Sénégal et de certains défluent. Le lecteur trouvera ci-après la carte #5 "Couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt - isopaches (épaisseur) en mètres (dit_ag1e)". L'équidistance des courbes d'égal niveau d'épaisseur est de 4 mètres.

La comparaison statistique entre les valeurs de terrain (grille irrégulière du réseau OMVS) et celles extrapolées sur les intersections d'une grille régulière²⁹ (suite à un calcul géostatistique effectué selon la méthode Kriging) sont:

- * en moyenne de 0.03 mètre
- * et un écart-type de 1.72 mètres.

La valeur de l'écart-type est importante et permet de déduire qu'à l'intérieur de la ligne isovaleure 2 mètres, l'épaisseur de la couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt) peut être nulle. La courbe isovaleure 2 mètres délimite les zones probables de discontinuité de la couche imperméable superficielle. Cette affirmation est particulièrement vraie lorsque le nombre de points renseignés est faible.

La zone #1 de discontinuité probable se localise en marge du delta, dans le secteur S.O. entre le cours du Lampsar et la limite du Ouallo/Dieri avec un croissant N. O. rejoignant le littoral marin. Cette zone renferme les Toundous Birette et Nguinor composés de sables dunaires appartenant à l'Ogolien. Ces sédiments constituaient le relief non submergé à l'époque de l'invasion marine du Nouakchottien.

La zone #2 de discontinuité probable se localise au N.O. en marge du delta.

La zone #3, recouvre le parc national du Djoudj. En l'absence de points renseignés en son centre, cette zone semble être une création mathématique suite au traitement géostatistique effectué.

La zone #4 recouvre en partie le périmètre de Boundoum. Le grand nombre de points renseignés dans les limites de ce périmètre et l'existence de deux sections géologiques (voir annexe 4C, figures CC062D et AA062D) permettent de percevoir les causes de l'hétérogénéité de cette couche #1. Malgré la probabilité de rencontrer une zone de discontinuité de la couche #1 imperméable, cette couche est observée pratiquement partout dans les limites de ce périmètre à l'exception du site des piézomètres GA0059 et GA0054. La discontinuité de cette couche imperméable est liée à l'extrême hétérogénéité granulométrique des sédiments du Post-Nouakchottien.

La zone #5 chevauche le fleuve Sénégal et recouvre une partie du périmètre de N'Thiagar et suit un axe N.E. passant par la ville de Rosso.

4.2.2 Couche #2 semi-perméable (argile et/ou silt)

Dans les limites du delta, 45 forages (projet Eaux Souterraines + Audibert, 1970) renseignent sur l'existence et/ou l'absence de la couche #2 semi-perméable.

La couche semi-perméable #2, constituée d'argile et/ou de silt, appartient à la base des sédiments Nouakchottiens et/ou au sommet des sédiments Inchiriens. Par hypothèse, la cote de positionnement minimale et maximale du toit de cette couche #2 semi-perméable (argile et/ou silt) est comprise entre les cotes IGN -5.0 mètres et -15 mètres. Ces valeurs limites sont fixées à partir des courbes de niveau minimale et maximale de la cote IGN du toit des sédiments de l'Inchirien. Le tracé de la cote du contact géologique a été fait à partir du dépouillement des descriptions géologiques provenant de l'ensemble des travaux de forages réalisés dans les limites du delta³⁰.

Par conséquent, tous les piézomètres dont la cote du toit d'une couche (argile et/ou silt) quelconque est > ou = -15.0 mètres et < ou = -5 mètres sont réputés traversés la couche semi-

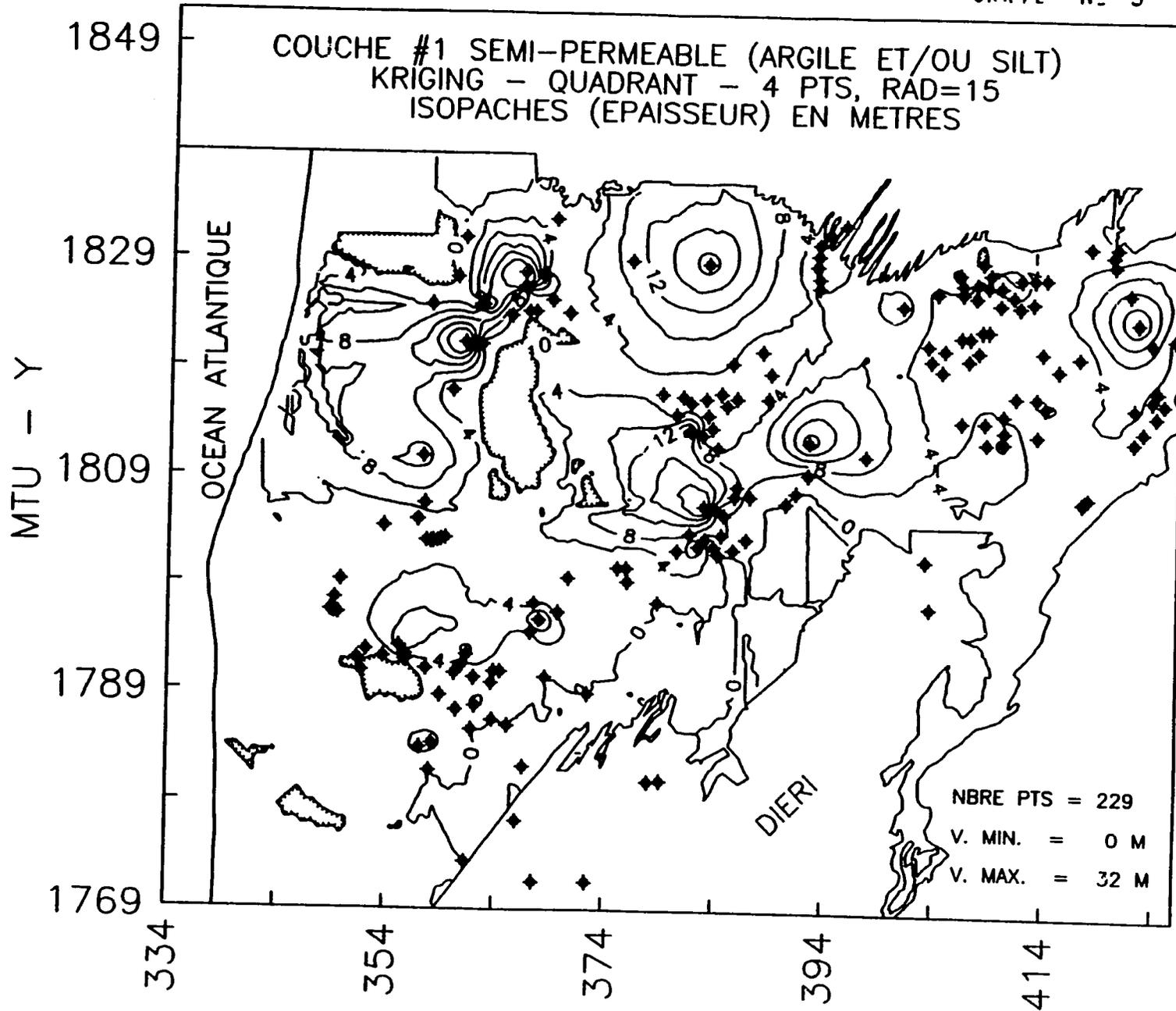
²⁹ Réf.: Golden Software, Inc., p. 8-40, application de la fonction SURFER, "Residual".

³⁰ Voir annexe #3, carte isohypes du toit des sédiments de l'Inchirien.

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 5

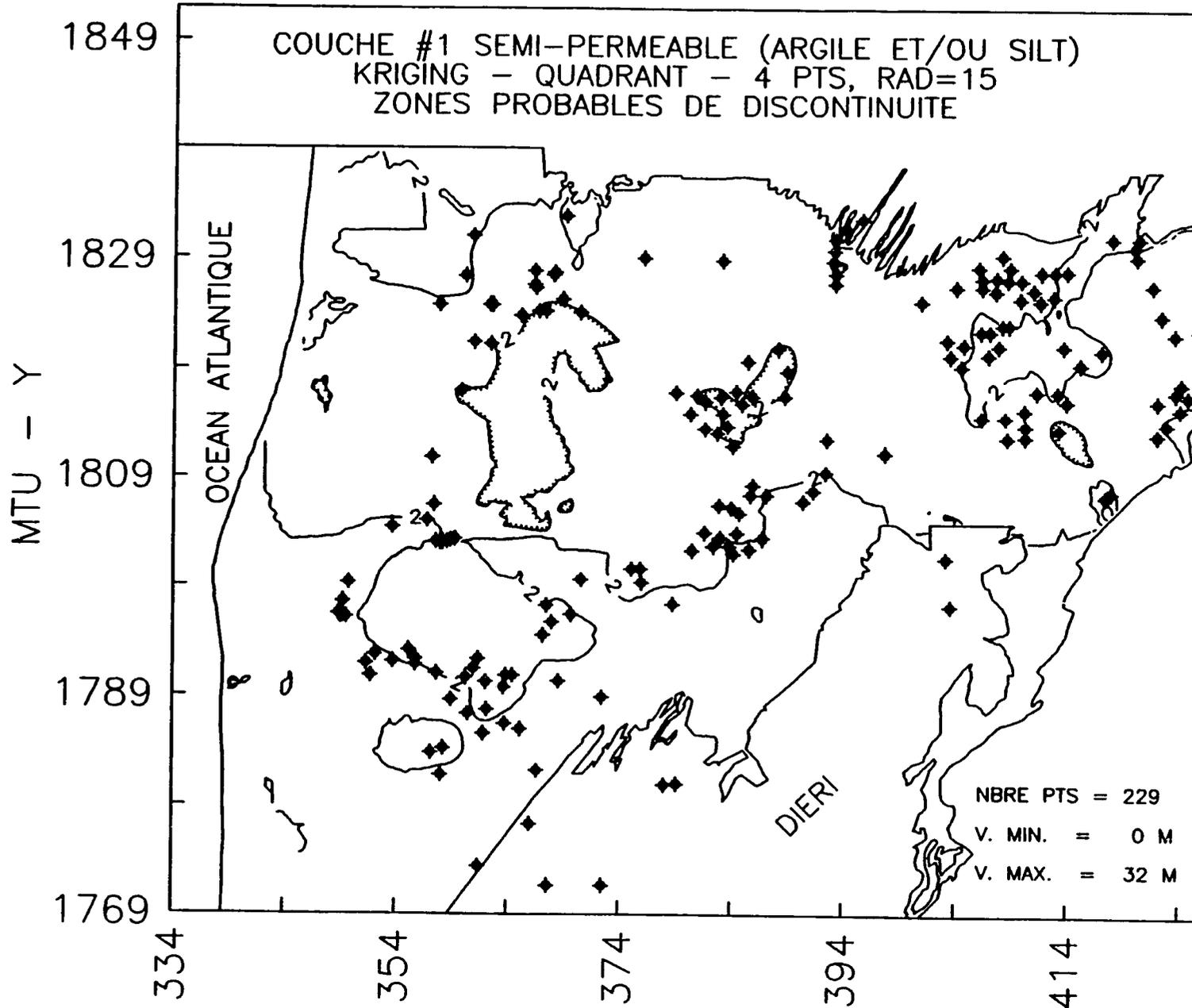


40

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 6



perméable #2. L'histogramme de la figure 2 montre la distribution de l'épaisseur de cette couche #2 en pourcentage telle que définie ci-dessus.

L'histogramme de la figure 3 montre la distribution de l'épaisseur de cette couche #2 (argile et silt) en pourcentage telle que définie ci-dessus dans les limites du delta.

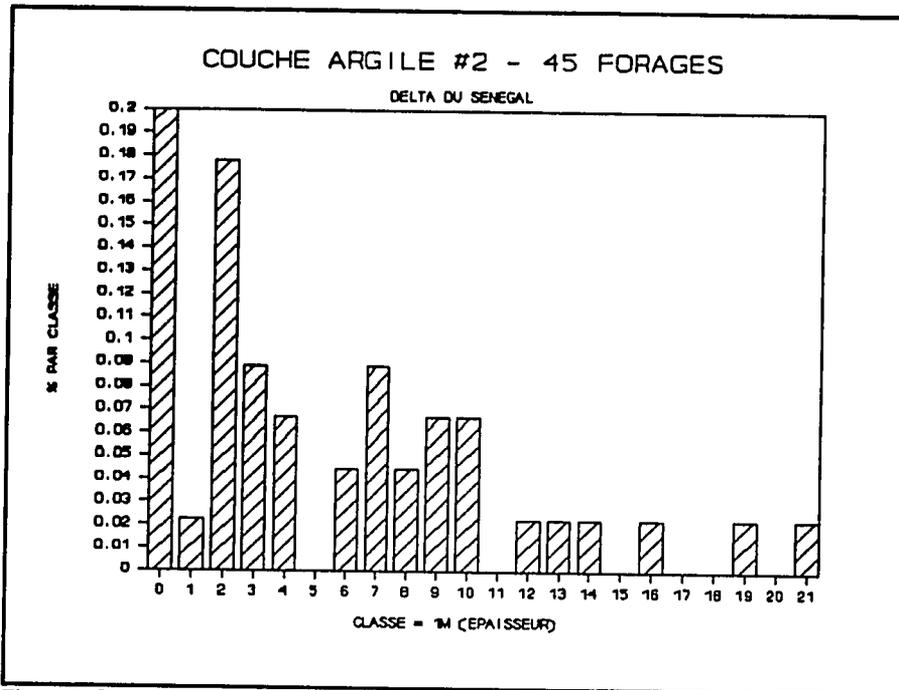


Figure 3 Couche semi-perméable #2 - distribution de son épaisseur (m)

Les statistiques sur l'épaisseur de la couche #2 semi-perméable composée de silt et argile sont:

NBRE PTS	45
VAL. MIN. (m)	0.00
VAL. MAX. (m)	21.00
MOYENNE (m)	5.40
ECART TYPE(m)	5.24
VAL. MED. (m)	3.00

20% des piézomètres ne traversent pas la couche semi-perméable #2. Par conséquent, cette couche #2 semi-perméable est probablement discontinue et ces zones sont montrées à la carte #8 "Couche #2 semi-perméable (argile et/ou silt - Zones probables de Discontinuité (dlt_ag2d)".

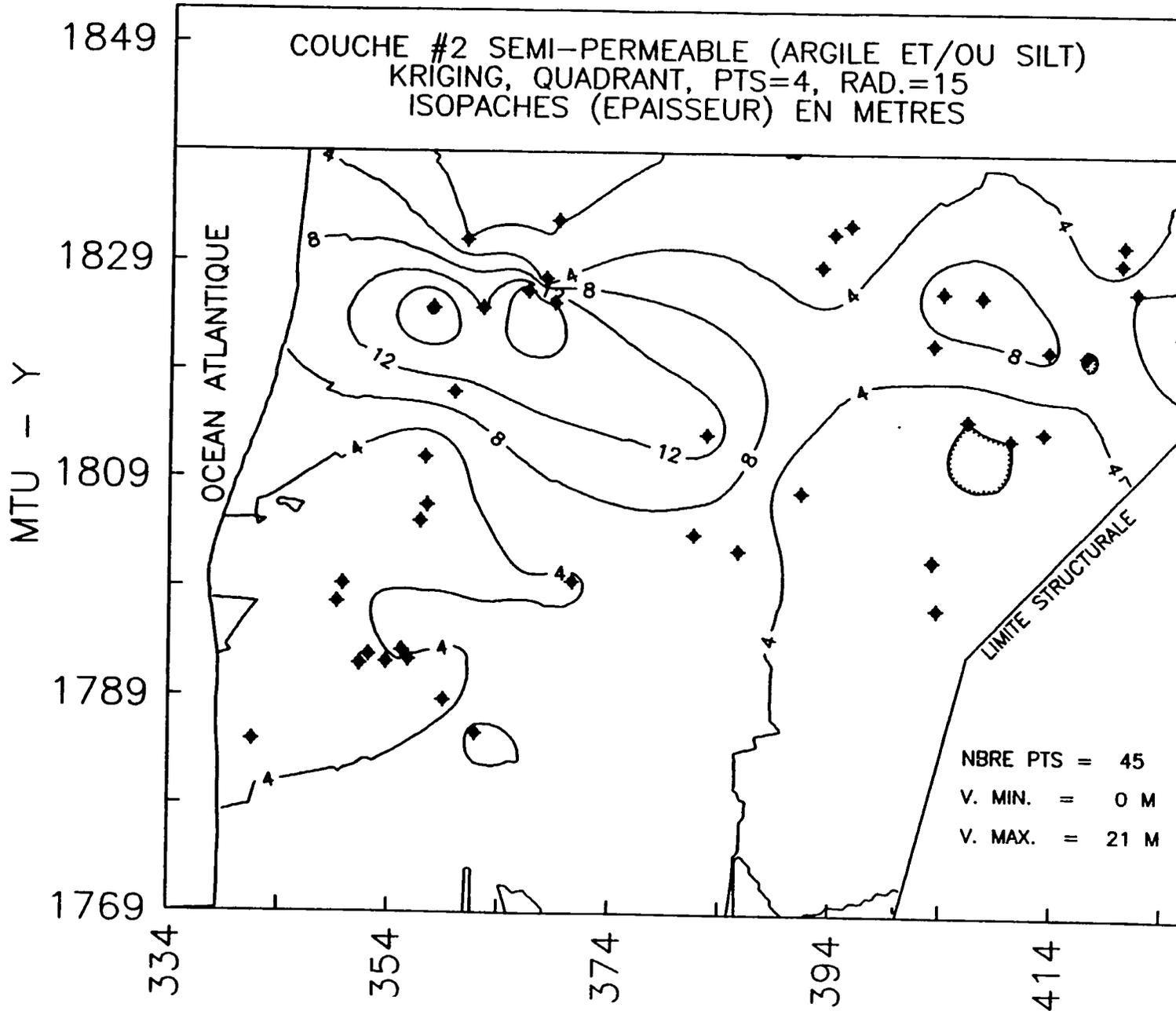
L'épaisseur moyenne est de l'ordre de 5.4 mètres.

L'épaisseur médiane est de l'ordre de 3 mètres. l'écart-type (5.24 mètres) suggère un étalement important des épaisseurs de couche semi-perméable #2. On observe une valeur extrême de 21 mètres. Les plus fortes épaisseurs de cette couche #2 semi-perméable (argile et/ou silt) sont localisées en bordure du lit du fleuve Sénégal et de certains défluent. Le lecteur trouvera ci-après la carte #7 "Couche #2 semi-perméable (argile et/ou silt - Isopaches (épaisseur) en mètres (dlt_ag2e)". L'équidistance des courbes d'égale valeur d'épaisseur est de 4 mètres. Les valeurs importantes des épaisseurs de silt et argile, tout comme celles de la couche #1, sont rencontrés en bordure du lit du fleuve Sénégal et de certains défluent. La localisation de ces fortes épaisseurs de strates constituées de silt et d'argile coïncide avec les bas fonds du toit des sédiments de l'Inchirien (voir annexe #3, carte "

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

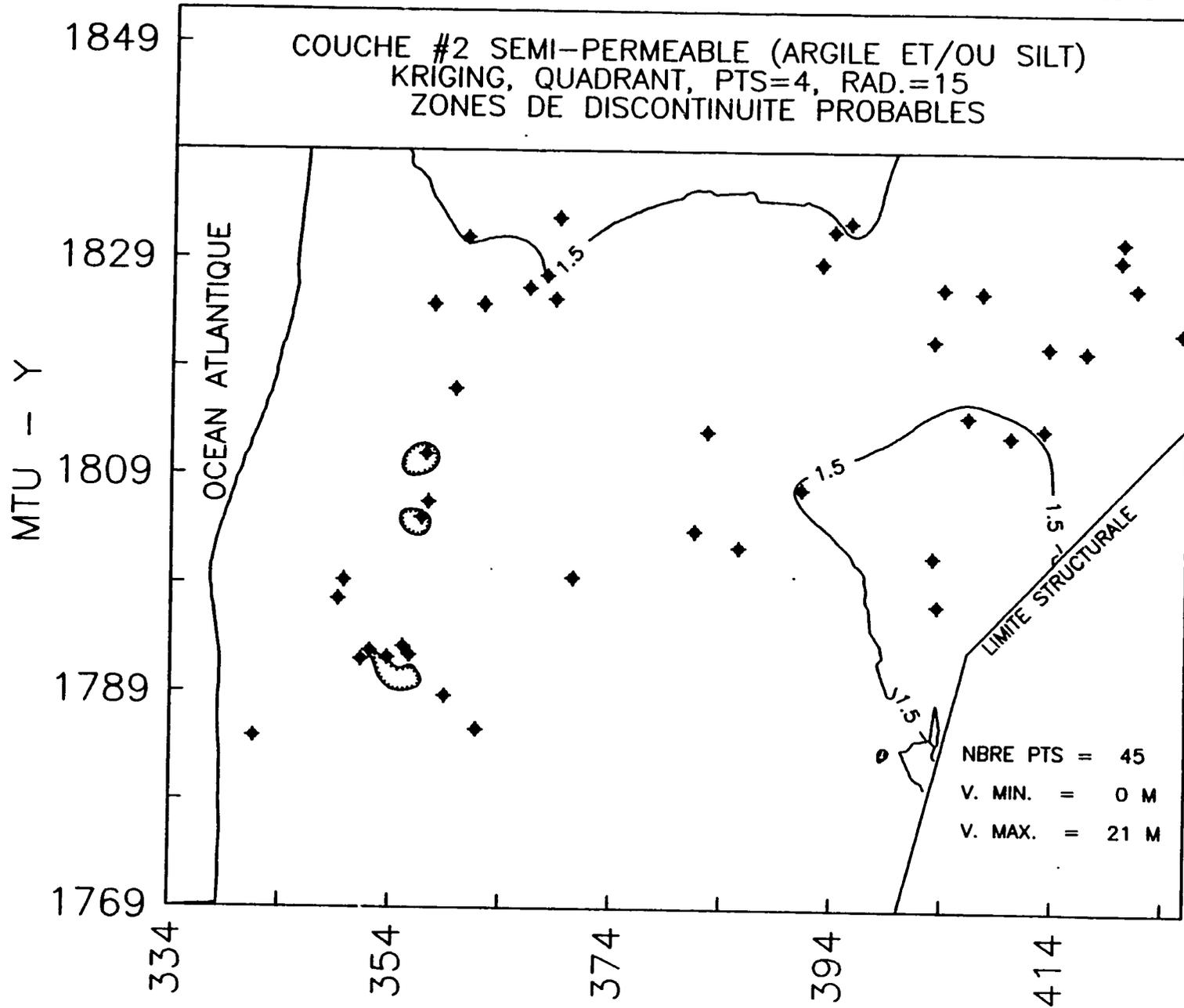
CARTE N° 7



DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE No 8



sédiments de l'Inchirien - isohypses du toit") lesquels correspondent également avec le lieu de passage de l'actuel Fleuve Sénégal.

La comparaison statistique entre les valeurs de terrains (grille irrégulière du réseau OMVS) et celles extrapolées sur les intersections d'une grille régulière¹ (suite à un calcul géostatistique effectué selon la méthode Kriging) sont:

- * en moyenne de 0.30 mètre
- * et un écart-type de 1.23 mètres.

La valeur de l'écart-type est importante et permet de déduire qu'à l'intérieur de la ligne isovaleur 1.5 mètres, l'épaisseur de la couche #2 semi-perméable (argile et/ou silt) peut être nulle. La courbe isovaleur 1.5 mètres délimite les zones probables de discontinuité de la couche imperméable #2 (voir carte #8).

On observe deux zones probables de discontinuité.

La zone #1 se situe au Nord du delta et la zone #2 à l'ouest du Lac de Guiers. Quelques zones de discontinuité ponctuelles se localisent le long du fleuve Sénégal dans son cours N-S en amont du barrage de Diama.

Les aires de superposition entre les zones de discontinuité caractéristiques des couches imperméables #1 et #2 sont faibles et se limitent:

- 1) au Nord de la ville de Keur Macène,
- 2) au N-O. du Lac de Guiers dans la zone où les sédiments du Quaternaire Ancien et Moyen sont subaffleurements.

4.2.3 Réservoir aquifère.

La caractérisation des couches semi-perméables #1 et #2 (positionnement vertical, épaisseur et discontinuité) révèle l'existence d'un aquifère unique compartimenté en deux réservoirs juxtaposés: supérieur et inférieur. Le compartiment supérieur est captif ou libre selon que la couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt) est discontinue ou pas. Le compartiment inférieur est séparé du compartiment supérieur par une couche #2 semi-perméable (argile et/ou silt) intercalaire également discontinue. Par conséquent, une communication hydraulique devrait exister entre les deux compartiments constituant l'aquifère. Toutefois, l'extension latérale des couches semi-perméables #1 et #2 est importante dans les limites du delta.

Cette description schématique de l'aquifère modifie l'hypothèse à priori du double aquifère distinct (voir section 4.1).

Dans les limites du delta, le milieu aquifère est un aquifère compartimenté composé de deux réservoirs juxtaposés intercommunicant à leurs limites mutuelles.

La carte #9 "Réservoir aquifère - Isohypses de son toit (m/ 0 IGN) (dit aq1t)"- a été dressée. Dans les zones où la couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt) existe, le toit du réservoir aquifère correspond à la base de la couche #1; dans les zones où la couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt) est jugée probablement discontinue, le toit du réservoir aquifère correspond à la cote topographique du lieu où se trouve le piézomètre.

La comparaison statistique entre les valeurs de terrains (grille irrégulière du réseau OMVS) et celles extrapolées sur les intersections d'une grille régulière² (suite à un calcul géostatistique effectué selon la méthode Kriging) sont:

- * en moyenne de 0.02 mètre
- * et un écart-type de 1.82 mètres.

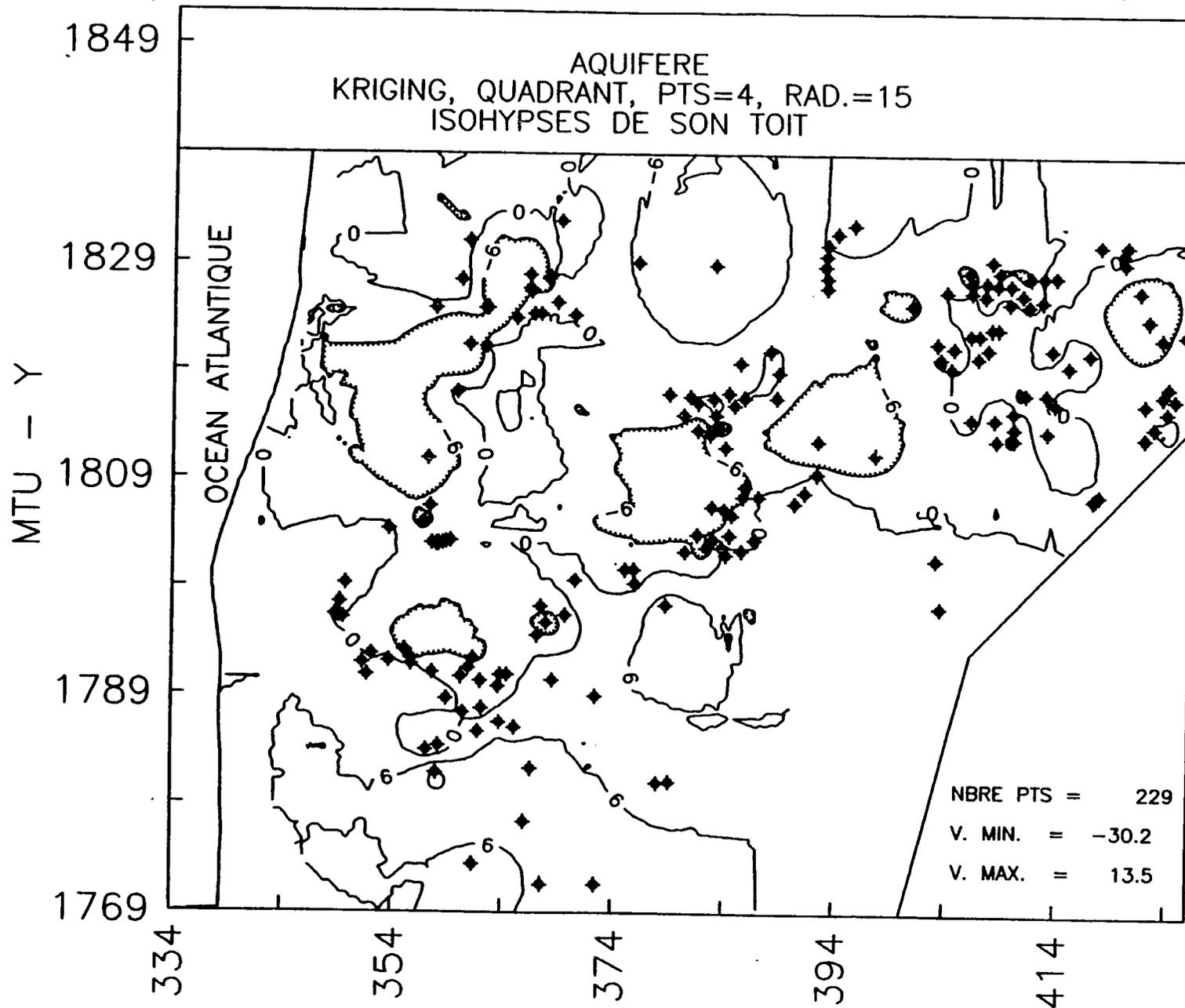
¹ R#.: Golden Software, Inc., p. 8-40, application de la fonction: "Residual".

² R#.: Golden Software, Inc. p. 8-40, application de la fonction SURFER: "Residual".

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 9



ofc

La valeur de l'écart-type est importante et permet de déduire qu'à l'intérieur de la ligne isovaleur 2 mètres, l'aquifère peut être considéré libre à l'intérieur de cette ligne, c'est-à-dire, comportant une surface libre et une zone non saturée.

La carte #10 "Réservoir aquifère - compartiment supérieur - isohypses de son mur (m/0 IGN) (dlt aq1b)" a été dressée. La cote du mur varie de -8 à -12 mètres, atteignant parfois des valeurs importantes > -20 mètres. Ces zones particulières correspondent aux zones de discontinuité de la couche argile/silt #2 (voir section 4.2.2).

La carte #11 "Réservoir aquifère - compartiment supérieur - isopaches (épaisseur) en mètres (dlt aq1e)" a été également dressée, montrant des zones où l'épaisseur de l'aquifère est nulle. Ces zones se localisent:

- 1) à la hauteur du périmètre de Debi, là où existe un seuil déjà évoqué à la section 3.2.2 (remontée des sédiments Inchirrien),
- 2) entre les périmètres de Boundoum et de Grande Digue Tellel Kassak, coté Ouest du Lampsar,
- 3) à la hauteur de Kheun, à mi-chemin entre les villes de Keur Macène et Rosso, le long du fleuve Sénégal.

Ces trois zones se superposent parfaitement avec les zones de maximum d'épaisseur de la couche #1 silt/argile.

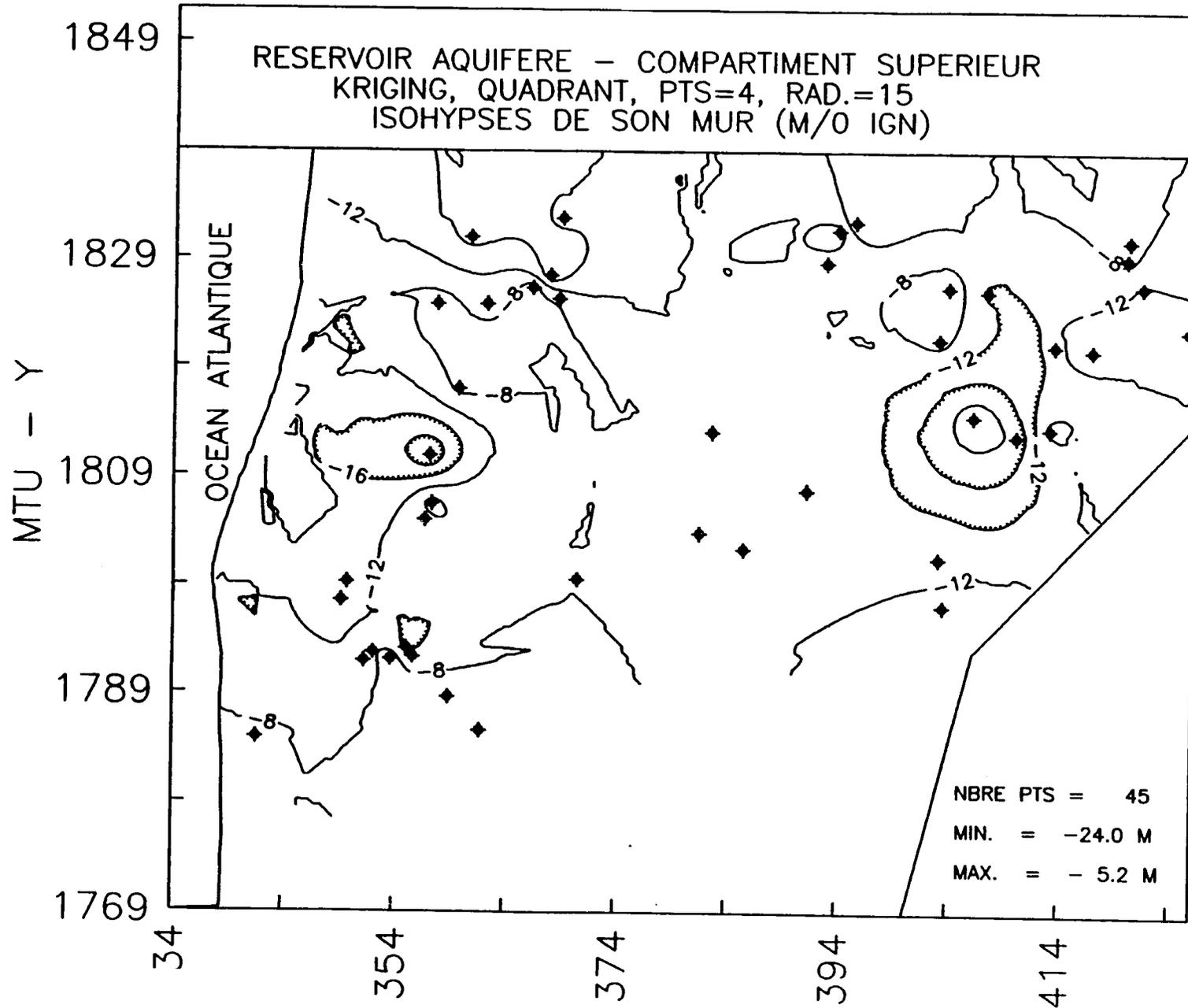
En conclusion, ce réservoir aquifère se caractérise:

- * par un compartiment supérieur, *géométriquement* captif et/ou libre, selon que la couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt) est observée ou pas,
- * par un compartiment supérieur, *hydrogéologiquement* captif et/ou libre, selon que la cote IGN du niveau d'eau est inférieure ou supérieure à la cote IGN du toit de l'aquifère. La nature de ce réservoir aquifère peut possiblement varier selon la saison à l'intérieur d'un cycle annuel.
- * le compartiment supérieur du réservoir aquifère est relativement homogène dans sa nature granulométrique et discontinu dans son épaisseur (épaisseur du réservoir parfois nulle),
- * l'épaisseur du compartiment supérieur varie de 0 à 12 mètres et se localise principalement dans les sédiments du Nouakchottien, parfois dans la partie supérieure des sédiments de l'Inchirrien,
- * l'épaisseur du compartiment inférieur de l'aquifère n'a pu être déterminée à partir des travaux du projet.

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 10

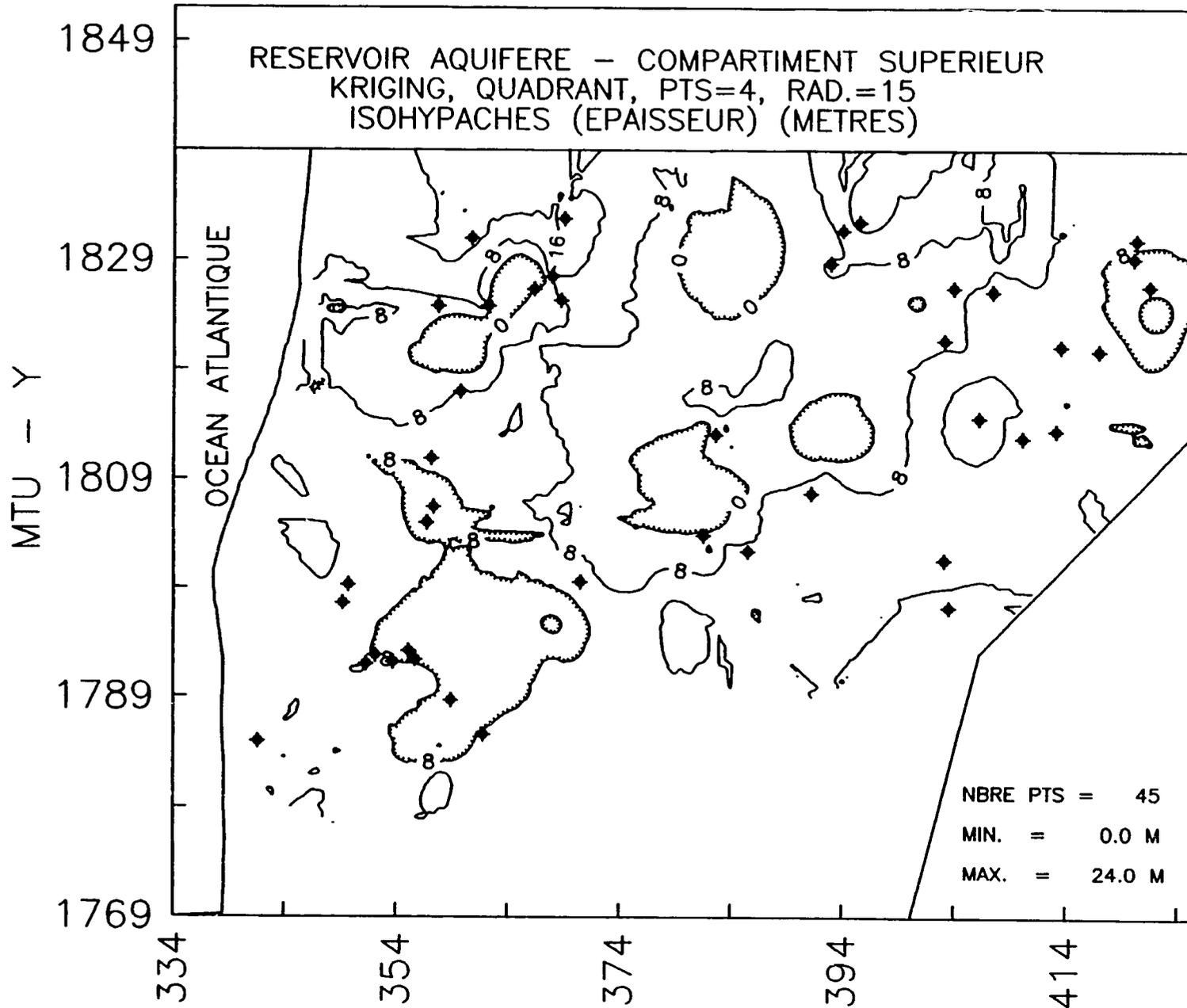


26

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 11



42

5 DELTA - CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE

5.1 Paramètres hydrauliques structuraux

5.1.1 Résultats des essais de perméabilité à niveaux descendants

Chaque piézomètre, réalisé par le projet, a été soumis à un développement limité à deux heures, suivi après récupération du niveau statique, d'un essai de perméabilité (KK) à niveau d'eau descendant³³ (slug test). La méthode d'interprétation s'appuie sur la théorie de HVORSLEV.³⁴

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 (rares dans les limites du delta et toujours en surface)³⁵ et tient compte de la géométrie de la partie lanternée du piézomètre (longueur de la crépine = systématiquement 1 mètre).

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 essai de pompage est valable pour obtenir les valeurs de perméabilité recherchées.

Dans les limites du delta, le projet a réalisé 211 essais de perméabilité à niveau descendant. La notion de compartiments liée à la définition du réservoir aquifère a conduit à classer en deux groupes les résultats acquis sur la base de la profondeur de la crépine:

- * compartiment supérieur : prof. crépine/sol inférieur à 13 mètres,
- * compartiment inférieur : prof. crépine/sol supérieur à 13 mètres.

Les figures 4 et 5 montrent la distribution logarithmique des valeurs de perméabilité par formation géologique, respectivement pour les compartiments supérieur et inférieur du réservoir aquifère.

L'annexe 5 montre la liste détaillée des valeurs de perméabilité par groupe (compartiment supérieur et inférieur du réservoir aquifère).

³³ Ref: Société d'Énergie de la Baie James, Mars 1978.

³⁴ Ref: FREEZE et CHERRY, 1979, p. 340-341.

³⁵ R. A.: Audibert, 1970, document IV, p. 10.

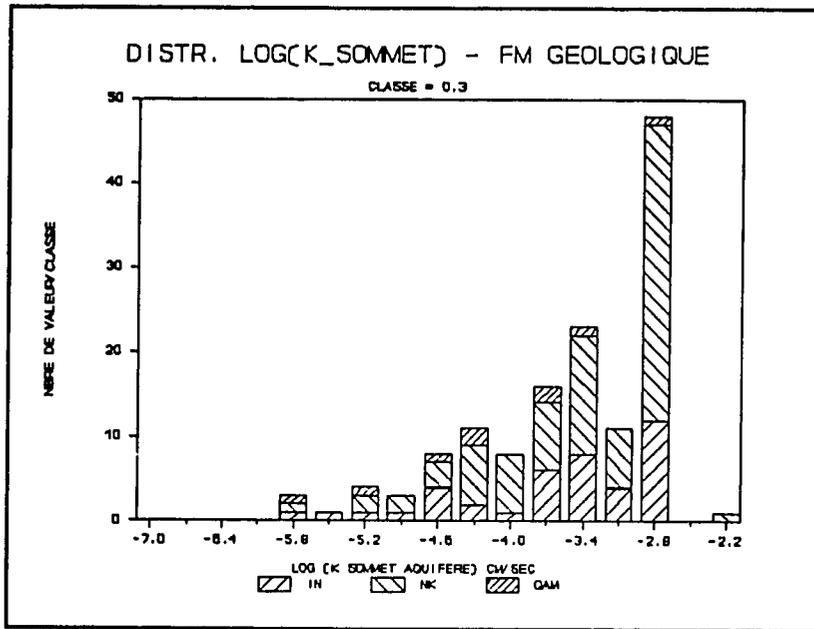


Figure 4 Compartiment supérieur de l'aquifère - distribution de log(K) vs formation géologique

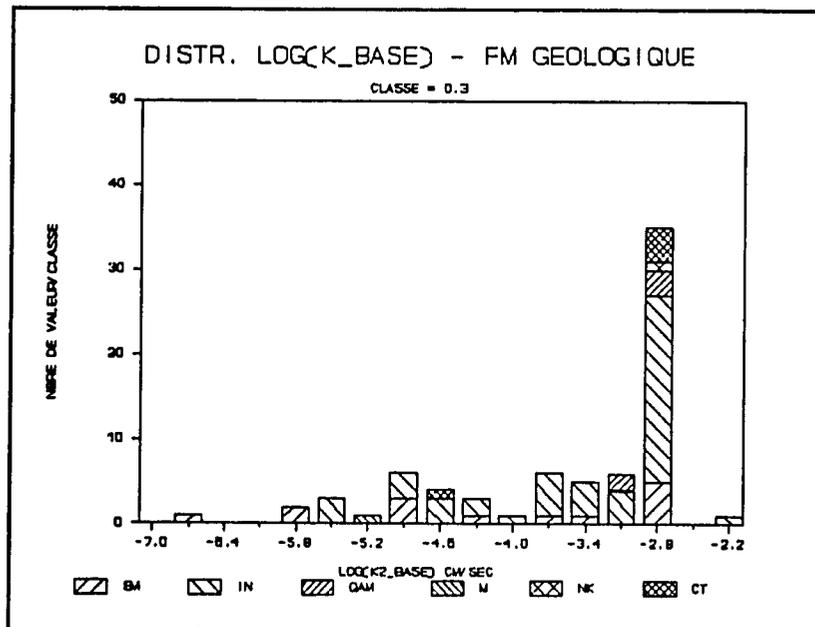


Figure 5 Compartiment inférieur de l'aquifère - distribution de log(K) vs formation géologique

35

PARTIE SUPERIEURE AQUIFERE = PROF. CREPINE < 13.0 M/SOL

STATISTIQUES	PROF.CREP M/SOL	K (CM/SEC)	LOG(KK)
NBRE	137	137	137
MIN.	4.00	8.50E-07	-6.07
MAX.	13.00	3.40E-03	-2.47
MEDIANE	-	3.00E-4	-3.52

PARTIE PROFONDE AQUIFERE = PROF. CREPINE > 13.0 M/SOL

STATISTIQUES	PROF.CREP M/SOL	K (CM/SEC)	LOG(KK)
NBRE	74	74	74
MIN	13.0	1.8E-07	-6.74
MAX	49.2	5.5E-03	-2.26
MEDIANE	-	6.9E-04	-3.15

Dans les deux cas - compartiments supérieur et inférieur du réservoir aquifère, on observe que:

1) l'étalement des valeurs de perméabilité est grand ($1 \cdot 10^6$ cm/sec à $> 1 \cdot 10^3$ cm/sec) reflétant l'hétérogénéité des sédiments captés,

2) toutes les formations géologiques sont bien représentées dans chacune des classes de log(kk) à l'exception de la formation ÇT qui regroupe toutes ses valeurs de perméabilité dans la classe supérieure ($> 1 \cdot 10^3$ cm/sec) (voir figure 5).

Les piézomètres captant cette formation, substratum des sédiments du Quaternaire, sont au nombre de 7 et sont tous localisés au Nord du fleuve Sénégal, à la hauteur de Rosso (voir annexe 3, carte sédiments du Tertiaire - isohypses du toit et forages renseignés).

Les figures 4 et 5 montrent une classe prédominante (log kk = -2.8). Cette classe correspond à la valeur limite supérieure à partir de laquelle l'essai de perméabilité à niveau descendant n'est plus interprétable (rabattements instantanés). Dans ces cas, une valeur de perméabilité $> 1 \cdot 10^3$ cm/sec a été attribuée. Environ 40% des résultats acquis tombent dans ce cas. Dans l'hypothèse où la distribution des valeurs de perméabilité est log-normale, comme il est souvent observé (Freeze and Cherry, 1975), alors la valeur médiane peut être déterminée. En assumant que les valeurs de perméabilité soient symétriquement distribuées de part et d'autre de la valeur médiane, alors l'écart-type peut être estimé. La valeur de l'écart-type recherchée correspond à la valeur de perméabilité dont l'intervalle défini par l'opération -médiane +/- écart-type - renfermera les 2/3 de l'ensemble des valeurs de perméabilité.

Cette estimation a été faite pour les compartiments supérieur et inférieur et les deux compartiments combinés du réservoir aquifère. Les résultats sont:

aquifère	nbre	médiane cm/sec	écart type
supérieur	137	$3.0 \cdot 10^{-4}$	$2.7 \cdot 10^{-4}$
inférieur	74	$6.9 \cdot 10^{-4}$	$6.5 \cdot 10^{-4}$
combinés	211	$4.4 \cdot 10^{-4}$	$4.0 \cdot 10^{-4}$

La plage des valeurs comprises entre les limites - valeur médiane +/- écart-type - pour chacun des compartiments se superpose et rend difficile la différenciation des perméabilités entre les deux compartiments surtout si le nombre d'échantillons est limité. En d'autre terme, quelle est la probabilité que la différence entre les valeurs médianes caractérisant les deux compartiments de l'aquifère soit le résultat du hasard plutôt que le résultat d'une différenciation réelle des perméabilités liée à la nature géologique des deux compartiments supérieur et inférieur?

Pour répondre à cette question, on accepte par hypothèse que la valeur de perméabilité médiane correspond à la valeur moyenne de la perméabilité. Dans un tel cas, la distribution des valeurs de perméabilité est log-normale et l'écart-type de la différence entre les moyennes des perméabilités de chacun des compartiment est donnée par la formule suivante²⁶:

$$\sigma_D = (\sigma_s^2/n_s + \sigma_i^2/n_i)^{1/2}$$

où:

σ_s = l'écart-type caractéristique de l'ensemble des valeurs de perméabilité du compartiment supérieur,

σ_i = l'écart-type caractéristique de l'ensemble des valeurs de perméabilité du compartiment inférieur,

n_s = le nombre de valeurs de perméabilité caractérisant le compartiment supérieur de l'aquifère,

n_i = le nombre de valeurs de perméabilité caractérisant le compartiment inférieur de l'aquifère.

La valeur de σ_D résultant de l'application de cette formule aux valeurs médianes des perméabilités déjà obtenues donne $7.9 \cdot 10^{-5}$ cm/sec. La différence des valeurs médianes des perméabilités ($6.9 \cdot 10^{-4} - 3.0 \cdot 10^{-4} = 3.9 \cdot 10^{-4}$) est 4.9 fois supérieur à la valeur de σ_D .

Par conséquent, en moyenne, les sédiments du compartiment inférieur sont deux fois plus perméables que les sédiments du compartiment supérieur. Bien que la différenciation statistique soit nette, il est opportun de se rappeler le critère d'arrêt des travaux de forages utilisé sur les chantiers: la recherche de l'horizon le plus perméable pour la profondeur visée dans la programmation des travaux de forages - courts (<15 mètres) et profonds (> 15 mètres et < 65 mètres). La probabilité d'intercepter un horizon plus perméable sur un forage profond est supérieure à celle d'un forage court.

La plage des valeurs comprises entre les limites - valeur médiane +/- écart-type - coïncide avec les faibles valeurs de perméabilité caractérisant une formation aquifère semi-perméable (sable fin et silt) (réf.: Bear, Zaslavsky and Army, 1968). Ce constat coïncide parfaitement avec les sédiments du Quaternaire rencontrés dans les limites du delta lors de la construction du réseau piézométrique OMVS et nous proposons la valeur moyenne des deux compartiments combinés, soit: $4.4 \cdot 10^{-4}$ cm/sec (moyenne) et $4.0 \cdot 10^{-4}$ cm/sec (écart type).

²⁶ Arkin and Colton, 1970.

5.1.2 Résultats des essais de pompage

Dans les limites du delta, le projet a réalisé 6 pompages d'essai (DA001, DA032, DA083, GA0036, GA0255, GA0264) dont la durée de pompage était limitée à 48 hres et la durée de l'observation de la remontée était également de 48 hres. Le lecteur trouvera la localisation des sites à la carte #12 "Carte de localisation des sites de pompage d'essai (dit locq)". Les paramètres hydrauliques des aquifères testés sont regroupés dans le tableau ci-après. Ce sont dans l'ordre³⁷, le débit spécifique (Qc), le rabattement spécifique critique (Dc), le coefficient de transmissivité (T), l'épaisseur de l'aquifère (E), le coefficient de perméabilité horizontale (KQ), le coefficient d'emmagasinement (S), le facteur de drainance (L), le coefficient de drainance (c) et le coefficient de perméabilité verticale (Kv).

Tableau #4: Paramètres hydrauliques de l'aquifère

PARAM.	UNITS	DA001	DA032	DA083	GA0036	GA0255	GA0264
Qc	m ³ /hr	14.0	NR	>10.0	NR	ND	12.0
Dc	m	1.68	NR	>3.0	NR	ND	4.0
T	m ² /s	2.50E-03	2.00E-03	2.00E-02	NI	NI	1.00E-03
E	m	>21	20.0	7.0	>5	>19	>20
KQ	m/s	1.00E-04	1.00E-04	2.86E-03	NI	NI	4.00E-05
S	none	1.00E-04	4.00E-04	NA	NI	NI	7.00E-04
L	m	760	579	NA	NI	NI	109
c	days	2600	1889	NA	NI	NI	121
Kv	m/s	9.00E-09	6.00E-09	NA	NI	NI	4.00E-07
COM- PARTMENT	INFERIEUR	INFERIEUR	INFERIEUR	INFERIEUR	INFERIEUR	INFERIEUR	
INTER- PRETATION	WALTON ³⁸	WALTON	JACOB ³⁹	-	-	WALTON	

NR = non réalisé
 NA = non applicable
 NI = non interprétable

Les piézomètres d'observation de la station de pompage DA083 n'ont pas réagi au cours de la réalisation de l'essai. Par conséquent, cette interprétation n'est pas rigoureuse.

Les stations de pompage GA0036 et GA0255 se sont dénoyées après quelques minutes de pompage, interdisant ainsi la réalisation de l'essai.

Dans ce tableau, les coefficients de perméabilité verticale et de drainance ainsi que le facteur de drainance caractérisent l'éponte semi-perméable intercalaire (couche semi-perméable #2).

Les essais de pompage réalisés par le projet n'ont pas testé le compartiment supérieur. Toutefois, SOGREAH et Alt. a pu le tester et ils concluent⁴⁰ que:

"Les essais de nappes réalisés montrent que:

* la nappe dite "supérieure", située en principe entre les cotes (-10) et (-14) est mal individualisée et en communication partielle avec la nappe inférieure. Sa transmissivité est de l'ordre de 10^{-3} m²/s ($K=2*10^{-3}$ m/s).

³⁷ Pour une définition scientifique et rigoureuse, voir Castany, 1977.

³⁸ R#.: Kruseman, 1979, p. 81.

³⁹ R#.: Kruseman, 1979, p. 59.

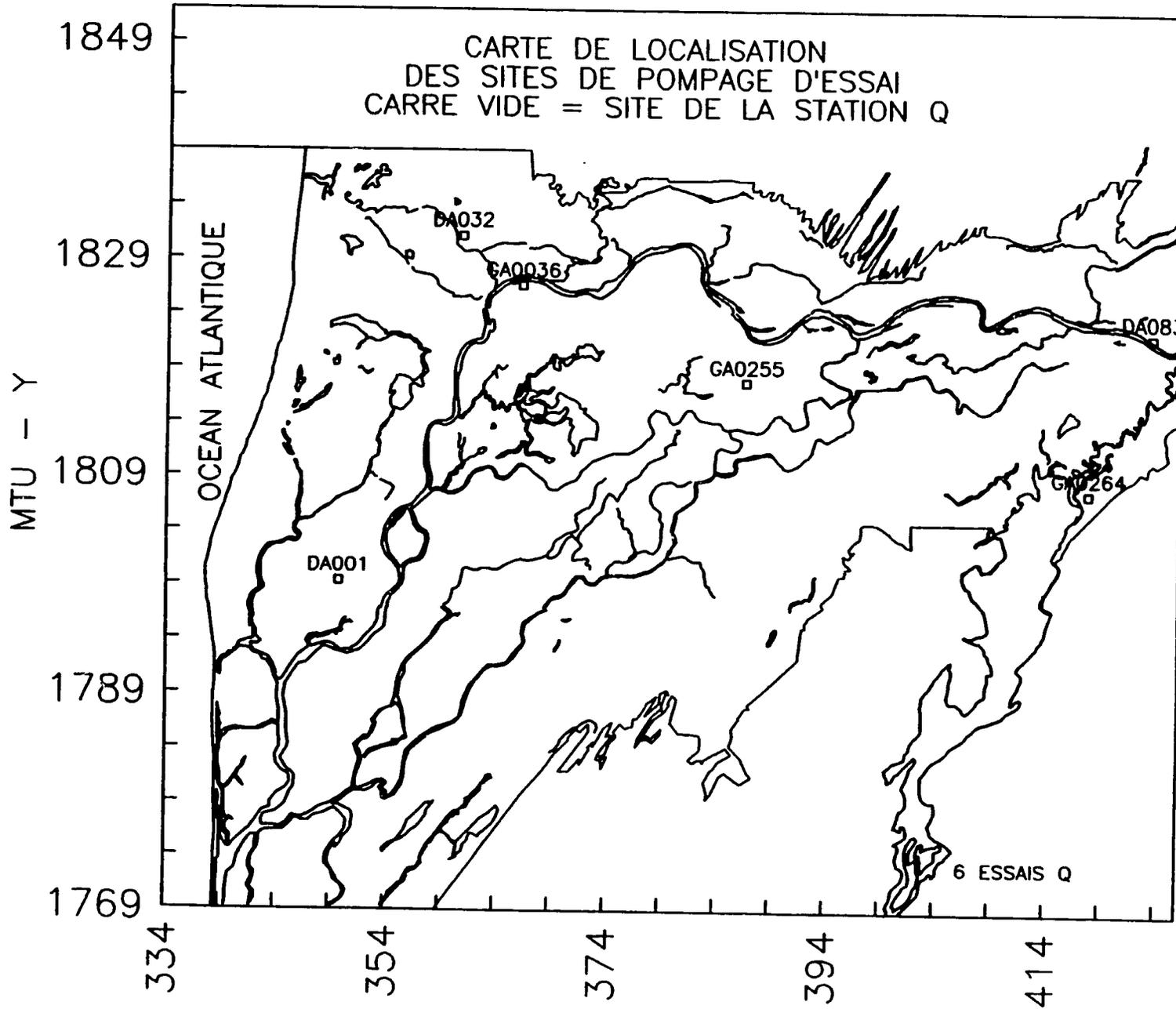
⁴⁰ R#.: SOGREAH et alt., 1978, p.58.

38

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 km

CARTE N° 12



-162

* la nappe "inférieure" de (-16) à (-30) environ, est située dans un terrain très homogène au point de vue perméabilité. Sa transmissivité est de l'ordre de 10^{-2} m²/s ($K=6*10^{-4}$ m/s).

* les deux nappes sont alimentées par le Sénégal qu'on peut assimiler sans grandes erreurs à une alimentation linéaire Est-Ouest située à environ 300m ...

* les deux nappes se comportent comme des nappes captives, le coefficient d'emmagasinement de la nappe inférieure étant de l'ordre de $8*10^{-4}$."

Le compartiment inférieur, soumis à un pompage d'essai sur six sites distincts, renferme une nappe semi-captive bénéficiant d'un faible apport d'eau par drainance verticale comme en témoigne les fortes valeurs du facteur de drainance (L) sur les sites DA001 et DA032. Cette nappe appartient aux sédiments de l'Inchirien (voir carte isobathe de l'Inchirien à l'annexe 3).

Le substratum (série stratigraphique du Tertiaire) n'a pas été testé.

Les valeurs de perméabilité obtenues des essais de perméabilité à niveau descendant (KK) sont inférieures d'un ordre de grandeur à celles obtenues des essais de pompage (KQ). Ce constat est surprenant car les essais de perméabilité caractérisent des strates (généralement 1 mètre de hauteur au droit de la crépine) sélectionnées pour leurs plus grandes perméabilités apparentes (voir critère d'arrêt du forage) alors que les essais de pompage (48 hres) caractérisent un volume de sédiment beaucoup plus important (rayon de 100 mètres autour de la zone de captage). Il serait logique de trouver des résultats inverses, c'est-à-dire, des valeurs de $KK > KQ$.

Malgré cet écart d'un ordre de grandeur, nous pensons que la valeur moyenne de la perméabilité, déduite de l'examen statistique des résultats acquis lors de l'interprétation des essais de perméabilité est la valeur à utiliser dans les calculs pour les raisons suivantes:

* le nombre d'essais de perméabilité (271) effectué est important,

* la distribution spatiale de ces essais est représentative du delta,

* la distribution verticale des essais (forages courts et profonds) est représentative des compartiments de l'aquifère,

* les valeurs de perméabilité interprétées reflètent mieux la nature géologique des sédiments captés par le réseau piézométrique OMVS.

Par conséquent, la valeur moyenne de perméabilité $K=4.4*10^{-4}$ cm/sec sera utilisée lors des calculs ultérieurs.

Les valeurs (S) déterminées suite aux essais de pompage sont de l'ordre de 10^{-4} (sans unité). Ces valeurs sont caractéristiques des nappes captives.

Les valeurs théoriques⁴¹ de (S) pour les nappes libres sont:

gravier	.23 à .25
sable	.23 à .28
silt	.08
argile	.03
dunes	.38

Le schéma géométrique du réservoir aquifère du delta (voir chapitre 4), juxtaposé à ses principaux paramètres hydrauliques structuraux (K, T, S et Kv) est présenté ci-dessous.

Les valeurs de perméabilité mentionnées dans le schéma tirent leur origine de l'interprétation des essais de pompage (KQ=cm/sec), des essais de perméabilité (KK=cm/sec) et des analyses granulométriques (KB=cm/sec).

0 -----	surface
$10^5 < KB < 10^7$ cm/sec	couche #1 semi-perméable
4/5 m -----	COMPARTIMENT AQUIFERE SUPERIEUR
KK hor. v. médiane	= $3.0 * 10^{-4}$ cm/sec
KK écart-type	= $2.7 * 10^{-4}$ cm/sec
KQ hor. Sogreah	= $2.0 * 10^{-2}$ cm/sec
T Sogreah	= 10^{-3} m ² /sec
S	= $8.0 * 10^{-4}$
15/18 m -----	couche #2 semi-perméable
KQ vert.	= 10^7 à 10^9 m/sec
19/30 -----	COMPARTIMENT AQUIFERE SUPERIEUR
KK hor. v. médiane	= $6.9 * 10^{-4}$ cm/sec
KK écart-type	= $6.5 * 10^{-4}$ cm/sec
KQ hor.	= 10^{-3} à 10^{-1} cm/sec
T	= 10^{-2} à 10^{-3} m ² /sec
S	= 10^{-4}
40/50 m -----	substratum

⁴¹ R#.: Todd. 1980.

41

5.2 Hydrogéochimie

Au total dans les limites du delta, 89 échantillons d'eau souterraine (74/89) et de surface (15/89) ont été analysés par le Laboratoire National d'Analyses des Sols et de l'Eau (LANASOL) de la SONADER⁴² à Nouakchott, pour les cations et les anions majeurs, les nitrites et les nitrates.

Les résultats de ces analyses (tableaux et graphiques) sont regroupés à l'annexe 6. Dans les tableaux de cette annexe, on trouvera des informations complémentaires aux résultats d'analyses chimiques des eaux provenant du laboratoire telles la profondeur d'échantillonnage, la proximité des cours d'eau (nom et distance) et les rapports caractéristiques anions/cations usuels. A titre de référence, la composition chimique moyenne de l'eau de mer telle que proposée par l'ORSTOM⁴³ est également montrée.

Quelques sites de prélèvement ont fait l'objet d'un ou plusieurs échantillonnages additionnels dans le cadre de la réalisation des essais de pompage.

Sur l'ensemble des résultats d'analyses obtenues, il a été recherché l'existence:

- 1) d'une stratification chimique verticale en fonction de la profondeur,
- 2) de zones chimiquement différenciées parallèles par rapport au cours d'eau le plus près.

Les teneurs des éléments chimiques provenant des échantillons d'eaux souterraines varient aléatoirement en fonction de la profondeur d'échantillonnage ou de l'éloignement du site d'échantillonnage à son cours d'eau le plus près. A titre d'exemple, il est proposé à l'annexe 6 le graphique montrant la variation de la teneur du Cl^- en fonction de la profondeur de la crépine (figure #2 de l'annexe) et de la distance horizontale d'éloignement du site d'échantillonnage à son cours d'eau le plus près (figure #1 de l'annexe). Les teneurs en Cl^- sont très volatiles en fonction de la profondeur et de la distance horizontale. Cette observation suggère un milieu aquifère très hétérogène verticalement et horizontalement de type lenticulaire.

Toutefois, les variations des rapports caractéristiques (voir tableau, annexe 6) montrent que ces rapports croissent avec l'augmentation de la profondeur, faiblement pour les rapports Cl^-/Na^+ , Mg^{++}/Ca^{++} et Na^+/K^+ ; plus significativement pour les rapports $(Na+K)/(Ca+Mg)$ et Cl^-/SO_4^{--} .

Les équations du meilleur ajustement linéaire pour ces taux d'accroissement sont:

rapports caract.	équations (prof. = m/sol)	observations
Cl^-/SO_4^{--}	$y = 1.04779 \text{ (prof.)} + 13.2593$	significative
Cl^-/Na^+	$y = 0.0034180 \text{ (prof.)} + 1.7546$	faible
Mg^{++}/Ca^{++}	$y = 0.0111616 \text{ (prof.)} + 1.13089$	faible
Na^+/K^+	$y = 0.0086544 \text{ (prof.)} + 16.6412$	faible
$(Na+K)/(Ca+Mg)$	$y = 0.0523016 \text{ (prof.)} + 2.99517$	significative

L'existence d'une stratification chimique verticale est également identifiée avec la figure 5 montrant la distribution du S.A.R. coefficient d'absorption du sodium par classe (voir la section 5.4.2.) et en fonction du compartiment supérieur (crépine < 13 mètres/sol) et du compartiment inférieur (crépine > 13 mètres/sol).

⁴² SONADER = Société Nationale pour le Développement Rural.

⁴³ R. S.: SAOS, 1985, p. 22, tableau 5.

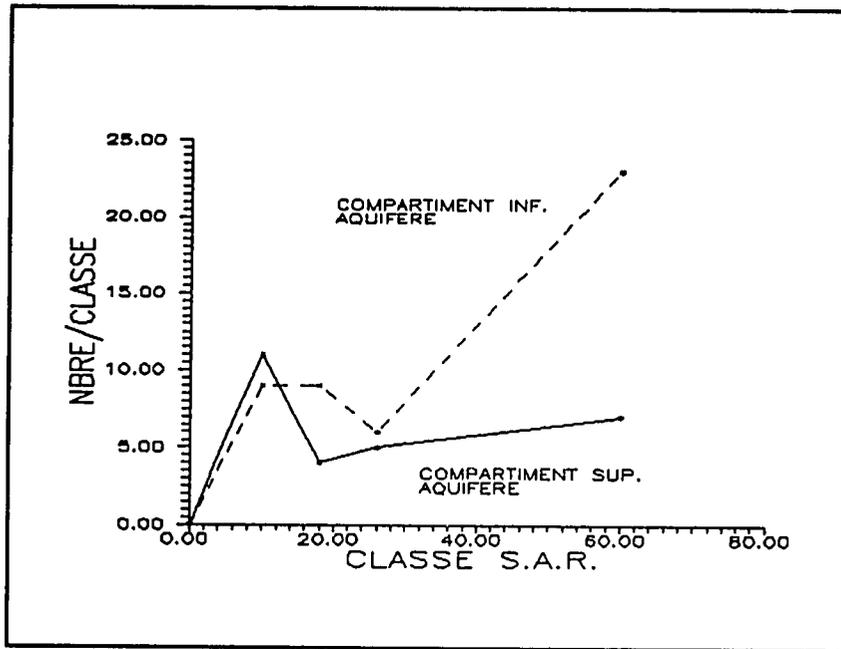


Figure 6 S.A.R. - distribution par compartiment supérieur et inférieur de l'aquifère

Les variations des rapports caractéristiques (voir tableau, annexe 6) montrent également que ces rapports varient avec l'éloignement du site d'échantillonnage à son cours d'eau le plus près: diminution pour les rapports mg^{++}/ca^{++} , $(na+k)/(ca+mg)$ et $cl-/so4^{--}$; augmentation pour les rapports $cl-/na^{+}$ et na^{+}/k^{+} .

Les équations du meilleur ajustement linéaire pour ces taux d'accroissement sont:

rapports caract.	équations (dist. = km)	observations
$cl-/so4^{--}$	$y = -2.87949 \text{ (dist.)} + 42.0159$	diminution
$cl-/na^{+}$	$y = 0.0609257 \text{ (dist.)} + 1.69932$	augmentation
mg^{++}/ca^{++}	$y = -0.0630896 \text{ (dist.)} + 1.50594$	diminution
na^{+}/k^{+}	$y = 0.923929 \text{ (dist.)} + 16.5533$	augmentation
$(na+k)/(ca+mg)$	$y = -0.175714 \text{ (dist.)} + 4.49836$	diminution

Il est rappelé au lecteur que ces équations ne sont pas exactes; elles ne sont qu'un outil analytique.

5.2.1 Faciès hydrogéochimiques

Le faciès hydrogéochimique des eaux souterraines est essentiellement de type chloruré sodique et potassique (72/74) à quelques exceptions près (1/74 - bicarbonatée calcique et magnésienne; 1/74 - sulfatée sodique). Ces eaux sont d'origine marine.

Sur les sites ayant fait l'objet d'un double échantillonnage, les variations des teneurs des anions/cations sont insignifiantes.

Le faciès hydrogéochimique des eaux de surface est principalement de type chloruré sodique et potassique (11/15) à quelques exceptions près (3/15 - bicarbonatée calcique et magnésienne; 1/15 - sulfatée sodique).

Le lecteur trouvera à la carte #13 "Analyses d'eau de type non chloruré sodique (sw_gwchm)" la localisation des échantillons d'eau échappant au faciès hydrogéochimique type de la région.

5.2.2 S.A.R - Coefficient d'absorption du sodium

La carte #14 "S.A.R. - coefficient d'absorption du sodium - période 1987 - 1988 (sar)" montrant les courbes d'égalité de valeur du S.A.R., caractéristiques des eaux souterraines, a été tracée utilisant les limites de classes suivantes⁴⁴:

code	classe limites	nbre échantillons/par classe	
		surface	souterraine
S1	0 < SAR < 10	15/15	20/74
S2	10 < SAR < 18	--	13/74
S3	18 < SAR < 26	--	11/74
S4	SAR > 26	--	30/74

Les échantillons d'eau des classe S1 et S2 appartiennent généralement à des puits villageois, rarement des piézomètres, localisés:

- * dans un axe NE-SO, parallèle à la limite du Ouallo/Dieri au Sud du delta,
- * dans le voisinage du parc national du Djoudj, au Sud du périmètre de Debi,
- * dans l'axe N-S passant par le lac de Guiers et la ville de Rosso, coïncidant avec la zone aquifère libre (voir carte).

Les échantillons d'eau de la classe S3 et S4 appartiennent aux zones où sont aménagées les grands périmètres hydroagricoles, à l'exception des périmètres de la CSS et de M'pourie, localisés à l'est du delta et situés sur la zone aquifère libre. Les périmètres sont aménagés sur des sols lourds constituant la couche silt/argile #1, imperméable.

Les échantillons d'eaux de surface appartiennent tous à la classe S1. Toutefois, on notera les valeurs S.A.R. plus élevées caractérisant les eaux de surfaces des défluent (Lampsar, Djeuss et Gorom) reflétant leur status; drains naturels récepteurs des eaux d'irrigation enrichie en sel suite au lessivage des sols avant la mise en culture des parcelles.

5.2.3 T.D.S. - Solides totaux dissous

Une carte #15 "T.D.S. - Solides totaux dissous (mg/l) valeur provenant du laboratoire (tds)" montrant les courbes d'égalité de valeur de T.D.S. caractéristique des eaux souterraines du delta, a été dressée utilisant les limites de classe suivantes⁴⁵:

limites mg/l	classe	nbre échantillons	
		surface	souterraine
0 < TDS < 1,000	douce	11/15	8/74
1,000 < TDS < 10,000	saumâtre	4/15	32/74
10,000 < TDS < 100,000	saline	--	34/74
100,000 < TDS	sursalée	--	0/74

Les échantillons d'eau des classes douce et saumâtre appartiennent généralement à des puits villageois, rarement des piézomètres, localisés:

- * dans un axe NE-SO, parallèle à la limite du Ouallo/Dieri au Sud du delta,
- * dans le voisinage du parc national du Djoudj, au Sud du périmètre de Debi,
- * dans l'axe N-S passant par le lac de Guiers et la ville de Rosso, coïncidant avec la zone à nappe libre (voir carte #25).

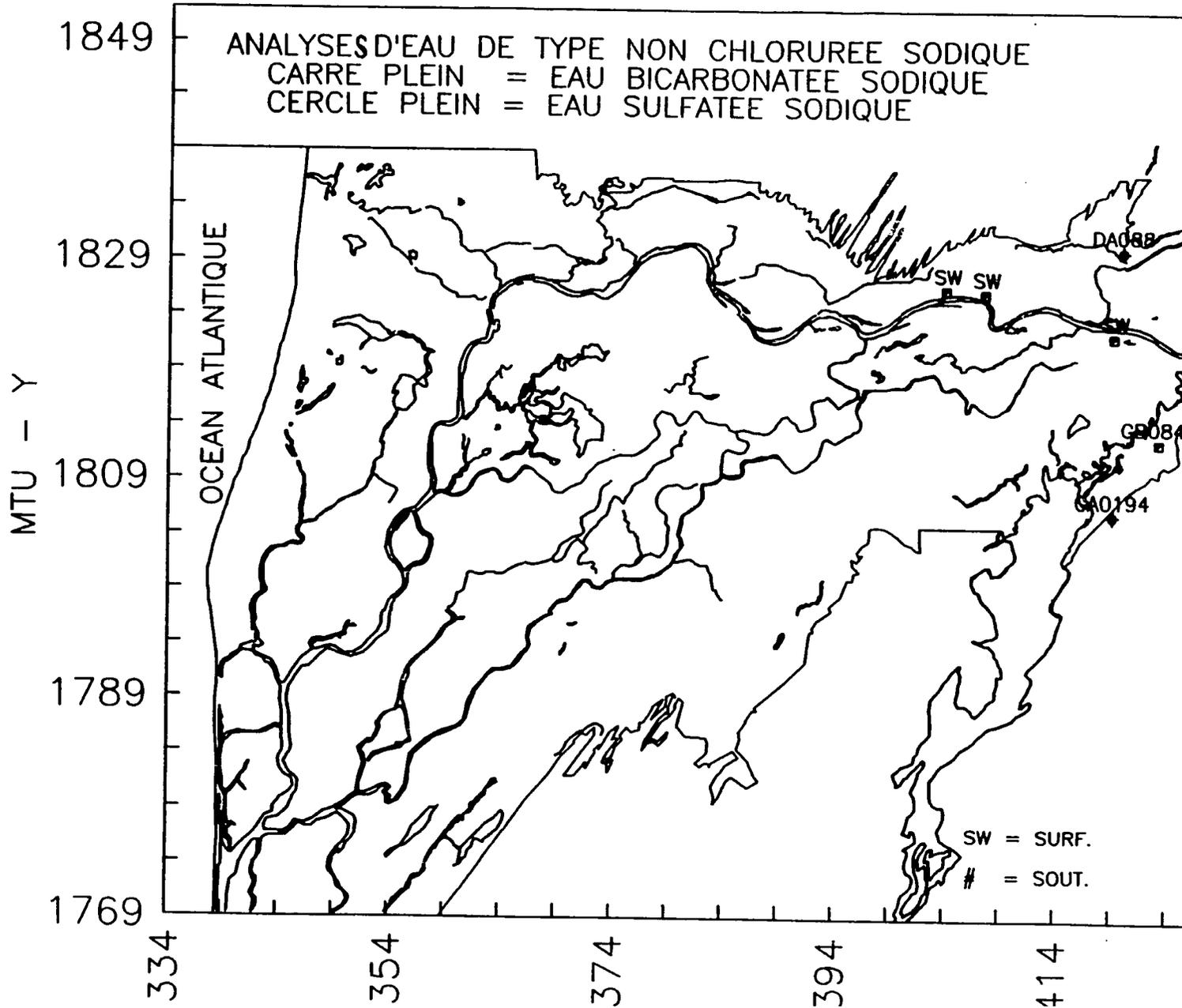
⁴⁴ R.É.: COOPERATION ET DEVELOPPEMENT, 1984, p. 95.

⁴⁵ R.É.: FREEZE, p. 84.

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

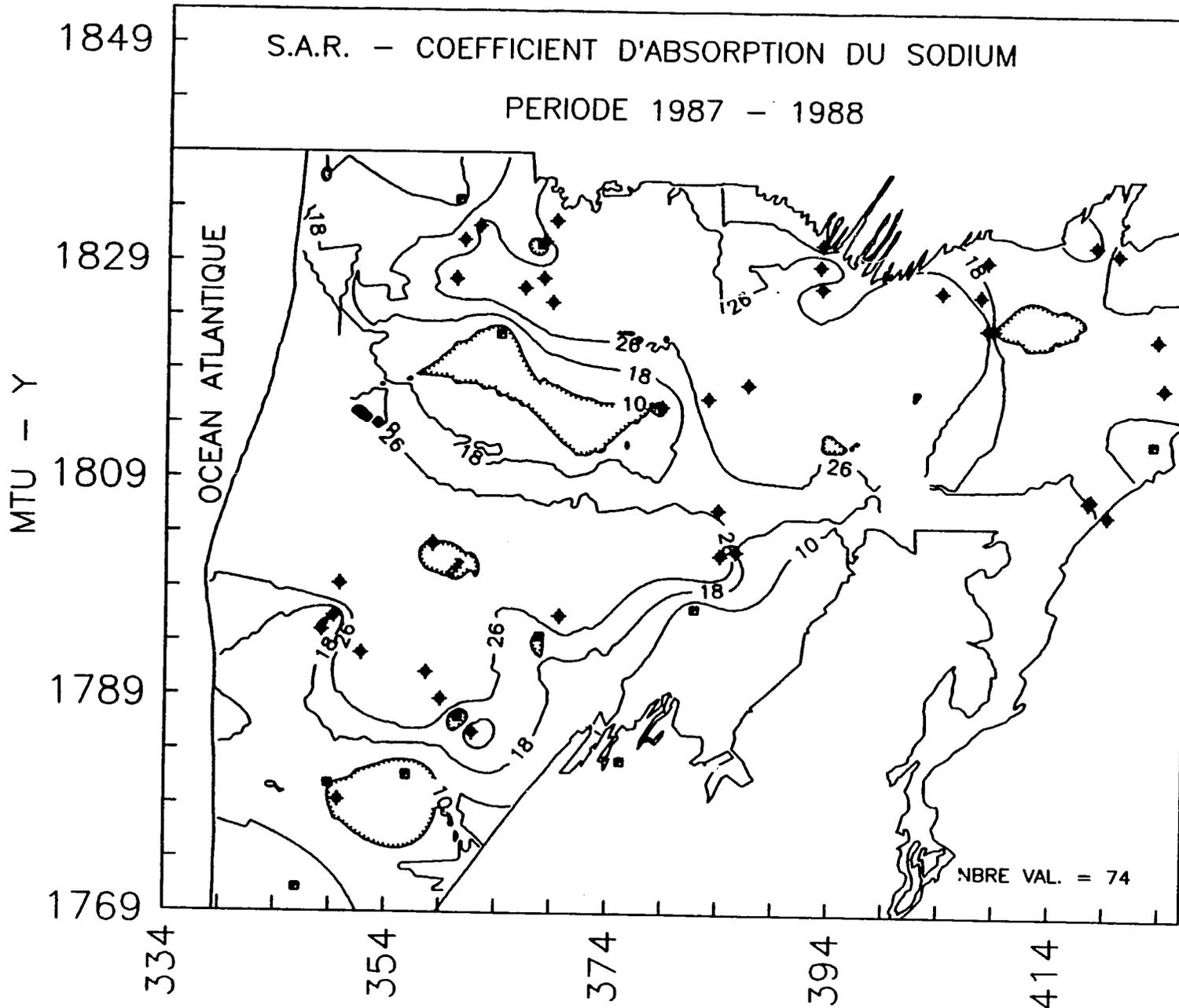
CARTE N° 13



DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 14

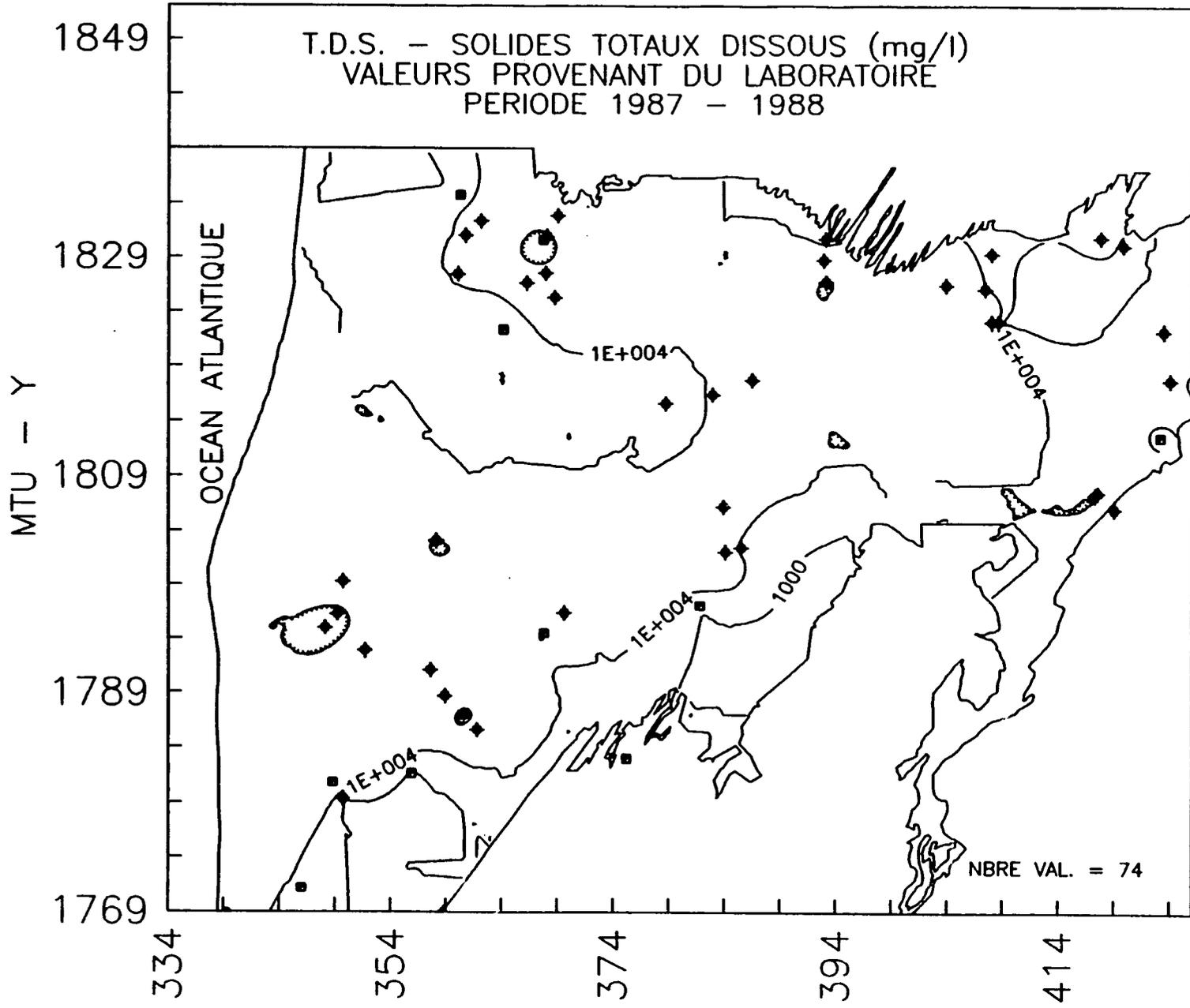


26

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 15



1h

Les échantillons d'eau de la classe saline appartiennent aux zones où sont aménagées les grands périmètres hydroagricoles, à l'exception des périmètres de la CSS et de M'pourie, localisés à l'est du delta dans une zone à nappe libre. Les périmètres sont généralement aménagés sur des sols lourds constituant la couche silt/argile #1, imperméable.

Les eaux souterraines du delta sont fortement minéralisées et compte tenu de leur coefficient d'absorption du sodium élevé, elles sont inaptées à un usage agricole (irrigation).

Les échantillons d'eaux de surface appartiennent pratiquement tous (11/15) à la classe eau douce. Les quatre valeurs TDS échappant à cette classe appartiennent aux eaux de surfaces des défluent (Lampsar, Djeuss et Gorom) reflétant leur statut; drains naturels récepteurs des eaux d'irrigation enrichies en sel suite au lessivage des sols avant la mise en culture des parcelles.

5.2.4 Pesticides et herbicides

Les résultats d'analyses chimiques portant sur les herbicides et les pesticides sont inexistant dans les limites du delta⁶⁵ car les laboratoires locaux ne sont pas équipés avec les instruments adéquats pour procéder à ce type d'analyses spécialisées.

Le projet a simplement inventorié les différents pesticides et les herbicides utilisés par les organismes tels la CSS et la SAED de même que les taux d'épandage à l'hectare (voir annexe #7).

Cet inventaire ne concerne que le delta rive gauche, bien que la même information ait été recherchée auprès de la SONADER, en rive droite.

Si une campagne d'échantillonnage doit avoir lieu, elle devrait se concentrer à proximité des lieux de vidange relatifs à chacun des grands périmètres hydroagricoles (voir tableau #2). Ces lieux de vidange constituent des zones à risque.

L'analyse des herbicides et pesticides est possible uniquement à l'extérieur du pays.

⁶⁵ Réf.: Gersar, 1989, p. 62.

6 CYCLES DE FLUCTUATIONS PLURI-ANNUELLES - PERIODE 87 - 89

La base de données GES contient une série historique des mesures de profondeurs d'eau par rapport au point repère (eau souterraine et périodicité mensuelle) et des relevés limnimétriques des plans d'eau libre (eau de surface et périodicité journalière).

Le suivi hydrogéologique des puits villageois a débuté en novembre 1986 et celui des piézomètres progressivement à partir de juin 1987 au fur et à mesure de leur réalisation sur le terrain.

La mise en carte (traitement géostatistique Kriging) de ces données historiques a permis de tracer selon la variable utilisée les surfaces saisonnières de profondeur du niveau d'eau par rapport au sol (excluant les eaux de surface) et représentative du compartiment supérieur de l'aquifère) et les surfaces piézométriques correspondantes (incluant les eaux de surface et excluant les eaux de surface) représentatives des compartiments supérieur et inférieur de l'aquifère).

Ces cartes, couvrant 3 cycles hydrogéologiques (1987-1989), caractérisent les fins de saison sèche et les fins de saison des pluies. Les critères d'extraction GES utilisés pour sélectionner les intrants utiles aux traitements cartographiques sont:

- 1) la position de la crépine par rapport au sol $< > 13$ mètres selon le compartiment considéré de l'aquifère,
- 2) les périodes d'observation:
 - 15/05/année $<$ saison sèche $<$ 15/07/année
 - 15/09/année $<$ saison humide $<$ 15/11/année.
- 3) la localisation cartographique:
 - 334 $<$ MTU-X $<$ 426
 - 1769 $<$ MTU-Y $<$ 1852

L'introduction des données relatives aux eaux de surface à celles des eaux souterraines est basée sur le découpage des eaux de surface décrit dans la section 2.4 de ce rapport. Les valeurs caractéristiques des eaux de surface sont, pour chacune des saisons et par année, décrites graphiquement à l'annexe #6. La hauteur limnimétrique caractéristique de la saison concernée est la valeur moyenne apparaissant au bas de chacun des graphiques.

Les cartes résultantes de ce traitement sont difficiles à analyser car la distribution spatiale du réseau OMVS (voir critères d'implantation, section 3.5 de ce rapport) est très irrégulière et dans les zones où les piézomètres n'existent pas, les valeurs calculées sont extrapolées. Egalement, l'espacement entre les piézomètres varie selon la nature du dispositif d'observation:

- * métrique le long des lignes piézométriques transversales au fleuve Sénégal;
- * de l'ordre kilométrique entre les piézomètres situés à l'intérieur des périmètres hydroagricoles et le long des lignes piézométriques transversales au delta.

Le lecteur doit déterminer d'abord l'échelle à laquelle il entend faire son analyse.

6.1 Profondeurs des niveaux d'eau par rapport au sol

La figure #7 montre la distribution comparée de la profondeur des niveaux d'eau (m/sol) par classe de 0.5 mètres pour chacune des saisons (sèches et humides) de la période 1987 - 1989. Cette distribution log-normale inclut les profondeurs de niveau d'eau (m/sol) des puits, des piézomètres localisés dans les limites des périmètres hydroagricoles (code LP) et ceux localisés à l'extérieur des périmètres (code HP).

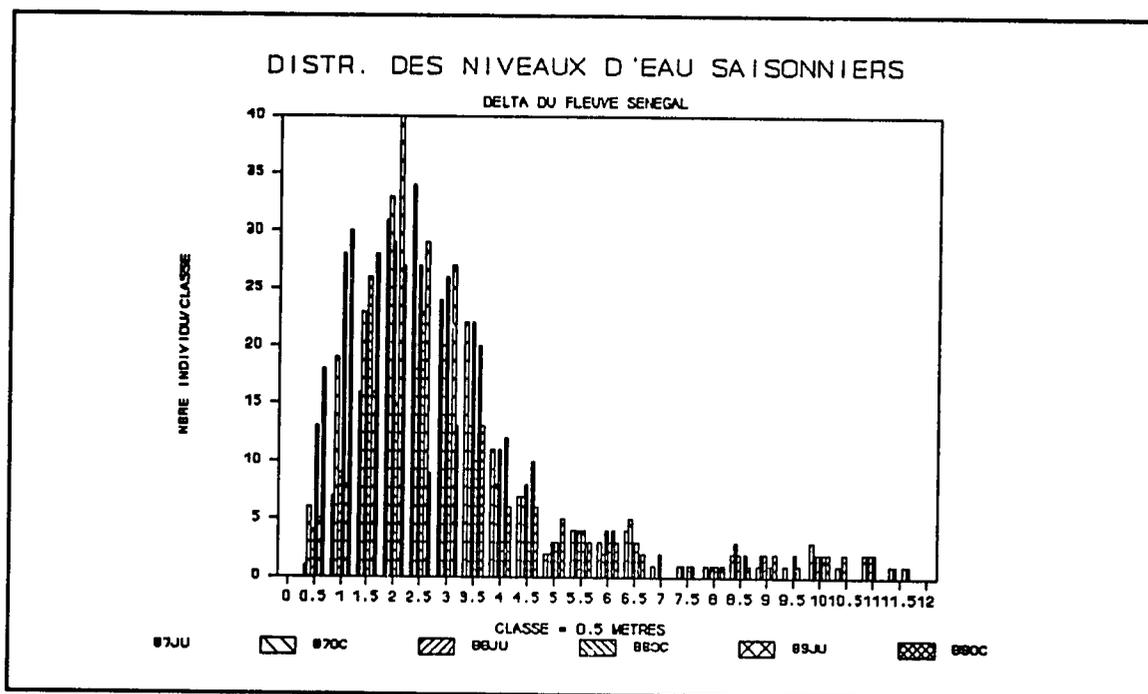


Figure 7 Distribution des profondeurs de niveaux d'eau (m/sol) par saison

STAT.	JU_87	OC_87	JU_88	OC_88	JU_89	OC_89
NBRE	180	172	186	157	185	170
MIN	0.14	0.11	0.02	0.02	0.05	0.11
MAX	11.10	11.15	10.99	10.93	11.07	11.11
MOYENNE	3.15	2.82	3.01	2.46	2.79	2.28
ECART TYP	2.14	2.25	2.11	2.21	1.79	2.03
MEDIANE	2.52	2.06	2.51	2.14	2.41	1.60

Saisonnement, les valeurs médianes de la profondeur du niveau d'eau diminuent lors de la saison sèche (évaporation, évapotranspiration) et augmentent en saisons des pluies (infiltration pluviale et induite par irrigation).

Sur la période 87 - 89, on observe un rapprochement de la profondeur des niveaux d'eau (m/sol) vers la surface topographique correspondant à l'année 1989.

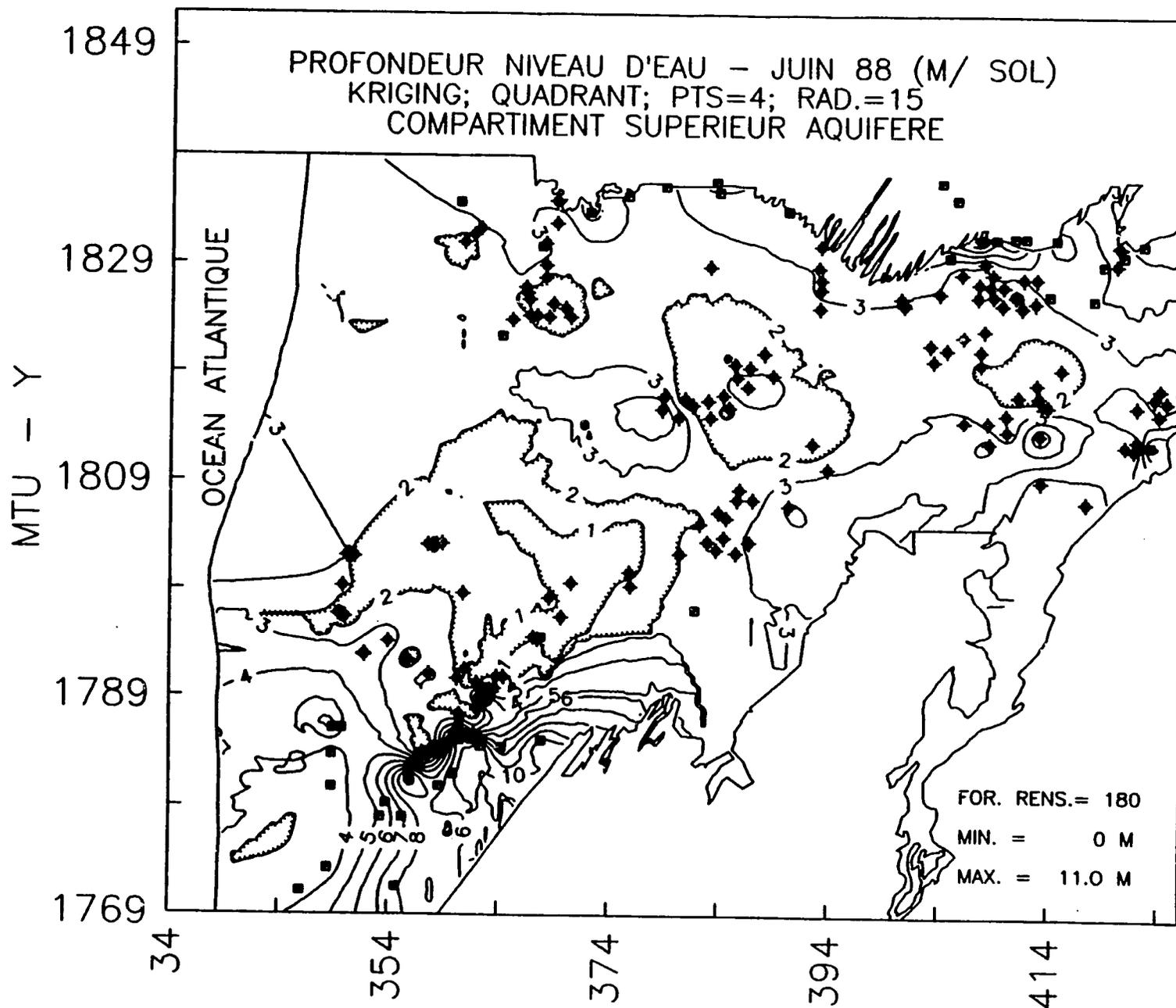
La carte #16 "Profondeur niveau d'eau - Juin 88 (m/sol) -compartiment supérieur aquifère (nv 8806)" et la carte #17 "Profondeur niveau d'eau - Octobre 88 (m/sol) - compartiment supérieur aquifère (nv_8810)" donnent les profondeurs du niveau d'eau saisonnier.

Ces fluctuations saisonnières du niveau d'eau (m/sol) peuvent être comparées aux précipitations totales annuelles observées dans les limites du delta (14 postes pluviométriques).

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 16



19

Tableau #5: Période 1986 - 1989 - précipitation annuelle

ANNEE		1986	1987	1988	1989
NBRE PLUVIO-METRES RENS		8	14	9	5
VAL. MIN.		87	68	181	199
VAL. MAX.		402	349	322	388
MOYENNE		214	182	242	268
ECART TYPE		100	81	43	78

GES CODE	POSTES PLUVIOMETRIQUES	mm/an			
		1986	1987	1988	1989
1	ST LOUIS/AEROPORT	188	349	293	
2	ST LOUIS/ JARDIN BOTAN.		245	268	199
3	NDIOL OUALLO		252		
4	NDIOL DIERI		265	322	388
5	DIAMA BARRAGE		211	181	
6	NDIAYES CENTRE	246	111	181	215
7	ROSS BETHIO	322	201	224	205
8	BOUNDIOM BARRAGE	187	96		
9	KEUR MACENE	183	68		332
10	ROSSO	402	207		
11	R. TOLL/ KM 8	99	165	215	
12	R. TOLL/ KM 15	87	207	255	
13	R. TOLL/ DOMBO		73	203	
14	R. TOLL/ MBILOR			94	219

Les cartes saisonnières ci-après décrivent pour le compartiment supérieur seul de l'aquifère (sommet de l'aquifère sur les cartes) la surface des profondeurs de niveau d'eau (m/sol). Ces surfaces ont été tracées en excluant les cotes des plans d'eau libre. On notera par comparaison saisonnière des surfaces un déplacement horizontal négligeable des courbes d'égales profondeurs de niveau d'eau.

L'équidistance entre les courbes d'égales profondeurs du niveau d'eau est de 1 mètres.

Sur ces cartes, la bordure Sud du delta (zones de puits à la limite du Ouallo/Dieri montre un approfondissement des niveaux d'eau de même que la région N-E du delta (zones de puits au Nord de la ville de Rosso). L'exploitation des puits favorise ces rabattements plus importants.

6.2 Niveaux piézométriques (cotes IGN)

Les valeurs moyennes caractéristiques de la piézométrie relatives aux différentes saisons (sèche et des pluies) couvrant la période du suivi hydrogéologique du réseau OMVS ont été recherchées statistiquement en considérant la localisation géographique du piézomètre:

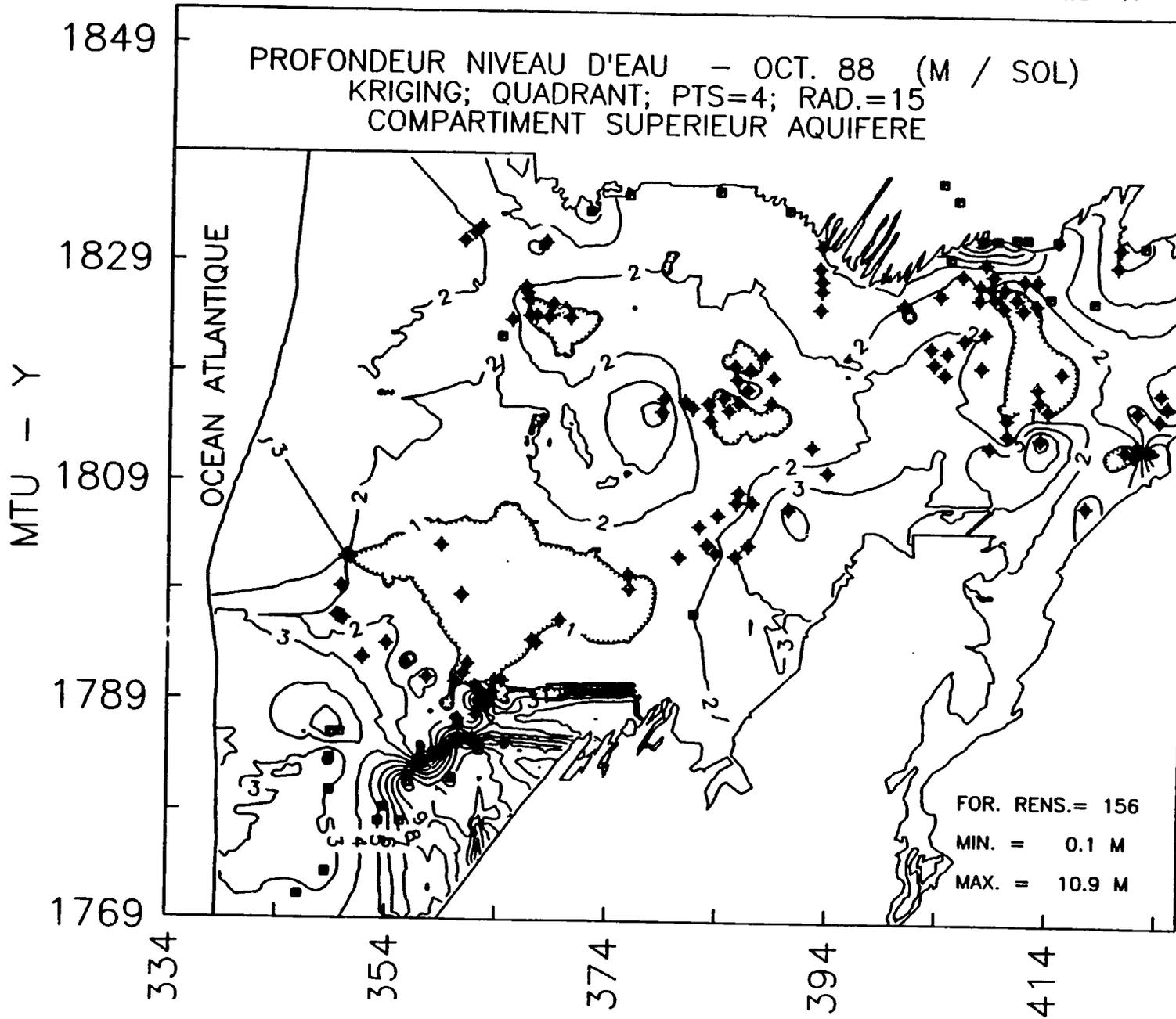
* à l'intérieur des limites des périmètres hydroagricoles (code LP du numéro des piézomètres),

PIEZOMETRIE STATISTIQUES	1987		1988		1989	
	SECHE	PLUIE	SECHE	PLUIE	SECHE	PLUIE
NBRE VAL.	72	115	118	108	125	120
MIN.	-3.27	-2.36	-2.40	-2.33	-2.47	-2.37
MAX.	2.25	2.30	1.89	2.68	1.76	2.63
MOYENNE	-0.45	0.03	-0.29	0.26	-0.33	0.43
ECART TYPE	0.93	1.02	0.85	0.96	0.86	0.99

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 17



* à l'extérieur des limites des périmètres hydroagricoles (code HP du numéro des piézomètres).

PIEZOMETRIE STATISTIQUES	1987		1988		1989	
	SECHE	PLUIE	SECHE	PLUIE	SECHE	PLUIE
NBRE VAL.	22	38	56	45	57	46
MIN.	-4.55	-4.10	-3.28	-3.00	-4.39	-4.33
MAX.	0.30	1.07	1.86	1.14	1.76	0.86
MOYENNE	-0.56	-0.57	-0.53	-0.23	-0.71	-0.44
ECART TYPE	1.14	1.21	0.96	1.10	0.98	1.15

Les valeurs isopièzes relatives aux points d'observation localisés à l'extérieur des limites des périmètres hydroagricoles sont en moyenne systématiquement négatives indépendamment de la saison. Les valeurs positives proviennent de piézomètres localisés à proximité des cours d'eau.

Les valeurs isopièzes relatives aux points d'observation localisés à l'intérieur des limites des périmètres hydroagricoles sont en moyenne négatives pour la saison sèche et en moyenne positive durant la saison des pluies correspondant également à la saison agricole - hivernage (infiltration induite par irrigation).

Les valeurs moyennes de l'amplitude du battement inter-saisonnier de la nappe est résumé dans le tableau ci-après.

Tableau #6: fluctuations moyennes inter-saisonniers

ANNEE	1987	1988	1989
DANS PERIMETRES	0.48	0.55	0.76
HORS PERIMETRES	-0.01	0.30	0.27

Ces fluctuations moyennes inter-saisonniers de la nappe ne reflètent pas l'hétérogénéité du milieu aquifère. Le tableau ci-dessous montre pour plusieurs régions caractéristiques du delta, les variations de charges (nappe captive) ou de remontées du niveau d'eau libre (nappe libre) associées à quelques caractéristiques géométriques du réservoir.

Tableau #7: Observations régionales sur les variations de charges hydrauliques inter-saisonnères

REGION	ST.	COUCHE #1		-----AQUIFERE-----			IRR.	REMONTEE N.S.			I vert. +/-	TYPE NAPPE				
		EPAIS (m)	DISC.	TOIT m/O IGN	MUR m/O IGN	EPAIS (m)		O/N	87 (m)	88 (m)		89 (m)	87	88	89	L/C
TOUNDOU BIRETTE	VV	0	N/A	+6	-8	14	N	0.2	0.6	0.3	N/A	N/A	N/A	L	L	L
AXE LAMPSAR + CUVETTES GDTK	LP	2, 4	NON	-2,-3	-8	8, 10	O	0.2	0.6	0.3	+	+	+	C	C	C
NORD CUVETTE NGAEL	HP	0, 1	OUI	0,-1	-10	8	N	0.1	0.1	0.1	-	-	-	L	L	L
BOUNDOUN	LP	2	OUI	0,-2	-10	8	?	0.3	0.3	0.4	-	-	-	L+C	L+C	L+C
DEBI	LP	0, 6	OUI	0,-6	-8	0, 2	?	0.2	0.6	0.4	-	-	-	C	C	C
CSS, BALKY,SOUSSE	LP	0, 2	OUI	0,-2	-12	8, 10	O	1.0	1.0	1.0	+	+	+	L+C	L+C	L+C
TAHOUEY, DOMBO	LP	2, 4	OUI	-2,-3	-12	10	?	0.9	0.9	1.3	+	+	+	C	C	C
THIAGAR	LP	2, 4	OUI	0,-2	-8	8	?	1.3	0.2	1.6	+	+	+	L+C	L+C	L+C
MPOURIE	LP	4	OUI	-4	-8,-12	8	O	1.4	1.4	1.4	+	+	+	L	L	L
KEUR MACENE	LP	4	NON	-4	-12	8	N	0.0	0.2	0.2	+	+	+	C	C	C
RG- LIMITE OUALLO/ DIERI	VV	0	N/A	+5	-8	8, 10	N	0.0	0.1	0.1	N/A	N/A	N/A	L	L	L
RD- LIMITE OUALLO/ DIERI ROSSO	VV	0	N/A	+3	-14,-16	16	N	0.0	0.2	0.2	N/A	N/A	N/A	L	L	L
RD- LIMITE OUALLO/ DIERI KEUR MACENE	VV	0	N/A	+2	-8	10	N	0.5	0.6	0.0	N/A	N/A	N/A	L	L	L

Légende du tableau #7:

ST. = HP = hors périmètre; LP = limite périmètre; VV = village,
 DISC. = discontinuité de la couche argile/silt #1
 TOIT = cote du sommet de l'aquifère
 MUR = mur ou base du compartiment supérieur de l'aquifère
 L/C = L = libre; C = confinée.
 IRR. = irrigation dans la région concernée O=où; N=non
 I vert.= gradient hydraulique verticale observé entre les compartiments inférieur et supérieur; (+)=descendant; (-)= ascendant.

De ce tableau, on note que:

1) dans les zones à nappes libres:

* hors périmètre hydroagricole et au centre du delta (cuvette Ngael Nord), les remontées inter-saisonnères du niveau d'eau libre sont insignifiantes, de l'ordre de 0.1 mètre,

* hors périmètre hydroagricole et à la limite du Ouallo/Dieri, les remontées inter-saisonnères du niveau d'eau libre sont insignifiantes, de l'ordre de 0.1 à 0.2 mètre,

55

* dans les limites des périmètres hydroagricoles, les remontées inter-saisonniers du niveau d'eau libre sont de l'ordre de 0.9 à 1.6 mètres,

* dans les toundous, zones de discontinuité de la couche imperméable #1, les remontées inter-saisonniers du niveau d'eau libre sont de l'ordre de 0.3 mètre.

2) dans les zones à nappes confinées:

* dans les limites des périmètres hydroagricoles, les remontées inter-saisonniers du niveau d'eau libre sont de l'ordre de 0.3 à 0.4 mètre.

Le lecteur trouvera ci-après:

* la carte #18 "Piézométrie - Juin 88 - avec cotes plans d'eau - compartiment supérieur aquifère (m/0 IGN) (z1_8806)",

* la carte #19 "Piézométrie - Juin 88 - sans cotes plans d'eau - compartiment supérieur aquifère (m/0 IGN) (zgw8806)",

* la carte #20 "Piézométrie - Octobre 88 - avec cotes plans d'eau - compartiment supérieur aquifère (m/0 IGN) (z1_8810)",

* la carte #21 "Piézométrie - Octobre 88 - sans cotes plans d'eau - compartiment supérieur aquifère (m/0 IGN) (zgw8810)",

* la carte #22 "Remontée du niveau d'eau libre (mètres) entre Octobre 88 et Juin 88 avec les cotes de plans d'eau (re_88106)"

* la carte #23 "Remontée du niveau d'eau libre (mètres) entre Octobre 88 et Juin 88 sans les cotes de plans d'eau (zgw_1006)"

Ces cartes montrent la distribution des courbes isopièzes et l'importance de la remontée pour les mois de Juin et Octobre 88, avec et sans la présence des cotes des plans d'eau libre lors du calcul géostatistique.

6.3 Zones à nappes captives et/ou libres

La carte #24 "Zones à nappe captive ou libre - Juin 88 (ty_8806)" et la carte #25 "Zones à nappe captive ou libre - Octobre 88 (ty_8810)" sont dressées par soustraction entre la surface du toit de l'aquifère (compartiment supérieur) et les surfaces piézométriques saisonnières. La courbe d'égale valeur zéro délimite les différents domaines: nappe captive = valeurs négatives; nappe libre = valeurs positives. Pour faciliter la lecture de ces cartes, des lignes hachurées ont été ajoutées en surcharge pour délimiter les zones à nappes libres.

Cette information est évidemment significative à proximité des piézomètres et non ailleurs.

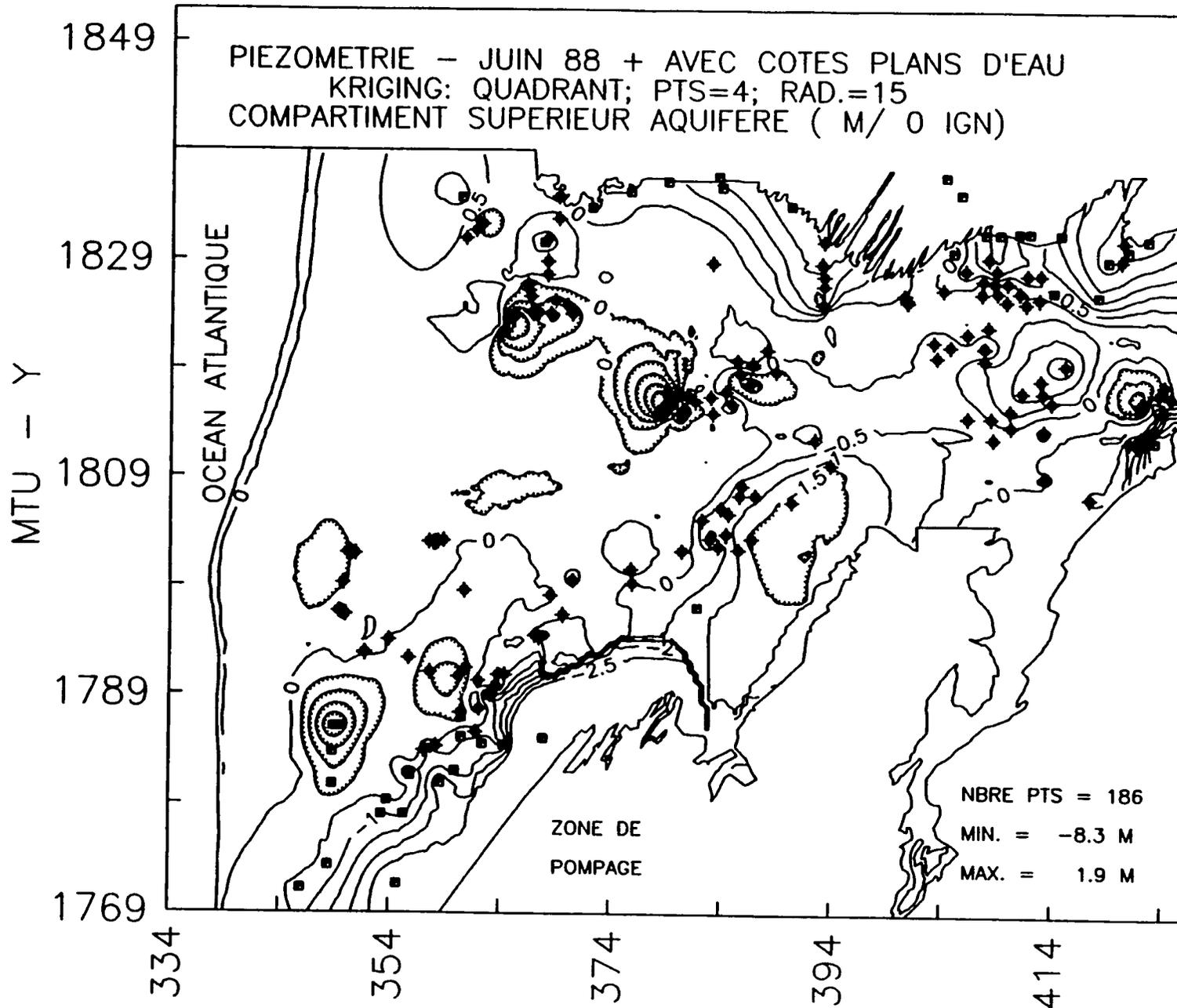
Les zones à nappes libres coïncident parfaitement avec la carte - couche argile/silt #1 - zone de discontinuité (voir section 4.2.1.) et les remarques faites à ce chapitre s'appliquent intégralement aux zones à nappes libres.

La zone des nappes captives occupe grossièrement le centre du delta et coïncide sensiblement avec les zones montrant des teneurs en solides totaux dissous maximales. Les eaux sont piégées sous un recouvrement argileux efficace.

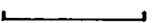
DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

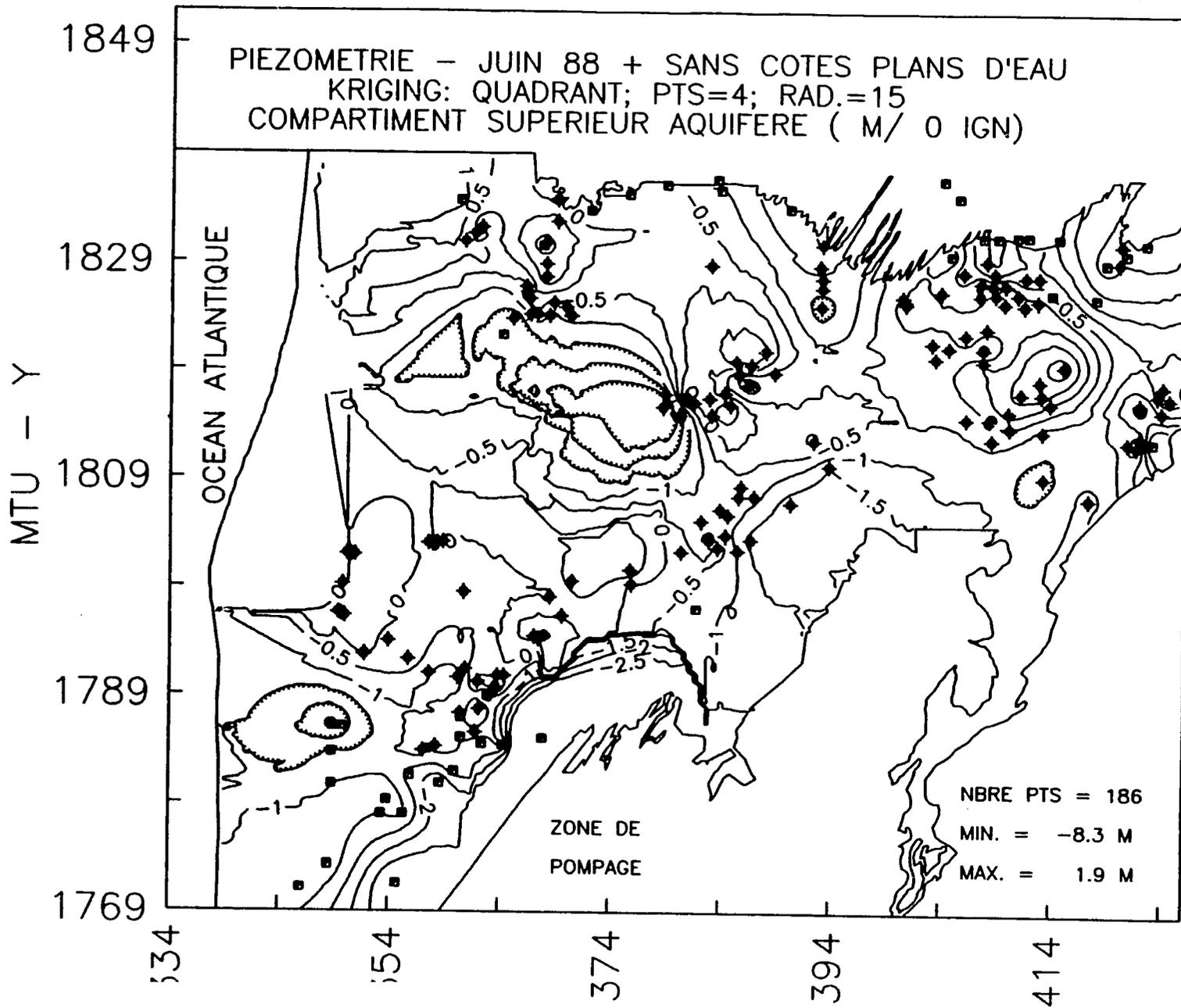
CARTE N° 18



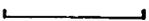
DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

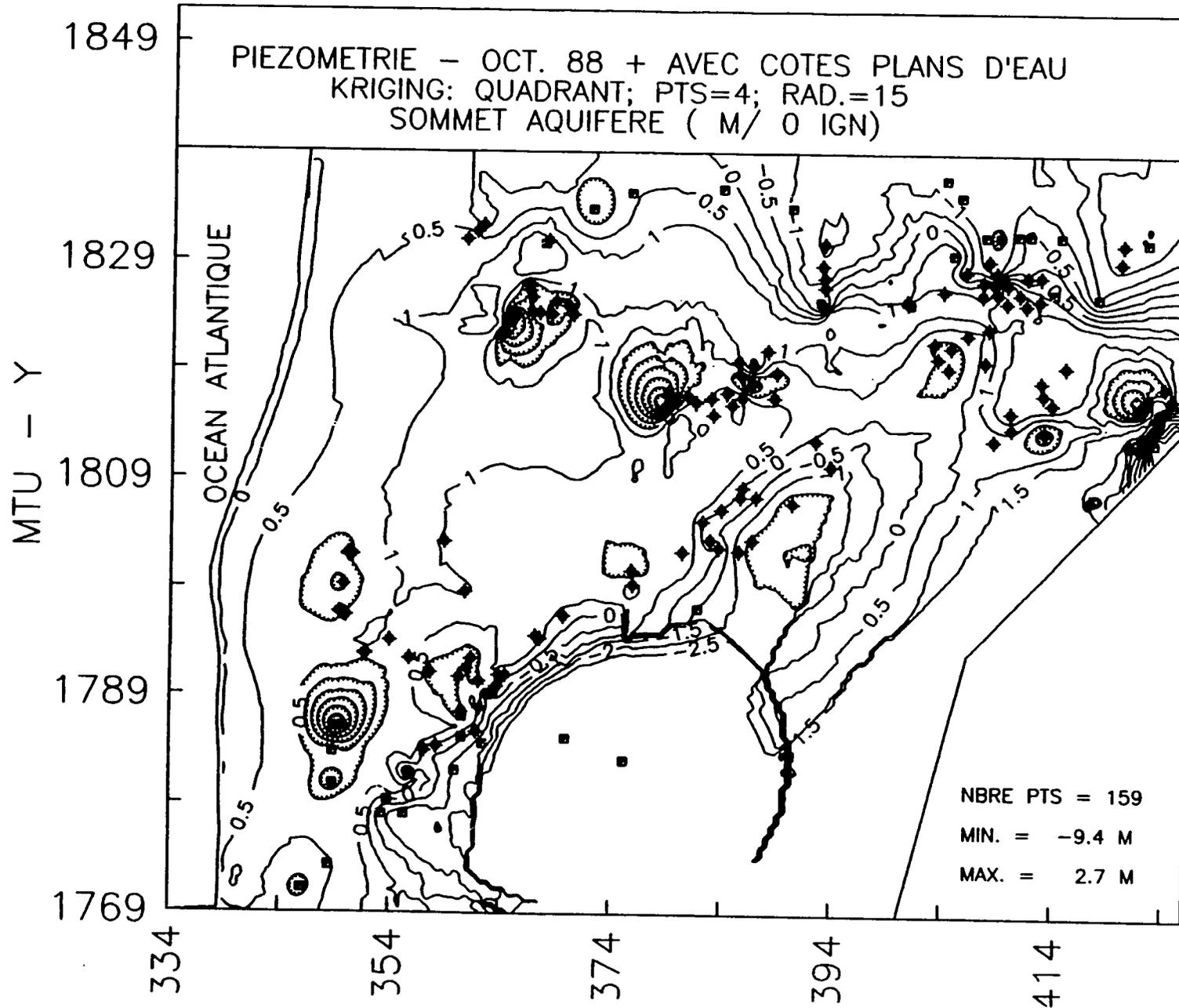
CARTE N° 19



DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

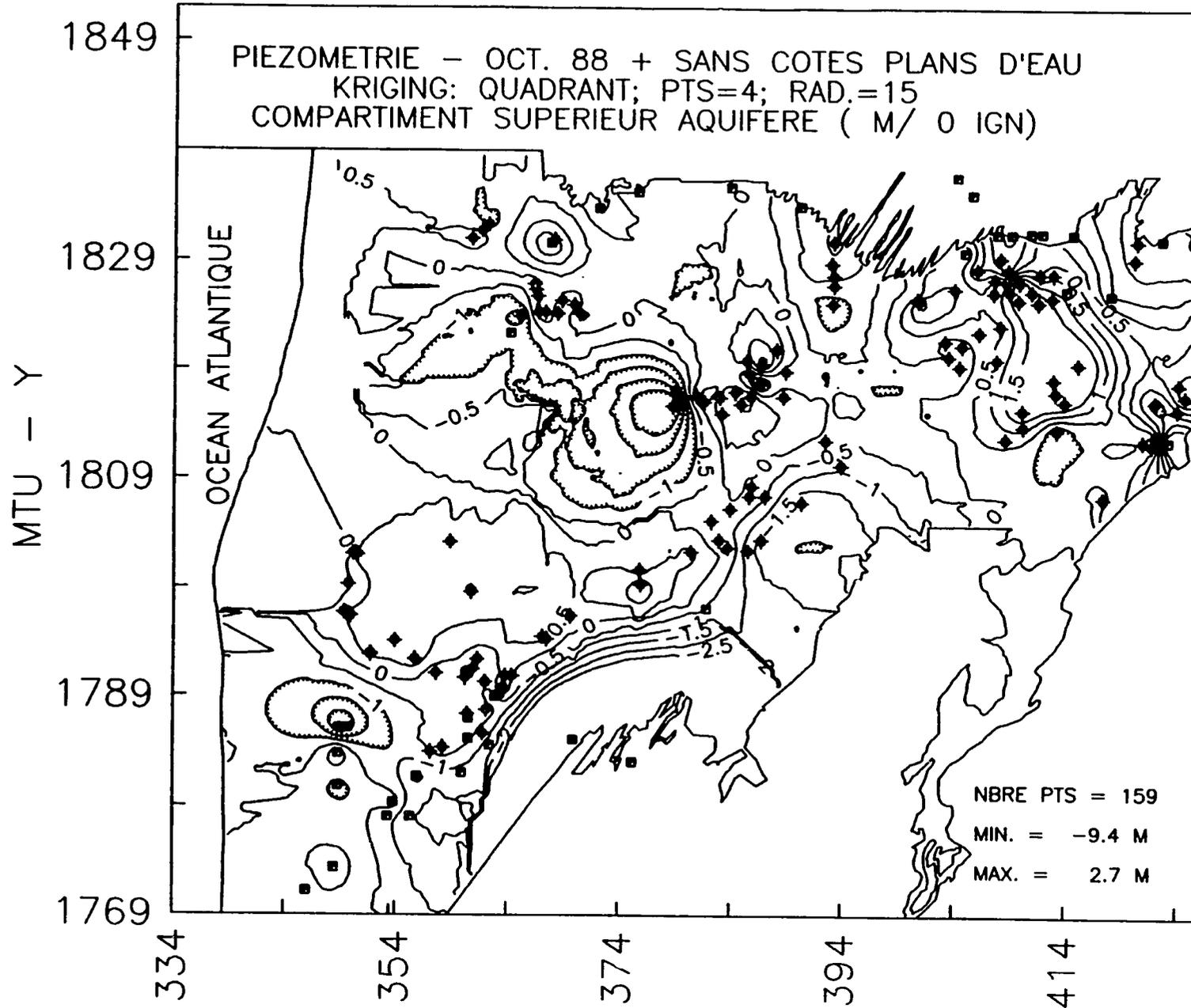
CARTE N° 20



DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

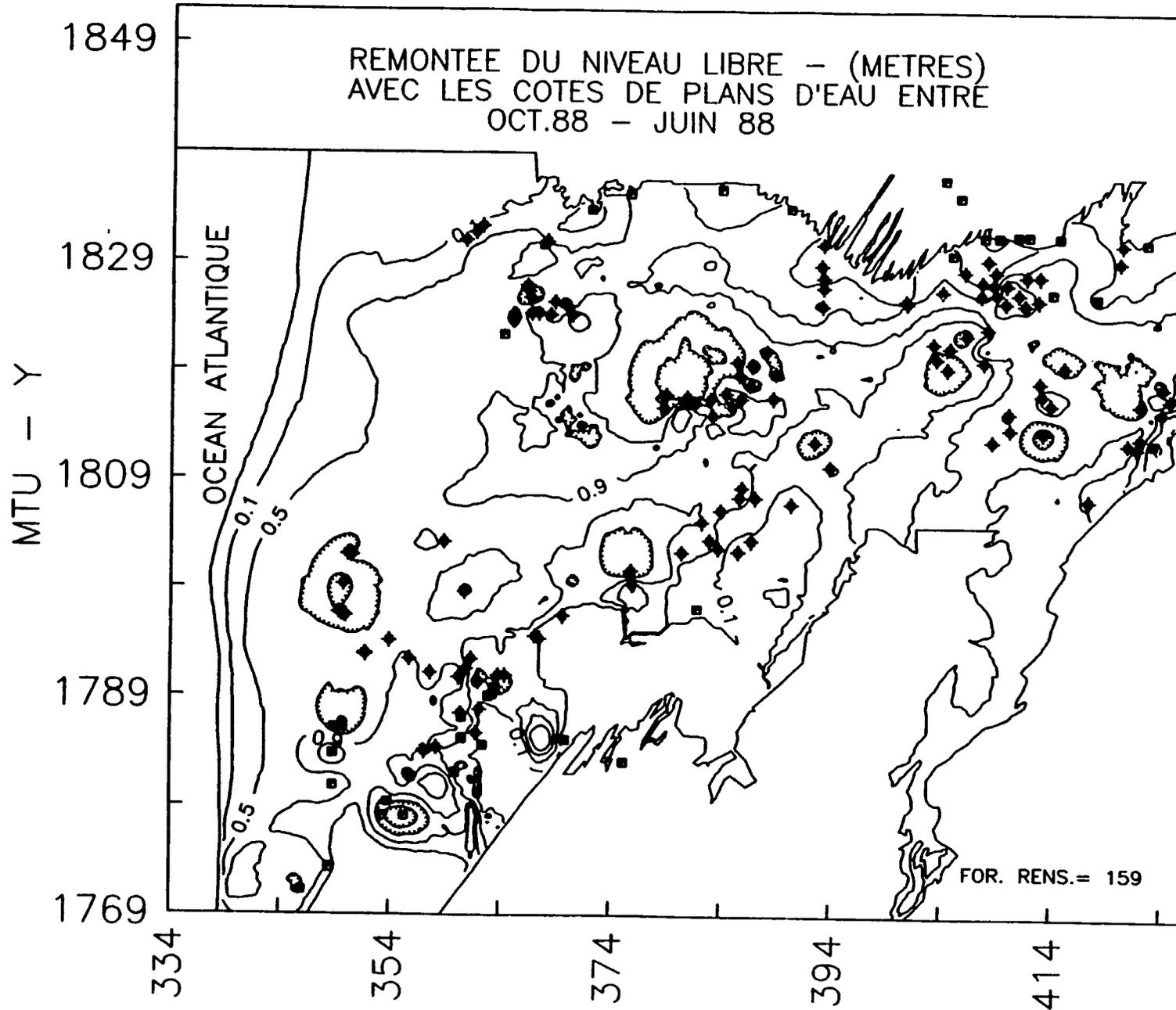
CARTE N° 21



DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

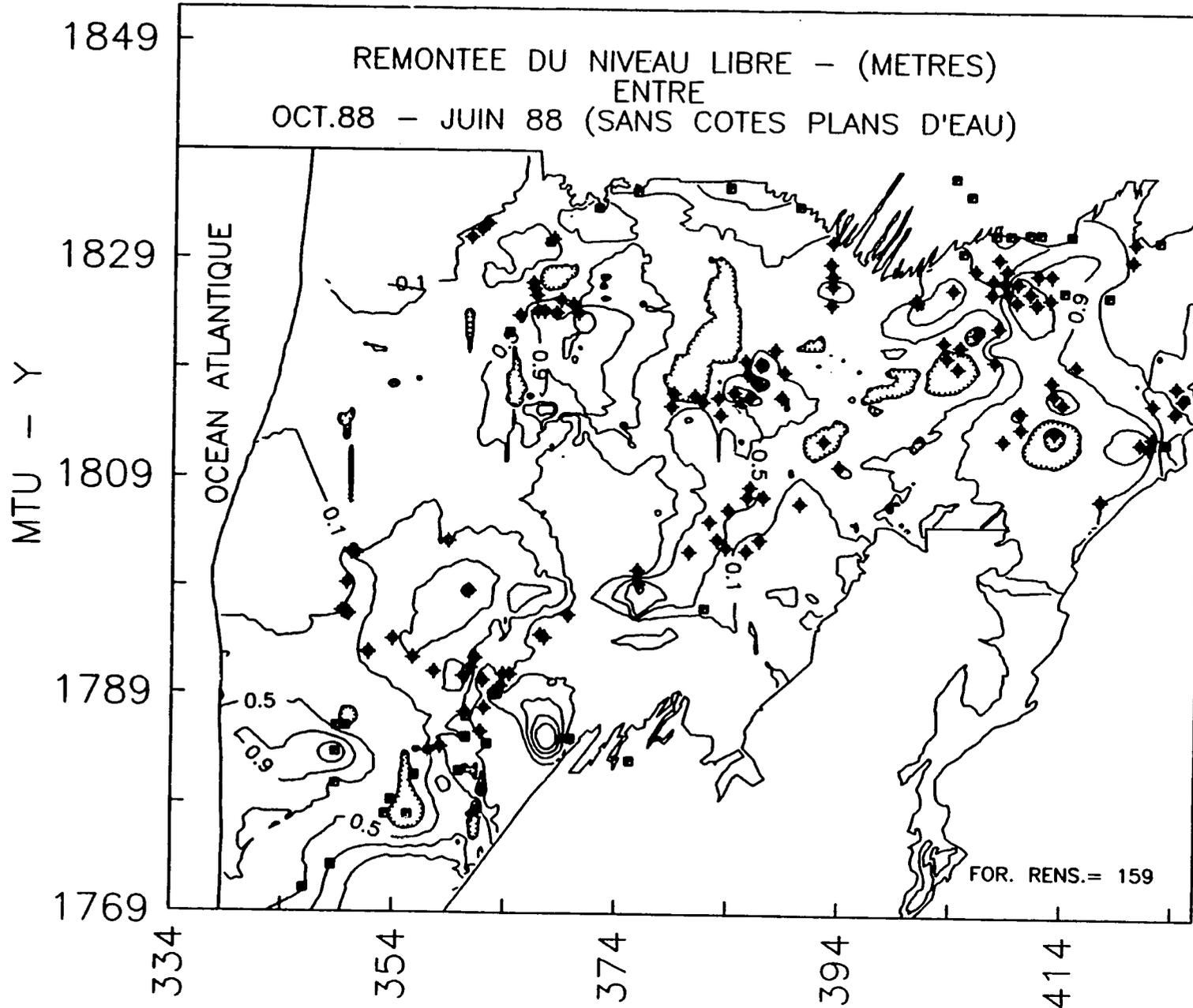
CARTE N° 22



DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

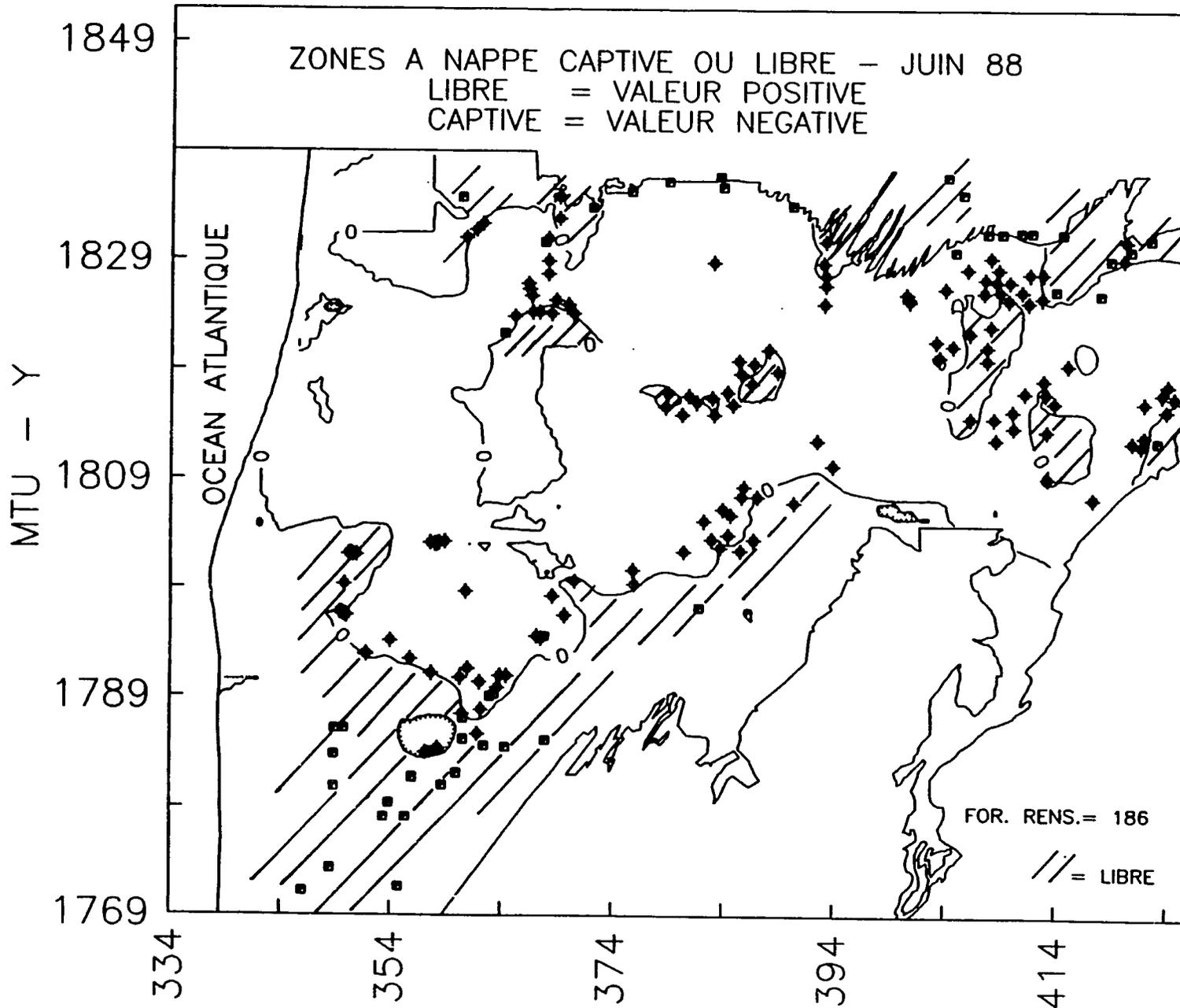
CARTE N° 23



DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 km

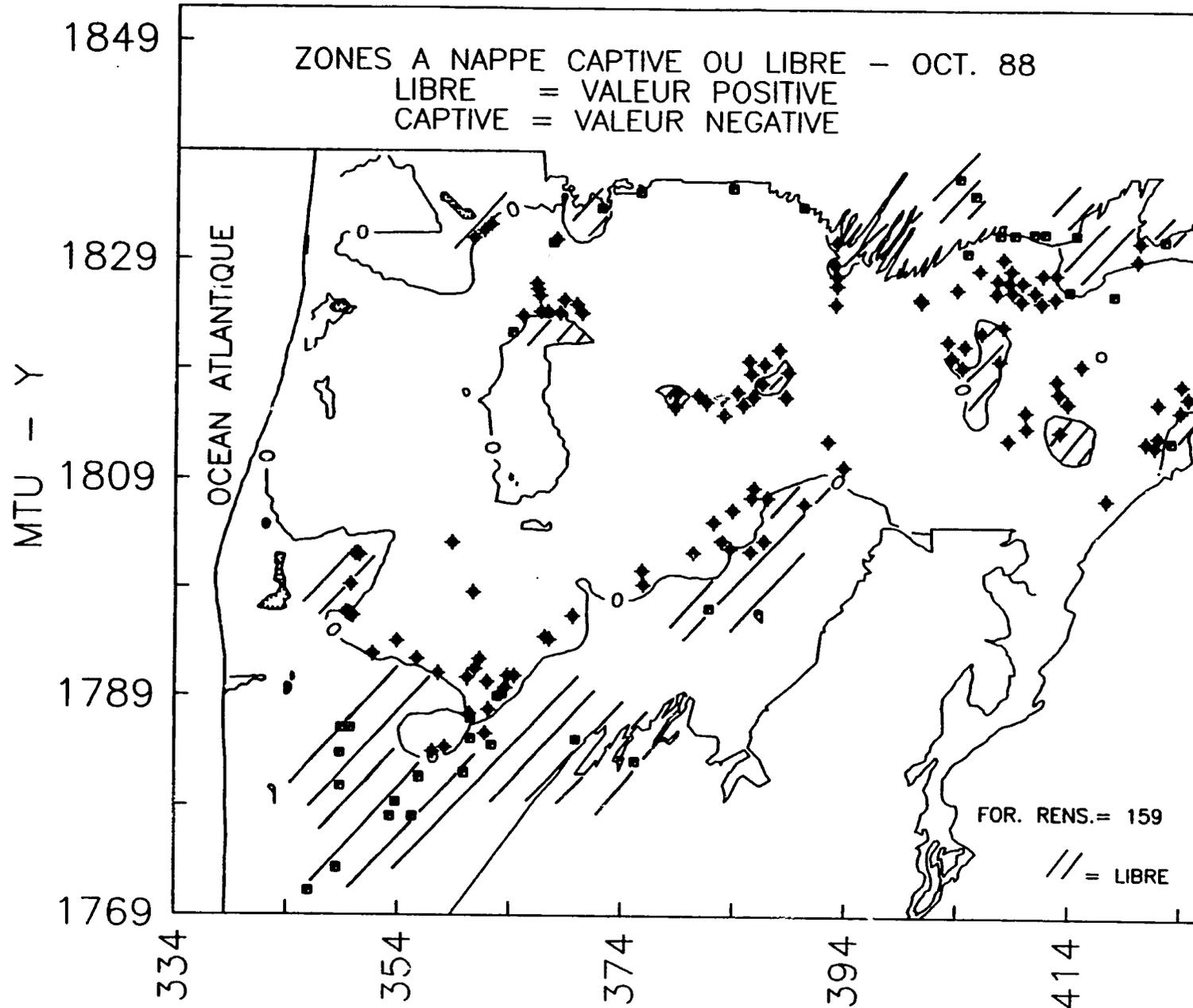
CARTE N° 24



DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 25



199

Les superficies des zones à nappes libres et à nappes captives varient selon la saison concernée comme suit:

PERIODE	NAPPE CAPTIVE km ²	FRACTION DELTA %	NAPPE LIBRE km ²	FRACTION DELTA %	DELTA TOTAL km ²
JUIN 87	2353	54.2%	1991	45.8%	4344
OCT 87	2563	59.0%	1781	41.0%	4344
JUIN 88	2403	55.3%	1941	44.7%	4344
OCT 88	2577	59.3%	1767	40.7%	4344
JUIN 89	2386	54.9%	1958	45.1%	4344
OCT 89	2631	60.6%	1713	39.4%	4344

Les variations saisonnières de superficie des zones à nappes libres sont faibles à l'exception de la région du périmètre de Thiagar, au Sud de la ville de Rosso. Ces variations de superficie sont proportionnelles à la faible variation inter-saisonnière des charges hydrauliques (voir section 6.1). Ces zones à nappes libres sont un lieu privilégié pour la recharge des nappes à cause de l'absence du recouvrement semi-perméable.

6.4 Valeurs de conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$ = micro Siemens par cm)

Les valeurs de conductivité électrique, couvrant la période 1987 - 1989, ont été mesurées mensuellement pour les puits et les piézomètres. Le tableau #8 montre la distribution en pourcentage des valeurs de conductivité par classe de 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondant à la fin de la saison sèche (juin/an) et à la fin de la saison des pluies (octobre/an). Ces distributions sont représentatives du compartiment supérieur de l'aquifère (uniquement).

Tableau #8: Distribution des valeurs saisonnières de conductivité électrique

CLASSES	JUIN_87	OCT_87	JUIN_88	OCT_88	JUIN_89	OCT_89
0 à 5000	90.00%	90.91%	67.74%	53.42%	53.51%	51.48%
5000 à 10000	8.00%	6.82%	19.35%	9.32%	14.05%	8.88%
10000 à 15000	2.00%	2.27%	8.06%	10.56%	11.35%	10.65%
15000 à 20000	0.00%	0.00%	2.69%	4.97%	8.11%	5.92%
20000 à 25000	0.00%	0.00%	1.08%	3.73%	0.54%	0.59%
25000 à 30000	0.00%	0.00%	0.54%	6.21%	0.54%	1.18%
30000 à 35000	0.00%	0.00%	0.54%	3.11%	0.00%	0.59%
35000 à 40000	0.00%	0.00%	0.00%	3.73%	1.62%	3.55%
40000 à 45000	0.00%	0.00%	0.00%	1.24%	2.70%	5.92%
45000 à 50000	0.00%	0.00%	0.00%	3.73%	2.70%	0.59%
50000 à 55000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.08%	1.78%
55000 à 60000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.54%	3.55%
60000 à 65000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.62%	0.59%
65000 à 70000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.54%	0.00%
70000 à 75000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.59%
75000 à 80000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.54%	2.37%
80000 à 85000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.54%	1.78%
85000 à 90000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
90000 à 95000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
95000 à 100000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
HORS CLASSE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NBRE	50	44	186	161	185	169
MIN	175	390	110	110	90	68
MAX	10500	13500	33000	50000	82800	84960
MOYENNE	1910	2684	4997	11391	11121	15530
ECART TYP	2107	2463	5354	13542	16484	21947
MEDIANE	1000	1950	2900	5000	3000	4750

Le nombre de mesures effectuées en 87 est inférieur au tiers du nombre de mesures correspondant aux années ultérieures. L'année 87 inclut les valeurs de conductivité relatives aux puits villageois seulement excluant les piézomètres. Pour cette raison, les mesures 87 seront éliminées de la discussion qui suit car jugées non représentatives de la région du delta (localisation géographique marginale en bordure de la limite Dieri/Ouallo). Du tableau #8, on observe une augmentation des valeurs de conductivité en fonction du temps. Aucune explication géologique et hydrogéologique ne peut justifier cette augmentation des valeurs de conductivité électrique en fonction du temps. Par conséquent, il semblerait que les procédures de terrain et le type d'instrument utilisés en soient la cause.

Deux conductivimètres, de type différent, ont été utilisés:

* Yellow Spring Instruments, model 33, plage de lecture 0 à 50,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ayant servi du mois de novembre 86 à la mi-avril 89,

* Schott Gerate, model CG857, plage de lecture 0 à 20,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en service depuis avril 1989.

Les variations de conductivité dans les limites du delta sont très importantes parfois supérieures à 70,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, obligeant les opérateurs à effectuer une dilution de l'échantillon avant de prendre la mesure (source d'erreur probable).

La profondeur à laquelle est faite la mesure est également importante comme le montre les mesures de contrôle ORSTOM effectuées à l'intérieur de quelques piézomètres (courts et profonds) du réseau OMVS. A titre d'exemple, les figures 8 (piézomètre profond GA0201) et 9 (piézomètre court GA0147) montrent une augmentation majeure de la conductivité en fonction de la profondeur.

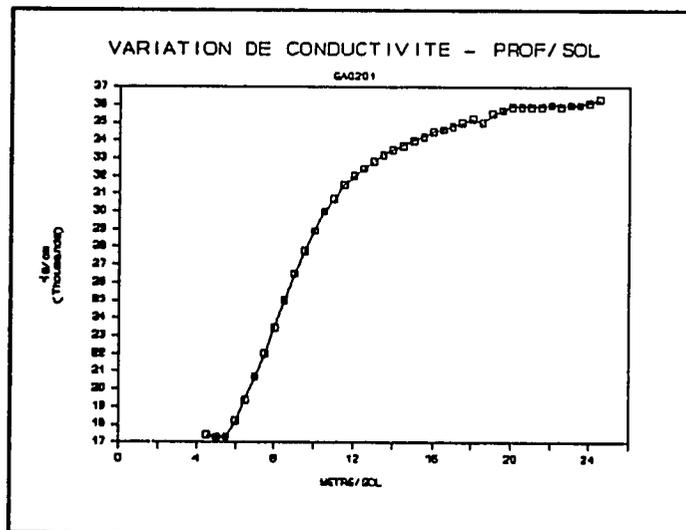


Figure 8 Piézomètre GA0201- Variation de conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) vs profondeur (m/sol)

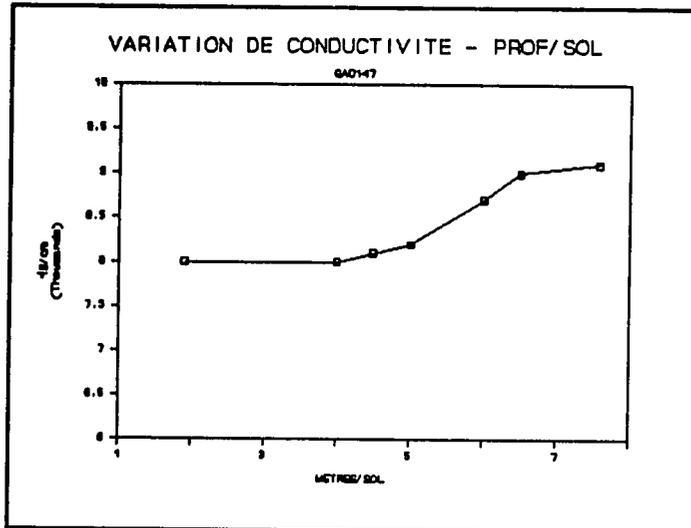


Figure 9 GA0147 - Variation de conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) vs profondeur (m/sol)

Les profondeurs auxquelles les mesures ont été effectuées n'ont pas été notées sur le terrain et l'erreur de mesure liée à la profondeur de lecture peut être supérieure ou inférieure à 100 %. (voir figure 8).

Malgré la faiblesse reconnue des valeurs de conductivité dans les limites du delta, deux tests statistiques ont été effectués sur les échantillons saisonniers:

- 1) le test " Wilcoxon Rank-Sum"⁴⁷ permettant de préciser si les échantillons saisonniers (juin 88, octobre 88, juin 89 et octobre 89) caractérisent bien une même population avec un intervalle de confiance de 95%,
- 2) le test " Wilcoxon Signed-Rank"⁴⁸ permettant de préciser si deux échantillons réputés caractérisant une même population appartient bien à une distribution similaire avec un intervalle de confiance de 95 %.

Les échantillons caractérisant une population identique et représentés par une même distribution sont réputés regrouper les valeurs de conductivité les plus significatives du delta.

6.4.1 Wilcoxon Rank-Sum Test

Les échantillons saisonniers (juin 88, octobre 88, juin 89 et octobre 89) ont été testés en vue de vérifier leur appartenance à une population

⁴⁷ Anderson and other, 1986, p. 589.

⁴⁸ Anderson and other, 1986, p. 597.

Identique en appliquant le test de Wilcoxon (Wilcoxon Rank-sum Test), basé sur les équations suivantes:

$$Z = (W - \mu_w) / \sigma_w$$

où:

W = après classement croissant de tous les individus combinés (échantillon #1 + échantillon #2), la somme par échantillon des rangs attribués,

$$\mu_w = n_1 * (n_1 + n_2 + 1) / 2$$

$$\sigma_w = [n_1 * n_2 * (n_1 + n_2 + 1) / 12]^{\frac{1}{2}}$$

Les valeurs de Z correspondant à l'application de ce test sont consignées dans le tableau ci-dessous. Pour satisfaire le test avec un intervalle de confiance de 95%, la valeur de Z doit être comprise entre les limites -1.96 et 1.96.

Tableau #9: Test de Wilcoxon Rank-Sum - Valeurs saisonnières de Z

MOIS	JUIN_88	OCT_88	JUIN_89	OCT_89
JUIN_88	-	-2.87	-1.55	-1.37
OCT_88	-2.87	-	1.02	0.79
JUIN_89	-1.55	1.02	-	0.05
OCT_89	-1.37	0.79	0.05	-

Le mois de juin 88 ne remplit pas la condition et par conséquent ne caractérise pas une population identique à celle des autres échantillons saisonniers (octobre 88, juin 89 et octobre 89). Le mois de juin 88 correspond à la mise en route des procédures de mesure des valeurs de conductivité sur le terrain appliquée à l'ensemble des ouvrages (puits et piézomètres).

6.4.2 Wilcoxon Signed-Rank Test

Ce deuxième test a cherché à déterminer si les échantillons saisonniers (octobre 88 et juin 89) se caractérisaient par une distribution similaire.

Ce test a été effectué pour les échantillons précités groupant, d'abord, les puits et les piézomètres, et, ensuite, les piézomètres seuls:

échantillon	octobre 1988	juin 1989
1	puits + piézomètres	puits + piézomètres
2	piézomètres seuls	piézomètres seuls

La différence des valeurs de conductivité électrique ($\mu\text{S/cm}$ octobre 88 - $\mu\text{S/cm}$ juin 89) pour un même ouvrage a été faite, en conformité avec la méthode Wilcoxon. A un niveau de confiance de 95 %, les résultats de ce test concluent que pour les deux échantillons 1 et 2 définis ci-dessus, les valeurs de conductivité électrique proviennent d'une même population (aquifère).

6.4.3 Conductivité électrique - différenciation par compartiment

Les valeurs de conductivité de l'échantillon correspondant au mois de juin 89 ont été utilisées pour mettre en évidence une différenciation des compartiments inférieur et supérieur de l'aquifère. Le tableau #10 montre la distribution en pourcentage des valeurs de conductivité par classe de 5000 $\mu\text{S/cm}$, correspondant au compartiment supérieur et inférieur.

Le nombre de valeur pour le compartiment supérieur (146) ne correspond pas à son équivalent (185) dans le tableau #8 Ceci s'explique par l'application du test statistique de Wilcoxon (section 6.4.2.) nécessitant d'apparier les mêmes ouvrages pour deux saisons (octobre 88 et juin 89). Tous les ouvrages de l'échantillon octobre 88 n'ayant pas d'homologue en juin 89 ont été éliminés et vice-versa, réduisant le nombre d'individus pour l'échantillon (juin 89 - conductivité électrique).

Les deux échantillons (compartiment supérieur et compartiment inférieur pour le mois de juin 89) ont été testés en vue de vérifier leur appartenance à une population identique en appliquant le test de Wilcoxon⁴⁹ (Wilcoxon Rank-sum Test).

Tableau #10: Juin 89 - Distribution des valeurs de conductivité par compartiment inférieur et supérieur de l'aquifère

CLASSE CONDUCTIVITE	SUPERIEUR	INFERIEUR
0 à 5000	45.89%	59.49%
5000 à 10000	14.38%	13.92%
10000 à 15000	13.70%	11.39%
15000 à 20000	10.27%	3.80%
20000 à 25000	0.68%	0.00%
25000 à 30000	0.68%	0.00%
30000 à 35000	0.00%	0.00%
35000 à 40000	2.05%	2.53%
40000 à 45000	3.42%	0.00%
45000 à 50000	2.74%	2.53%
50000 à 55000	1.37%	2.53%
55000 à 60000	0.68%	2.53%
60000 à 65000	2.05%	0.00%
65000 à 70000	0.68%	0.00%
70000 à 75000	0.00%	0.00%
75000 à 80000	0.68%	0.00%
80000 à 85000	0.68%	1.27%
85000 à 90000	0.00%	0.00%
90000 à 95000	0.00%	0.00%
95000 à 100000	0.00%	0.00%
HORS CLASSE	0.00%	0.00%

Les statistiques de base concernant les valeurs de conductivité électrique relatives aux compartiments supérieur et inférieur de l'aquifère sont:

STATISTIQUES	supérieur	inférieur
NBRE	146	79
MIN.	165	85
MAX.	82800	81180
MOYENNE	13136	9881
ECART TYPE	17594	16332
MEDIANE	5950	2700

Les calculs du test de Wilcoxon (Rank-Sum test) effectués, la valeur de Z est de 3.92.

En conclusion, il est possible d'affirmer que ces deux échantillons n'appartiennent pas à une population identique dans un intervalle de confiance de 95%, car la valeur de Z (3.92) n'est pas comprise entre -1.96 et +1.96. Par conséquent, les eaux du compartiment supérieur sont plus conductrices (salées) que celles des eaux du compartiment inférieur (surconcentration par lessivage des sols et enrichissement en sels par évaporation et évapotranspiration).

⁴⁹ Anderson, 1986, p. 592.

6.4.4 Exploitation cartographique des valeurs de conductivité électrique

Le lecteur trouvera ci-après la carte #26 " Conductivité Electrique - Juin 89 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) - piézomètres seuls- compartiment supérieur de l'aquifère (co 89061)" affichant les courbes d'égale valeur 1000 et 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductivité électrique, caractéristiques du compartiment supérieur de l'aquifère.

Seuls les piézomètres ont été utilisés pour dresser cette carte car les puits captent sélectivement les zones où les eaux sont préférablement douces (choix de l'emplacement non aléatoire). Par conséquent, les piézomètres ont été jugés plus représentatifs de la conductivité électrique des eaux souterraines du compartiment supérieur de l'aquifère.

Cette carte montre dans un axe Nord-Sud passant par le Lac de Guiers et la ville de Rosso et à proximité des limites du Ouallo/Dieri - Nord et Sud - du delta, des zones à faible conductivité électrique ceinturant la partie centrale du delta à forte conductivité électrique. La détection des variations spatiales des valeurs de conductivité électrique ainsi que la recherche d'une différence de conductivité électrique entre les mois de juin et d'octobre n'ont pas été jugées pertinentes compte tenu de la qualité intrinsèque déjà discutée des valeurs individuelles des mesures de terrain. Ces imperfections des mesures de terrain sont localisées uniquement dans les limites du delta.

Le tableau #11 donne les relations mathématiques⁵⁰ liant les valeurs de conductivité par classe et celles des équivalents TDS - solides totaux dissous. L'application de ces équations aux valeurs de conductivité relatives au mois d'octobre 88 a permis de restituer les valeurs calculées à la carte #27 " TDS (calculés) - Solides Totaux Dissous - octobre 88". Cette carte est à comparer avec la carte #15 TDS - Solides Totaux Dissous - période 1987 - 1988" dressée à partir des résultats d'analyses provenant du laboratoire.

Tableau #11: relation conductivité = fct(minéralisation)

CLASSE CONDUCTIVITE $\mu\text{S}/\text{cm}$	X CONSTANTE = MINERALISATION (mg/l)
CONDUCT. < 50	X 1.365079 = MINERALISATION (mg/l)
50 < CONDUCT. < 166	X 0.947658 = MINERALISATION (mg/l)
166 < CONDUCT. < 333	X 0.769574 = MINERALISATION (mg/l)
333 < CONDUCT. < 833	X 0.715920 = MINERALISATION (mg/l)
833 < CONDUCT. < 10000	X 0.758544 = MINERALISATION (mg/l)
10000 < CONDUCT.	X 0.850432 = MINERALISATION (mg/l)

Les deux échantillons (TDS - laboratoire et TDS - calculée à partir des relations du tableau #11 pour le mois d'octobre 88) ont été testés en vue de vérifier leur appartenance à une population identique en appliquant le test de Wilcoxon⁵¹ (Wilcoxon Rank-sum Test - voir formule section 6.4.2).

Les statistiques de bases concernant les valeurs de TDS provenant du laboratoire et celles calculées à partir des valeurs de conductivité mesurées sur le terrain (octobre 88) sont:

STATISTIQUES	TDS_LABO	TDS_CALC
NBRE	74	192
MIN	195	104
MAX	50490	42522
MOYENNE	14176	10511
ECART TYPE	15135	11431
MEDIANE	7980	5310

Les calculs du test de Wilcoxon effectués, la valeur de Z est de 1.81.

En conclusion, ces deux échantillons appartiennent à une population identique avec un intervalle de confiance de 95%. Par conséquent, les valeurs de conductivité électrique mesurées sur le terrain, malgré leur imperfection peuvent être utilisées pour restituer une carte saisonnière des valeurs de

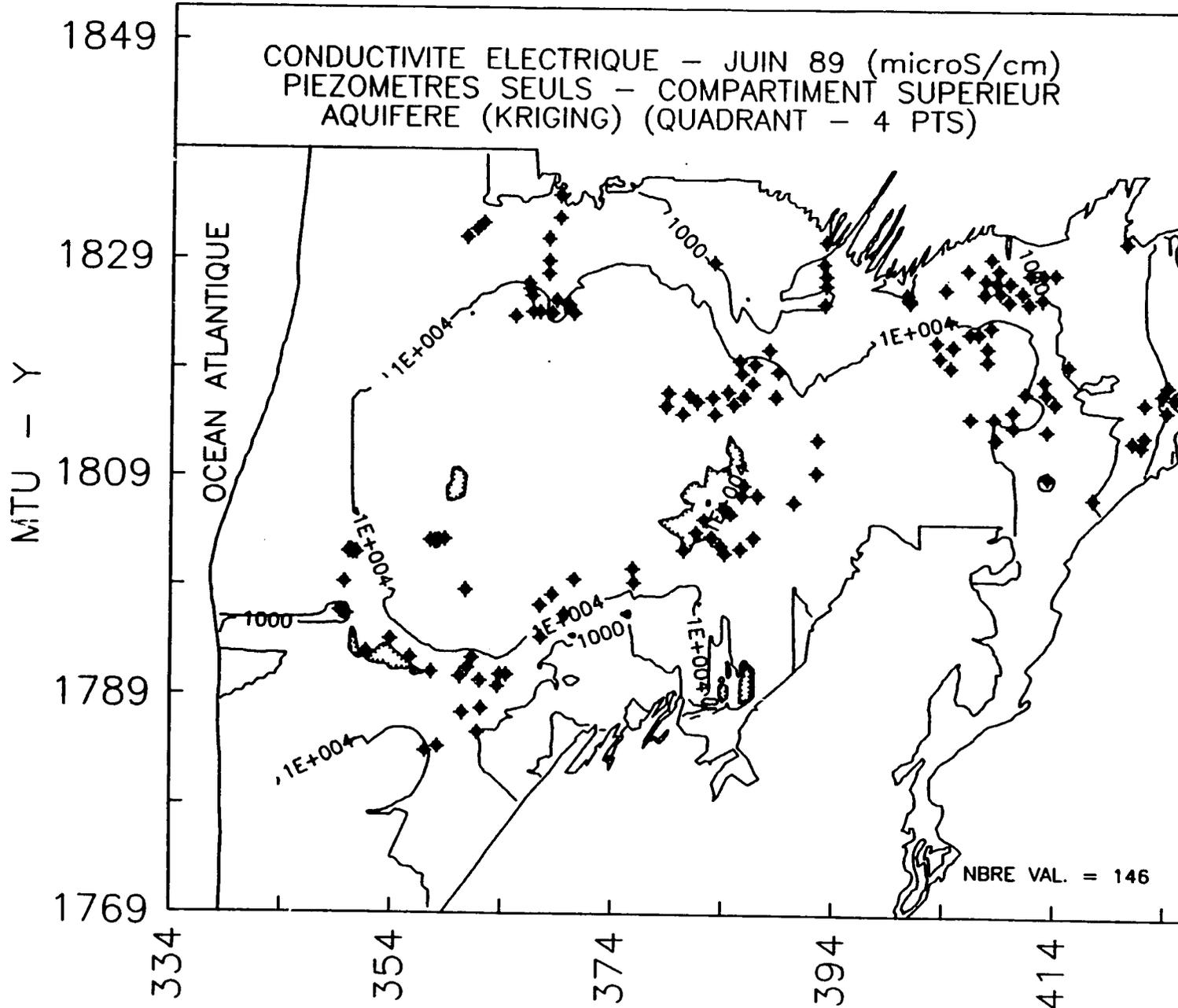
⁵⁰ Rodier, p.65.

⁵¹ Anderson, 1986, p. 592.

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 km

CARTE N° 26

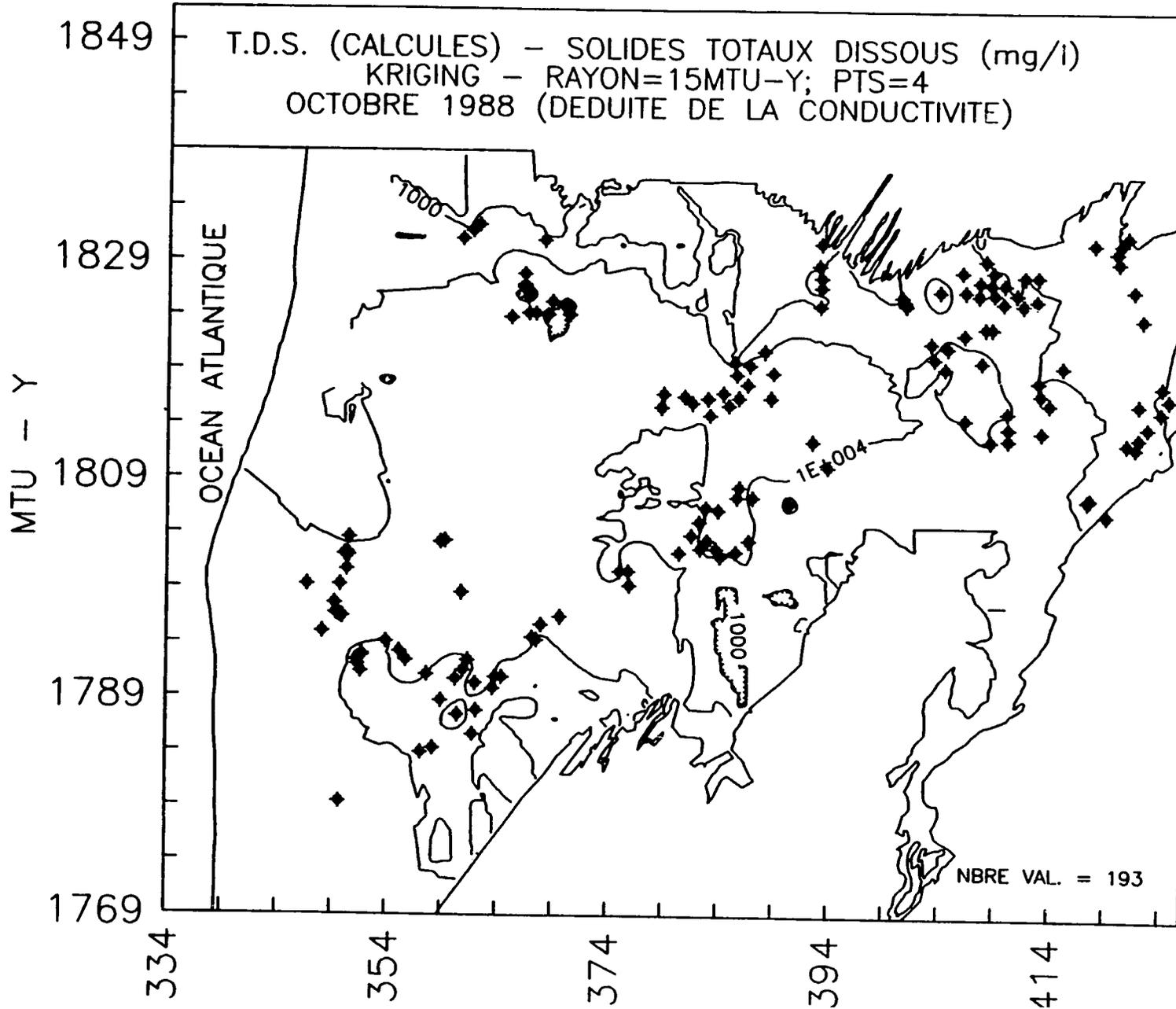


12

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 27



22

Solides Totaux Dissous (mg/l) basée sur l'exploitation des relations mathématiques du tableau #11. (voir la carte #25 T.D.S. (calculés) - Solides totaux dissous (mg/l) Octobre 1988 (déduite de la conductivité (tds_8810)).

La carte #27 des Solides Totaux Dissous calculés est donc une carte fiable. Elle corrobore la carte équivalente #15 (TDS) dont les résultats proviennent du laboratoire.

Cette carte #27 montre l'existence sur les bordures Nord et Sud du delta de zones d'eau douce (valeur de TDS à 1000 mg/l), une frange d'eau saumâtre ($1,000 \text{ mg/l} < \text{TDS} < 10,000 \text{ mg/l}$) intercalée entre les limites du Dieri et la partie centrale du delta et une zone centrale renfermant des eaux salines ($\text{TDS} > 10,000 \text{ mg/l}$), coïncidant avec le chenal du fleuve à l'époque Inchirienne (voir annexe #3, carte des sédiments de l'Inchirrien, isohypses du toit).

7 EVALUATION DES APPORTS ET DES PERTES (année 1988)

Ce chapitre traite des échanges hydrauliques ambiant dans les limites du delta. Les schémas types, au nombre de deux, ont été posés par Filippi⁵². Ce sont:

- * les échanges d'eau verticaux: infiltration pluviale (apport) et l'évaporation (perte) dans les limites des terres du delta
- * les échanges d'eau horizontaux: infiltration des berges aux abords des cours d'eaux et canaux.

La planéité du terrain et, en dehors des abords des cours d'eau, les cotes des surfaces piézométriques, constamment négative à l'extérieur des périmètres Hydroagricoles (~-0.7 m/0 IGN Juin 88) et (~-0.2 m/0 IGN Octobre 88) et oscillant entre (~-0.3 m/0 IGN Juin 88) et (~+0.4 m/0 IGN Octobre 88), à l'extérieur des périmètres hydroagricoles, ne favorisent pas la migration horizontale des eaux souterraines (voir section 6.2, de ce rapport).

Filippi a identifié les mécanismes d'infiltration et d'exfiltration à partir des observations piézométriques effectués par Audibert en 1969 (période de 6 mois couvrant le passage de la crue) à la hauteur de Roncq et de Diaouar en rive gauche. Par la suite, à l'aide du modèle VTD1 du BRGM modifié pour incorporer la fonction évaporatoire, il a restitué les profils piézométriques 1969 en vue d'établir la relation fleuve-nappe en adoptant pour les fins du calcul les valeurs du coefficient de perméabilité (K) = $2.0 * 10^5$ m/sec et un coefficient d'emmagasinement (S) = $4 * 10^2$.

Le projet estime que ces valeurs sont trop fortes. Celles proposées par le projet sont $K_v = 4.4 * 10^4$ cm/sec +/- $K_v = 4 * 10^4$ cm/sec et $S = 4 * 10^4$. Les valeurs utilisées dans le modèle BRGM, supérieures aux nôtres, contribuent à surestimer la distance d'influence du fleuve sur les nappes adjacentes ajoutant à la crédibilité du coefficient de sécurité utilisé par Filippi (f=2).

Le modèle du BRGM, proposé par Vandennebusch, n'a pu être disponible au projet. Par conséquent, l'évaluation des phénomènes n'a pu être faite selon les mêmes modalités. Toutefois, le suivi piézométrique effectué sur 7 lignes transversales (annexe #8, figure 1 à 6) réparties en rives droite et gauche aux abords immédiats du fleuve Sénégal sur la période 1988 et 1989 a permis d'observer in situ la réalité et d'observer les fluctuations des profils piézométriques coïncés entre le fleuve et de grands périmètres hydroagricoles (annexe #8, figure 5 et annexe #9, figures 2 et 4).

Les sous-chapitres suivant sont une évaluation théorique des phénomènes présents permettant de saisir l'importance relative de chacun des phénomènes (infiltration, évaporation) lorsque pris individuellement (non inter-reliés).

7.1 Apports pluviaux et induits par irrigation

L'estimation des apports d'eau liés à l'infiltration totale annuelle (pluviale et induite par irrigation) a été tentée dans les limites du delta pour l'année 1988 à partir de l'examen de la carte " Remontée des niveaux d'eau libres entre juin 88 et octobre 88" (voir cartes #22 et #23).

Voici quelques rappels utiles, basés sur l'année de référence 1987⁵³:

1) pour l'année de référence, la superficie cultivée (SC)⁵⁴ était de 102.7 km² ou 10270 ha.

⁵² Filippi, 1984, chap. 2.2, p. 6.

⁵³ Exploitation des données de la base OMVS/CEPC.

⁵⁴ R.É.: PES, 1989, p. 23 et 25, région du delta.

2) le taux d'accroissement⁵⁵ de la superficie nette irrigable (SNI), pour la période 1975 - 1987, est de l'ordre de 7 % pour les rives gauche et droite du fleuve Sénégal. Ce taux sera appliqué aux superficies cultivées (SC) pour projeter la superficie correspondant à l'année 1988.

3) les débits unitaires théoriques (besoins en eau globaux) par unité de surface pour la culture du riz selon la saison agricole concernée et le type de sol⁵⁶ sont résumés dans le tableau #12:

Tableau #12: Besoins en eau globaux (culture du riz)

SAISONS CULTURE	CYCLE JOURS	BESIONS EN EAU GLOBAUX M3/HA		
		(1)	(2)	(3)
HIV	95	8,400	11,200	13,400
CSC	120	13,500	18,100	21,800
CSF	155	13,900	19,000	23,200

LEGENDE CODE	SOLS	CARACT. GRANULOMETRIQUE
(1)	HOLLALDE	55 % < % ARGILE
(2)	FAUX HOLLALDE	30 % < % ARGILE < 55 %
(3)	FONDE	% ARGILE < 30%

Le tableau ci-dessus décrit les besoins en eau globaux du riz (besoins nets + pertes). "Les besoins en eau nets des cultures fixés par un calendrier cultural ne dépendent que de l'espèce plantes cultivées (stade de développement, anatomie, physiologie, couleur, production attendue) et du climat (humidité, température, vent, rayonnement...), les besoins globaux à distribuer (besoins nets + pertes) dépendent en plus du système d'irrigation (gravitaire, pressurisé, aspersion, goutte à goutte) et du type de sol (% d'argile, existence d'un horizon perméable) dont dépendent les pertes d'eau(percolation, évaporation, diffusion...)." ⁵⁷

4) la répartition des sols cultivés pour la totalité de la vallée du fleuve Sénégal par rives⁵⁸ est la suivante:

* pour la rive gauche,

- * 59 % sols HOLLALDE
- * 24 % sols FAUX HOLLALDE
- * 17 % sols FONDE

* pour la rive droite,

- * 53 % sols HOLLALDE
- * 21 % sols FAUX HOLLALDE
- * 26 % sols FONDE

Cette répartition est jugée représentative du delta.

⁵⁵ R#.: PES, 1989, p. ii.

⁵⁶ Dachraoui, page 17.

⁵⁷ Dachraoui, p. 17.

⁵⁸ R#.: PES, 1989, p.38.

75

5) pour la répartition des sols ci-dessus (situation 1987), - l'estimation du volume d'eau réef⁵⁹ nécessaire à la culture du riz irriguée dans le delta pour la saison de l'hivernage et dans l'hypothèse ou 100% de la superficie cultivée est affectée à la culture du riz est de $9.77E+07 \text{ m}^3$. Ce volume d'eau correspond à une lame d'eau de 951 mm à laquelle s'ajoute la hauteur d'eau pluviale: 242 mm en 1988, pour un grand total de 1193 mm dans les limites des périmètres hydroagricoles.

L'évaluation des volumes d'eau infiltrés (V_r = recharge efficace de la nappe) est estimée par la formule suivante:

$$V_r = A * Dh_{\max} * S$$

où:

A = aire concernée par l'évaluation (km^2)

Dh_{\max} = remontée piézométrique maximale (m), déduite de la carte de remontée du niveau d'eau 1988 (à l'intérieur et à l'extérieur des périmètres)

S = coefficient d'emmagasinement (sans unité)

Cette formule sera appliquée aux aires à nappes libres (V_r) et aux aires à nappes captives (V_{rc}) à l'intérieur et à l'extérieur des limites des périmètres.

Les pourcentages de la superficie du delta correspondant aux aires à nappes captives (A_c) et à nappes libres (A) par saison varient selon la saison et sont listées à la section 6.3 de ce rapport.

Les valeurs du coefficient d'emmagasinement S seront $4*10^{-4}$ pour les nappes confinées (voir section 5.1.2) et 0.15 pour les nappes libres correspondant à la moyenne des valeurs théoriques (S) caractérisant les sables à grains fins et les silts (voir section 5.1.2.).

⁵⁹ R.É.: PES, 1989, p.35.

76.

Tableau #13: Estimation de l'infiltration superficielle en zone irriguée (LP)

aire totale (SB)	4343.8 km ²
aire cultivée area (SC)	102.7 km ² = 1987
aire cultivée (SC)	109.9 km ² = 1988
aire nappe libre (A _l)	45.00% saison sèche ⁶⁰ de l'aire (SB)
aire nappe captive (A _c)	55.00% saison sèche de l'aire (SB)

L'aire du delta renfermant une nappe souterraine superficielle, soumise à l'infiltration pluviale, est de 3883 km² correspondant à:

$$A_l = SB - (A_b - A_{sen} - A_{div} - SC)$$

où:

Aire totale	(SB) = 4348.8 km ²
Aire cultivée	(SC) = 109.9 km ²
Aire ⁶¹ lac de Guiers	(A _b) = 275 km ² (if Z = 1.80 m ASL)
Aire ⁶² fleuve Sénégal	(A _{sen}) = 51 km ²
Aire étang (A _{div}) = 30	km ² = approximation

REGION DELTA	Dh _{max} (m)	S	V _{r_l} p(V _{r_1p})/(V _{t_1p}) m ₃ %	T _{r_1p} mm/jr
ZONES A	1988	(A*Dh _{max} *S)		
NAPPE LIBRE (V _{rv_1p})	0.70	1.50E-01	5.19E+06 3.96%	
NAPPE CAPTIVE (V _{rc_1p})	0.47	4.00E-04	1.14E+04 0.01%	
TOTAL (V _{r_1p})	NA	NA	5.20E+06 3.97%	0.50

Tableau #14: Estimation de l'infiltration superficielle en zone non irriguée(HP)

REGION DELTA	Dh _{max} (m)	S	V _{r_op} (V _{r_op})/(V _{t_op}) m ₃ %	T _{r_op} mm/jr
ZONES A	1988	(A*Dh _{max} *S)		
NAPPE LIBRE (V _{rv_op})	0.47	1.50E-01	1.20E+08 13.14%	
NAPPE CAPTIVE (V _{rc_op})	0.34	4.00E-04	2.82E+05 0.03%	
TOTAL (V _{r_op})	NA	NA	1.20E+08 13.17%	0.53

Les colonnes (V_{r_1p})/(V_{t_1p}) du tableau #13 et (V_{r_hp})/(V_{t_hp}) du tableau #14 donnent le pourcentage du volume d'eau infiltré par rapport au volume total (V_t) disponible pour le cas considéré (zones irriguées (V_{t_1p} = 1.31E+08 m³) ou non irriguées (V_{t_hp} = 1.02E+09 m³)).

⁶⁰ Voir section 6.3 de ce rapport. Pour le besoin des calculs, on considère que le pourcentage des aires A_l et A_c est le même à l'intérieur et à l'extérieur des périmètres.

⁶¹ See section 2.1 of this report.

⁶² See annex #1, of this report (length X average width).

Par conséquent:

* en zone irriguée (nappe libre), 3.96% du volume total (pluies + irrigation) a rejoint la nappe superficielle par infiltration verticale représentant 47.2 mm des 1193 mm disponibles. Si on accepte un cycle agricole de 95 jours, le taux d'infiltration verticale ($T_{r_{ip}}$) serait de 0.5 mm/jr.

* en zone non irriguée (nappe libre), 13.14% du volume total (pluies) a rejoint la nappe superficielle par infiltration verticale représentant 31.8 mm des 242 mm disponibles. Si on accepte une période d'inondation (nbre de jours de pluies et jours d'immersion) de 60 jours, le taux d'infiltration verticale ($T_{r_{hp}}$) serait de 0.53 mm/jr.

* en zone irriguée et non irriguée (nappe captive), moins de 0.03% du volume total disponible a rejoint la nappe.

Ces chiffres mettent simplement en évidence l'aptitude de l'aquifère à stocker un volume d'eau réel.

Dans une zone à nappe libre, la portion non saturée du volume correspondant à la porosité efficace est un lieu d'emmagasinement permettant de stocker les eaux disponibles. L'accès à ce lieu de stockage est régi par le coefficient de perméabilité verticale et les volumes d'eau stockés sont liés au facteur temps. Les eaux stockées sont généralement douces ou faiblement minéralisées et constitue un réservoir tampon provisoire sus-jacent dans l'attente de la reprise par évaporation.

Dans une zone à nappe captive, l'aquifère n'accepte pas de transfert d'eau effectif, mais enregistre simplement une surcharge hydrostatique reflétant les conditions ambiantes, sans référence au temps.

7.2 Apports - Infiltration latérale berge lit mineur, fleuve et défluent

Le gradient hydraulique horizontal saisonnier pour la période 1988 - 1989 a été recherché sur 6 lignes piézométriques locales, transversales aux abords immédiats du fleuve Sénégal, localisées en rives gauche et droite. Ces lignes sont codées L1 à L7 (voir carte #4 de localisation des ouvrages, après la page 14, section 3.5).

Ces lignes sont décrites en terme de coordonnées MTU-X et MTU-Y à l'annexe #8 et les sections géologiques correspondantes à l'annexe #4B.

L'espacement le long de ces lignes entre les piézomètres est faible (métrique) et la distance perpendiculaire maximale des observations hydrogéologiques au droit du lit du fleuve Sénégal est inférieure à 5 kilomètres et plus généralement inférieure à 3 kilomètres, soit 2 fois la longueur du rayon d'influence théorique calculée lors des travaux de simulation effectuée par Fillipi, 1984.

A l'exception de la ligne L1, les gradients hydrauliques valent pour le compartiment supérieur de l'aquifère.

Les profils piézométriques saisonniers sont regroupés à l'annexe #8, figure 1 à 7). Les valeurs isopièzes saisonnières portées à ces graphiques sont celles restituées par l'ordinateur suite à un calcul géostatistique (Kriging) effectué à partir des mesures de terrain. Le nombre de points d'observation localisés le long ou à proximité immédiate de ces lignes piézométriques est montré au tableau #15. Celui-ci renseigne également sur les valeurs de perméabilité de chacun de ces points d'observation, de leur position réelle (km) sur l'axe des X et de la profondeur de leurs crépines. Ces graphiques sont le résultat de l'exploitation conjointe des logiciels Surfer et Grapher.

L'ordonnée des graphiques de l'annexe 10 correspond à la charge hydraulique. L'abscisse correspond à la distance d'éloignement du cours d'eau et la valeur 0 (zéro) coïncide avec la charge hydraulique mesurée au centre du lit mineur du fleuve Sénégal pour la saison concernée. On trouvera également superposée aux profils piézométriques la courbe topographique du sol provenant de la lecture de la carte topographique #1 de la section 2.2.

Par conséquent, toutes ces courbes (isopièzes et topographiques) reflètent géostatistiquement la réalité sans être tout-à-fait exacte.

Le tableau #15 donne la liste des piézomètres appartenant à chacun des profils piézométriques (L1 à L7) de même que leur distance respective du centre du fleuve Sénégal,

Tableau #15: Liste des piézomètres par lignes piézométriques (L1 A L7)

LINGE #	PIEZO #	MTU-X	MTU-Y	COTE M/O	ZDIST. IGK/M	CREP. M/SOICm/sec	KK
L1	GA0021	351.7	1792.9	3.70	0.10	13.00	>1.0E-3
L1	GA0022	351.7	1792.8	3.01	0.13	19.00	>1.0E-3
L1	GA0023	351.7	1792.8	3.05	0.13	13.00	1.1E-3
L1	GA0025	351.3	1792.0	3.93	0.80	21.00	6.5E-4
L1	GA0026	351.3	1792.0	3.91	0.80	14.00	3.1E-4
L1	GA0027	351.6	1791.4	4.22	1.50	14.00	N/I
L1	GA0028	351.7	1790.9	4.83	2.00	17.00	N/I
L2	DA015	348.8	1796.5	1.77	2.80	5.00	>1.0E-3
L2	DA016	349.0	1796.4	1.63	2.70	6.00	>1.0E-3
L2	DA017	349.2	1796.3	1.63	2.60	6.00	>1.0E-3
L2	DA018	349.5	1796.2	1.60	2.50	6.00	>1.0E-3
L3	DA019	350.1	1802.1	3.02	3.50	7.02	3.1E-4
L3	DA020	350.3	1802.1	2.60	3.30	6.86	>1.0E-3
L3	DA021	350.5	1802.0	1.51	3.10	7.00	1.1E-3
L3	DA022	350.8	1802.0	1.45	2.80	5.50	1.0E-3
L4	GA0012	357.9	1803.0	1.38	0.23	5.15	2.1E-5
L4	GA0014	358.1	1803.0	1.39	0.28	4.86	7.8E-5
L4	GA0015	358.3	1803.1	1.53	0.50	5.05	7.8E-5
L4	GA0017	357.5	1803.1	1.41	0.82	4.99	2.9E-4
L4	GA0018	358.8	1803.2	1.33	1.25	5.00	>1.0E-3
L5	GA0034	366.3	1826.3	0.92	1.20	9.95	1.8E-4
L5	GA0037	366.2	1826.8	2.11	0.43	7.95	>1.0E-3
L5	GA0039	366.5	1825.7	0.92	0.46	10.46	3.4E-5
L7	DA059	400.6	1825.5	3.15	0.40	5.00	>1.0E-3
L7	DA060	400.4	1825.9	3.53	1.10	5.00	>1.0E-3
L7	DA061	400.7	1825.3	2.28	0.20	5.00	>1.0E-3

Le tableau #16 énumère pour chacune des lignes (L1 à L7) et par saison, le type de nappe dans laquelle les fluctuations sont observées, l'épaisseur du recouvrement argileux s'il y a lieu, la cote Z du plan d'eau au droit du profil, la distance d'influence observée in-situ du cours d'eau sur l'aquifère adjacent et la description granulométrique (classe dominante uniquement) des terrains captés.

La distance d'influence de la charge hydraulique du fleuve au droit de son lit mineur est définie par les observations de terrain correspondant à la distance où le gradient hydraulique Dh(juin) est approximativement égal à Dh(octobre) ou encore à la distance où le v_n (juin) est approximativement égal à v_n (octobre).

Tableau #16: Lignes piézométriques transversales

#	LIGNE	RIVE	SAISON	TYPE	M/O IGN	m/km	km	COTE NIVEAU	CODE	ARGILE			
				NAPPE	ZFLEUVE	hor	RAYON	PLUIE	AQUIFERE GEOL.	DEUSCH.	LITHO.EP (M)		
							SECHE						
L1	LB	06/88	L'BRE		0.39	1.68	2.5	-2.6	-2.4	INFERIEUR	IN	SABLE FIN	0
L1	LB	10/88	LIBRE		0.97	1.96	2.5	-2.6	-2.4	INFERIEUR	IN	SABLE FIN	0
L1	LB	06/89	LIBRE		0.30	2.10	2.0	-2.6	-2.4	INFERIEUR	IN	SABLE FIN	0
L1	LB	10/89	LIBRE		1.92	2.20	2.0	-2.6	-2.4	INFERIEUR	IN	SABLE FIN	0
L2	RB	06/88	CONFINEE		0.39	0.05	1.9	-0.2	0.2	SUPERIEUR	NK	SABLE FIN	2
L2	RB	10/88	CONFINEE		0.97	0.33	2.0	-0.2	0.2	SUPERIEUR	NK	SABLE FIN	2
L2	RB	06/89	CONFINEE		0.30	0.20	2.4	-0.2	0.2	SUPERIEUR	NK	SABLE FIN	2
L2	RB	10/89	CONFINEE		1.92	1.00	2.0	-0.2	0.2	SUPERIEUR	NK	SABLE FIN	2
L3	RB	06/88	LIBRE		0.39	0.19	3.2	0.2	0.2	SUPERIEUR	NK	SABLE MOYEN	0
L3	RB	10/88	LIBRE		0.97	0.37	2.7	-0.2	0.2	SUPERIEUR	NK	SABLE MOYEN	0
L3	RB	06/89	LIBRE		0.30	0.20	3.4	-0.2	0.2	SUPERIEUR	NK	SABLE MOYEN	0
L3	RB	10/89	LIBRE		1.92	1.10	2.0	-0.2	0.2	SUPERIEUR	NK	SABLE MOYEN	0
L4	LB	06/88	CONFINEE		0.39	0.00	0 NA	NA		SUPERIEUR	NK	SABLE FIN	2
L4	LB	10/88	CONFINEE		0.97	NON OBSERVE;	INONDE			SUPERIEUR	NK	SABLE FIN	2
L4	LB	06/89	CONFINEE		0.30	0.00	0 NA	NA		SUPERIEUR	NK	SABLE FIN	2
L4	LB	10/89	CONFINEE		1.92	NON OBSERVE;	INONDE			SUPERIEUR	NK	SABLE FIN	2
L5	LB	06/88	CONFINEE		0.39	0.60	1.0	-0.2	0.3	SUPERIEUR	NK	SABLE FIN	2
L5	LB	10/88	CONFINEE		0.97	0.80	1.0	-0.2	0.3	SUPERIEUR	NK	SABLE FIN	2
L5	LB	06/89	CONFINEE		0.30	0.50	1.0	-0.2	0.3	SUPERIEUR	NK	SABLE FIN	2
L5	LB	10/89	CONFINEE		1.92	1.70	1.0	-0.2	0.3	SUPERIEUR	NK	SABLE FIN	2
L7	RB	06/88	LIBRE		0.39	0.00	1.1	0.3	0.3	SUPERIEUR	NK	SABLE MOYEN	0
L7	RB	10/88	LIBRE		1.60	1.45	1.1	0.3	0.3	SUPERIEUR	NK	SABLE MOYEN	0
L7	RB	06/89	LIBRE		0.30	0.00	1.1	0.3	0.3	SUPERIEUR	NK	SABLE MOYEN	0
L7	RB	10/89	LIBRE		1.92	1.74	1.1	0.3	0.3	SUPERIEUR	NK	SABLE MOYEN	0

De ce tableau, on tire les conclusions suivantes:

- 1) indépendamment de la saison concernée pour la période d'observations 1988 - 1989, les gradients hydrauliques horizontaux sont positifs, c'est-à-dire, orientés du fleuve vers l'aquifère adjacent. Dans les limites du delta, l'aquifère ne contribue pas à la recharge du fleuve lorsqu'observé à partir des dispositifs L1 à L7,
- 2) les distances d'influence du cours d'eau au droit de son lit mineur, pour une ligne piézométrique spécifique, sont constantes indépendamment de la saison concernée.
- 3) selon la ligne piézométrique concernée, ces distances d'influence varient de 1.0 à 2.5 kilomètres, à l'exception des lignes L2 et L3 où une zone d'inondation (environ 2 kilomètres) sépare le cours d'eau du dispositif d'observations,
- 4) les gradients hydrauliques horizontaux dans les zones influencées par le fleuve varient de 0 à 2.20 m/km.

7.2.1 Vitesses interstitielles d'écoulement horizontal

Les sédiments captés par les piézomètres du réseau OMVS se caractérisent par des coefficients de perméabilité médiocres. Les vitesses d'écoulement horizontales ont été calculées à partir des formules⁶³ suivantes:

$$v_n = q/n$$

où:

v_n = vitesse moyenne linéaire interstitielle (m/an)

q = décharge spécifique ou la vitesse de Darcy (m/an)

n = coefficient de porosité ou le coefficient d'emménagement dans les nappes libres (sans unité).

$$q = -K \cdot Dh$$

où:

K = coefficient de perméabilité (cm/sec)

Dh = gradient hydraulique (sans unité)

Les valeurs de K ⁶⁴ et Dh ⁶⁵ possibles dans les limites du delta sont présentées ci-dessous. La plage des gradients hydrauliques ci-dessous est valable pour la bordure des rives droite et gauche du fleuve et de ces marigots. Ailleurs dans le delta, les gradients hydrauliques sont pratiquement nuls et par conséquent, les vitesses d'écoulement horizontal peuvent être considérées nulles.

K	valeurs	unités	Dh	valeurs	m/km
K min	1.00E-05	cm/sec	Dh _{0,5}	0.5	m/km
($K_\mu - K_\sigma$)	4.00E-05	cm/sec	Dh _{1,0}	1.0	m/km
K_μ	4.40E-04	cm/sec	Dh _{1,5}	1.5	m/km
($K_\mu + K_\sigma$)	8.40E-04	cm/sec	Dh _{2,0}	2.0	m/km
Kmax	1.00E-03	cm/sec	Dh _{2,5}	2.5	m/km

Les tableaux #17 à #19 montrent les différentes valeurs calculées v_n (m/an) pour un coefficient de porosité fixe.

Tableau #17: vitesse moyenne linéaire interstitielle v_n (m/an), si $n = 0.08$ (silt)

paramètres	K min	($K_\mu - K_\sigma$)	K_μ	($K_\mu + K_\sigma$)	Kmax
Dh _{0,5}	0.02	0.08	0.87	1.66	1.97
Dh _{1,0}	0.04	0.16	1.73	3.31	3.94
Dh _{1,5}	0.06	0.24	2.60	4.97	5.91
Dh _{2,0}	0.08	0.32	3.47	6.62	7.88
Dh _{2,5}	0.10	0.39	4.34	8.28	9.86

⁶³ Rf.: Todd, 1980, p. 67.

⁶⁴ Voir la section 5.1.1 de ce rapport.

⁶⁵ Voir annexe B, profils piézométriques codés L1 à L7.

81

Tableau #18: vitesse moyenne linéaire interstitielle v_n (m/an), si $n = 0.15$ (sable et silt)

paramètres	K min	($K_\mu - K_\nu$)	K_μ	($K_\mu + K_\nu$)	Kmax
Dh _{0.5}	0.01	0.04	0.46	0.88	1.05
Dh _{1.0}	0.02	0.08	0.93	1.77	2.10
Dh _{1.5}	0.03	0.13	1.39	2.65	3.15
Dh _{2.0}	0.04	0.17	1.85	3.53	4.20
Dh _{2.5}	0.05	0.21	2.31	4.42	5.26

Tableau #19: vitesse moyenne linéaire interstitielle v_n (m/an), si $n = 0.23$ (sable à grains fins)

paramètres	K min	($K_\mu - K_\nu$)	K_μ	($K_\mu + K_\nu$)	Kmax
Dh _{0.5}	0.01	0.03	0.30	0.58	0.69
Dh _{1.0}	0.01	0.05	0.60	1.15	1.37
Dh _{1.5}	0.02	0.08	0.90	1.73	2.06
Dh _{2.0}	0.03	0.11	1.21	2.30	2.74
Dh _{2.5}	0.03	0.14	1.51	2.88	3.43

On note de ces tableaux que plus le coefficient de porosité est faible, plus la vitesse d'écoulement horizontal est élevée.

Les valeurs limites pour un gradient Dh_{2.0} (correspondant à la période de crue ou à la hauteur d'eau d'exploitation du barrage lorsque la construction de la digue en rive droite sera achevée) et pour une porosité de 0.15 (valeur utilisée par le projet) sont:

$$v_n (Kmin, Dh_{2.0}, n=0.15) = 0.04 \text{ m/an}$$

$$v_n (Kmax, Dh_{2.0}, n=0.15) = 4.20 \text{ m/an}$$

7.2.2 Evaluation des distances d'influence et des volumes d'infiltration au droit du lit mineur du fleuve

Les fluctuations du niveau d'eau du fleuve Sénégal et également ces tributaires provoquent des fluctuations piézométriques dans la nappe aquifère.

Todd (1980) propose les formules⁶⁶ ci-dessous pour évaluer le rapport (h/h_0) à une distance d'influence quelconque de la berge, les temps de répercussion (t_r) du maximum de la variation du plan d'eau sur la surface piézométrique à une distance quelconque et les volumes infiltrés par mètre de berge (V_{mi}).

$$h/h_0 = e^{-x(\pi^2 S/10^4 T)^{1/2}}$$

$$t_r = x^2 (t_b^2 S/4\pi^2 T)^{1/2}$$

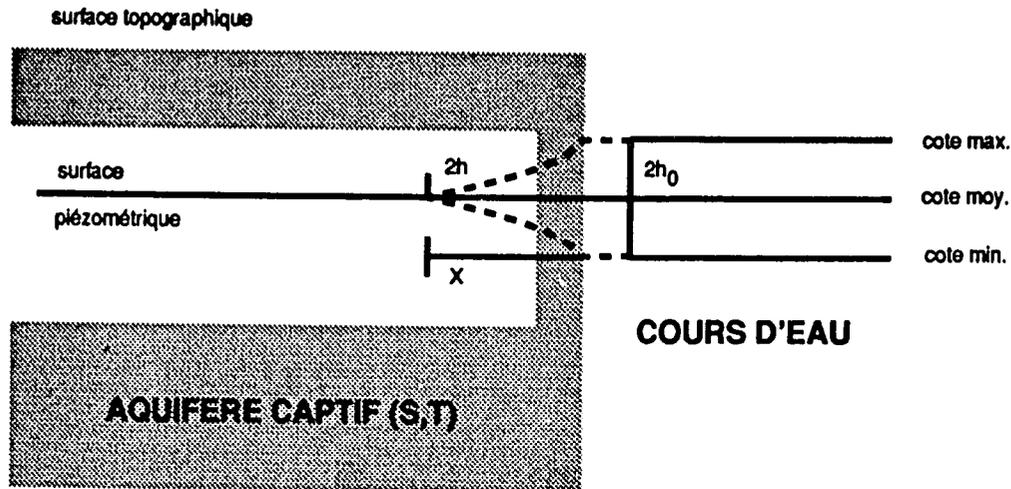
$$V = h_0^2 (2^2 t_b^2 S^2 T/\pi)^{1/2}$$

Ces équations appartiennent à la théorie, toutefois, elles serviront à évaluer leurs implications sur le terrain.

⁶⁶ Todd, 1980, p. 242 - 247.

82

Les différents paramètres sont explicités dans le croquis ci-dessous.



X = distance orthogonale quelconque de la limite hydraulique et à l'intérieur de l'aquifère (m)

h_0 = l'amplitude (m) ou la demie hauteur du battement observé sur le plan d'eau (cote max. - cote min.)

t_b = période d'oscillation du plan d'eau (jrs)

S = coefficient d'emmagasinement (sans unité)

T = coefficient de transmissivité (m^2/sec)

E = épaisseur de l'aquifère (m)

t_r = temps de répercussion (jrs)

Les valeurs numériques des paramètres hydrauliques structuraux utilisés dans les calculs (section 5.1.1. et 5.1.2. de ce rapport) sont:

$$\begin{aligned}
 E &= 8 \text{ m}^{67} \\
 K &= 4.00E-04 \text{ cm/sec (slug test)} \\
 S &= 4.00E-04 \text{ (hypothèse nappe captive)} \\
 T = KE &= 3.20E-05 \text{ m}^2/\text{sec}
 \end{aligned}$$

Ces paramètres sont les constantes des équations de Todd.

Les variables des équations de Todd sont essentiellement les paramètres X et t_b . Les résultats des calculs sont regroupés dans les tableaux à double entrée #20 à #23.

* Voir carte #7 - isobathe du compartiment supérieur de l'aquifère.

Tableau #20: Valeurs de h/h_0 - vs - période d'oscillation

$$h/h_0 = e^{-x(\pi^2 S / 40^2 T)^{1/2}}$$

X (m)	Si $t_0 =$ 2 jrs 30 jrs 120 jrs		
	VALEURS de h/h_0		
10	86.01%	96.18%	98.07%
100	22.15%	67.76%	82.31%
1000	0.00%	2.04%	14.28%
2000	0.00%	0.04%	2.04%
3000	0.00%	0.00%	0.29%
5000	0.00%	0.00%	0.01%
10000	0.00%	0.00	0.00%

Tableau #21: Temps de répercussion ($t_r =$ jrs) - vs - période d'oscillation

$$t_r = x^2 (t_0^2 S / 4 \pi^2 T)^{1/2}$$

X (m)	Si $t_0 =$ 2 jrs 30 jrs 120 jrs		
	VALEURS de t_r (jrs)		
10	0.05	0.19	0.37
100	0.48	1.86	3.72
1000	4.80	18.58	37.17
2000	9.60	37.17	74.34
3000	14.40	55.75	111.51
5000	23.99	92.92	185.85
10000	47.99	185.85	371.69

Tableau #22: Volumes d'eau infiltrés par mètre de berge ($V_{mi} =$ m³/m)

$$V = h_0^2 (2 t_0^2 S T / \pi)^{1/2}$$

h_0	Si $t_0 =$ 2 jrs 30 jrs 120 jrs		
	VOLUME D'EAU (m ³ /m)		
0.50	0.02	0.07	0.15
1.00	0.04	0.15	0.29
1.50	0.06	0.22	0.44
2.00	0.08	0.29	0.58
2.50	0.09	0.36	0.73

Tableau #23: Volumes totaux d'eau infiltrés ($V =$ m³)

longueur du fleuve (L) : 115 km
 longueur des rives (2L): 230 km

$$V = h_0^2 (2 t_0^2 S T / \pi)^{1/2} * 2L$$

h_0	Si $t_0 =$ 2 jrs 30 jrs 120 jrs		
	VOLUME D'EAU INFILTRÉ (m ³)		
0.50	4.32E+03	1.67E+04	3.34E+04
1.00	8.63E+03	3.34E+04	6.69E+04
1.50	1.29E+04	5.01E+04	1.00E+05
2.00	1.73E+04	6.69E+04	1.34E+05

2.50 2.16E+04 8.36E+04 1.67E+05

Bien que ces équations soient appliquées à un aquifère captif, elles peuvent être appliquées à un aquifère libre si l'amplitude de la fluctuation du plan d'eau est faible comparativement à l'épaisseur saturée de l'aquifère.

L'interprétation des résultats des tableaux #20 et #21 s'appuiera sur la valeur de $t_0 = 120$ jours correspondant sensiblement à la période d'oscillation observée en 1988 (voir figure 1).

Le tableau #20 montre que pour une amplitude quelconque, à 1 km de la berge, la remontée de la surface piézométrique ne sera plus que de 14.28% et à 2 km: 2.04%. Ces valeurs calculées sont cohérentes avec les distances d'influence observées sur le terrain à partir des lignes piézométriques locales (voir annexe #8, fig. L1 à L7) et section 7.2, tableau #16).

Les temps de répercussion du maximum de fluctuation du plan d'eau libre aux distances de 1 km et de 2 km sont respectivement de 37 et 74 jours.

Pour la même période d'oscillation (120 jours), les volumes d'eau ($V_{mi} = m_3/m$) varient de 0.15 m^3/m ($h_0 = 0.5m$) à 0.73 m^3/m ($h_0 = 2.5m$). Ces valeurs de h_0 correspondent à la plage des cotes d'exploitation du plan d'eau du fleuve Sénégal.

Ces volumes d'eau (0.15 m_3/m et 0.73 m_3/m) correspondent respectivement à des volumes d'eau réellement infiltré de 33,400 m^3 et 167,000 m^3 répartis sur les deux rives du lit mineur (largeur maximale du corridor égale à 2 km sur chacune des rives). Ces volumes sont négligeables et la superficie affectée par cette zone soumise à l'influence des berges est de 330 km^2 soit 7.59% de la superficie du delta.

Les calculs effectués dans les tableaux #20 à #23 sont une estimation seulement car:

- 1) les conditions hydrogéologiques d'application de ces formules ne correspondent pas exactement aux hypothèses ayant servi au développement de ces équations. A titre d'illustration, la surface piézométrique n'est pas plane comme le suppose la théorie de même que les fluctuations du plan d'eau ne sont pas exactement sinusoïdales.
- 2) les volumes d'eau liés à l'évaporation ne sont pas pris en considération.

En conclusion, les apports d'eau à la nappe superficielle du delta liés aux infiltrations (nappes libre et captive) sont:

APPORTS	M ³ /an	% Total
PLUIES + IRRIGATION ZONES IRRIGUEES	52.00E+05	4.15%
PLUIES ZONES NON IRRIGUEES	1200.00E+05	95.72%
INFILTRATION BERGE	1.67E+05	0.13%
TOTAL	1253.67E+05	100.00%

Ces chiffres montrent la prépondérance de la contribution des flux verticaux à celle des flux horizontaux dans les échanges hydrauliques. Les infiltrations des berges sont insignifiantes par opposition aux infiltrations par les eaux de pluies. Il est important de noter que dans les zones irriguées, les eaux d'irrigation participent également aux apports dans une proportion de 50% du volume calculé. L'efficacité de cet apport spécifique est liée à la durée d'irrigation. L'accroissement du nombre annuel de saisons agricoles contribuera de façon significative à augmenter cette évaluation des apports.

7.3 Pertes par évaporation.

Filipi⁶⁸, 1984, propose pour le calcul des pertes par évaporation, un graphique développé par Talsma, 1963, donnant la vitesse de remontée capillaire en fonction de la profondeur de la nappe sous le sol et des types de sols.

Ce graphique est utilisé pour évaluer le volume d'eau annuel évaporé dans les limites du delta en considérant que:

- 1) la médiane des niveaux d'eau (m/sol) varie de 2.5 m/sol (saison sèche) à 2.0 m/sol (saison des pluies) (voir section 6.1 de ce rapport),
- 2) l'aire du delta renfermant une nappe souterraine superficielle, soumise à l'évaporation, est de 3883 km² (voir section 7.1 de ce rapport),
- 3) Par hypothèse, le recouvrement des zones à nappes libres est réputé constitué de sédiments sablo-limoneux et le recouvrement des zones à nappes captives est réputé constitué de sédiments limono-argileux.

⁶⁸ Filipi, 1984, p. 7, fig. 2.

86

La grille ci-dessous donne la vitesse⁶⁹ de remontée capillaire (mm/jr) en fonction de la profondeur de la nappe dans le sous sol pour les sédiments sablo-limoneux (1) et les sédiments limono-argileux (2).

prof. (1) m/sol	(2) mm/jr	(2) mm/jr
1.5	0.60	2.40
2.0	0.45	1.20
2.5	0.30	0.60
3.0	0.30	0.30

De cette grille, on note que pour une profondeur de niveau d'eau localisé entre 2 et 2.5 m/sol, le flux maximum de remontée capillaire varie de 0.3 à 0.6 mm/jr indépendamment du type de sol superficiel. Ces remontées capillaires sont toujours inférieures à l'évapotranspiration Etp laquelle varie de 5.15 mm/jr (154.7 mm/mois - septembre) à 7.62 mm/jr (228.8 mm/mois - avril)⁷⁰. Comme Filippi, on peut considérer que la reprise de la nappe par évaporation est égale au flux capillaire, fonction uniquement de la profondeur du niveau d'eau par rapport au sol.

Le tableau #24 donne pour les différents types de sols en fonction de la profondeur du niveau d'eau par rapport au sol, les volumes d'eau m³/an. On note que pour les profondeurs de 2.5 à 3.0 m/sol le volume d'eau susceptible d'être évaporé par remontée capillaire est de l'ordre de 1.9E+08 m³/an, soit 1.46 fois le volume estimé des apports (1.3E+8 m³/an).

Tableau #24: Evaluation du volume d'eau évaporé (m³/an)

prof. m/sol	E _i	E _c m ³ /an	m ³ /an
1.5	3.8E+08		1.5E+09
2.0	2.9E+08		7.7E+08
2.5	1.9E+08		3.8E+08
3.0	1.9E+08		1.9E+08

7.3.1 Relation hydraulique entre les compartiments inférieur et supérieur de l'aquifère

L'identification des compartiments inférieur et supérieur de l'aquifère a permis au projet de tracer les surfaces piézométriques saisonnières (période 1987 - 1989) pour chacun des compartiments. Les cartes du compartiment inférieur ne sont pas montrées dans ce rapport toutefois elle peuvent être consultées à partir du système GES.

La carte #28 "Gradient hydraulique vert. (l vert.) Juin 88 - zones à valeurs négatives ou positives - compartiments supérieur - inférieur de l'aquifère (iv 8806)" et la carte #29 "Gradient hydraulique vert. (l vert.) Octobre 88 - zones à valeurs négatives ou positives - compartiments supérieur - inférieur de l'aquifère (iv 8810)" montrent la distribution des gradients hydrauliques entre les compartiments supérieur et inférieur.

La cartographie saisonnière des gradients hydrauliques verticaux est déduite de la différence des surfaces piézométriques saisonnières (compartiments supérieur moins compartiment inférieur) divisée par la différence de profondeur des crépines (compartiment inférieur moins compartiment supérieur).

Les cartes résultantes délimitent des zones où la valeur du gradient est négative et d'autres, positive. Les gradients hydrauliques verticaux négatifs signifient que le compartiment inférieur est

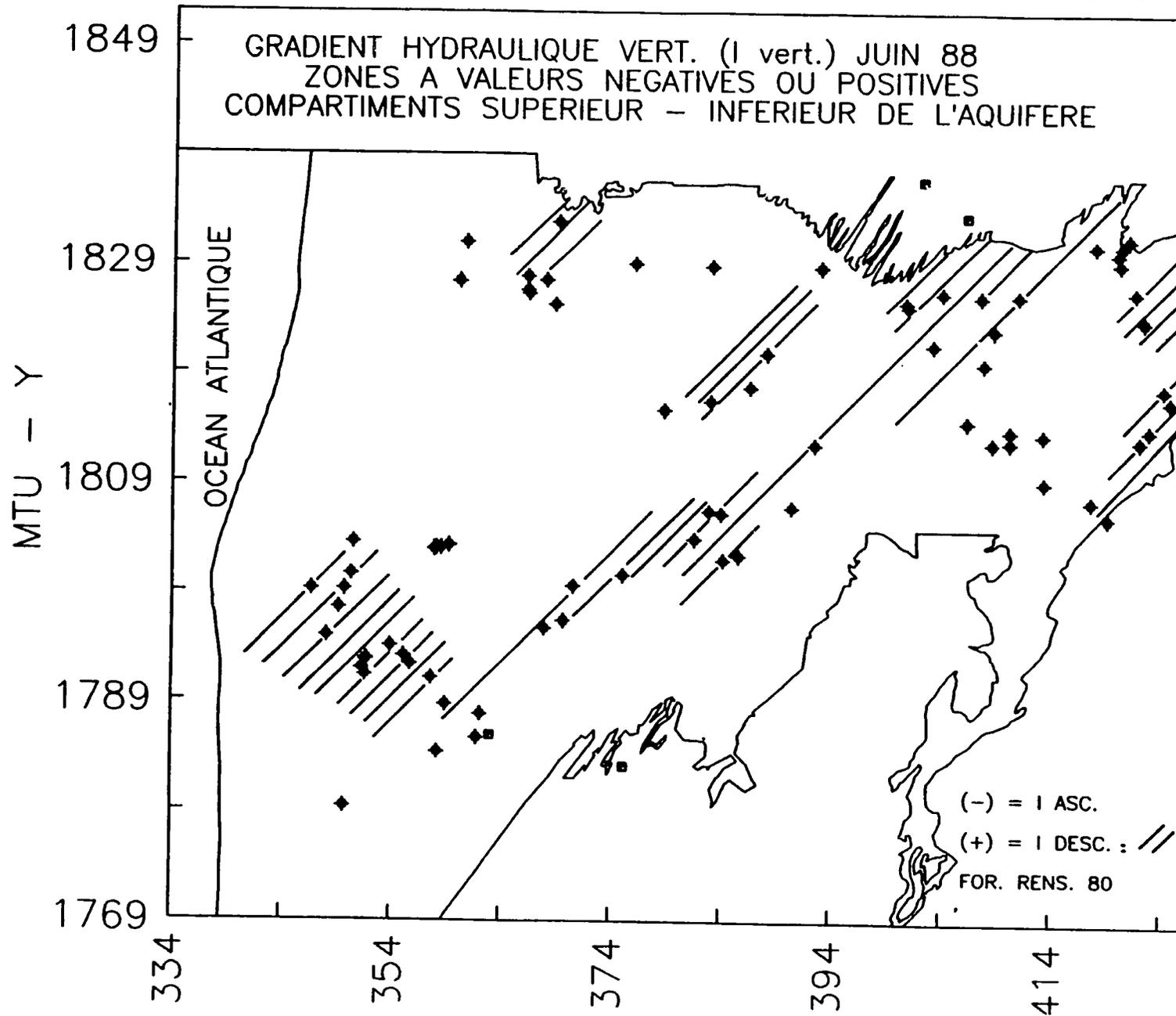
⁶⁹ Extrait du graphique de Talsma, 1963.

⁷⁰ Voir annexe #10, de ce rapport, valeurs mensuelles couvrant 4 années (période 1986 - 1989).

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 Km

CARTE N° 28

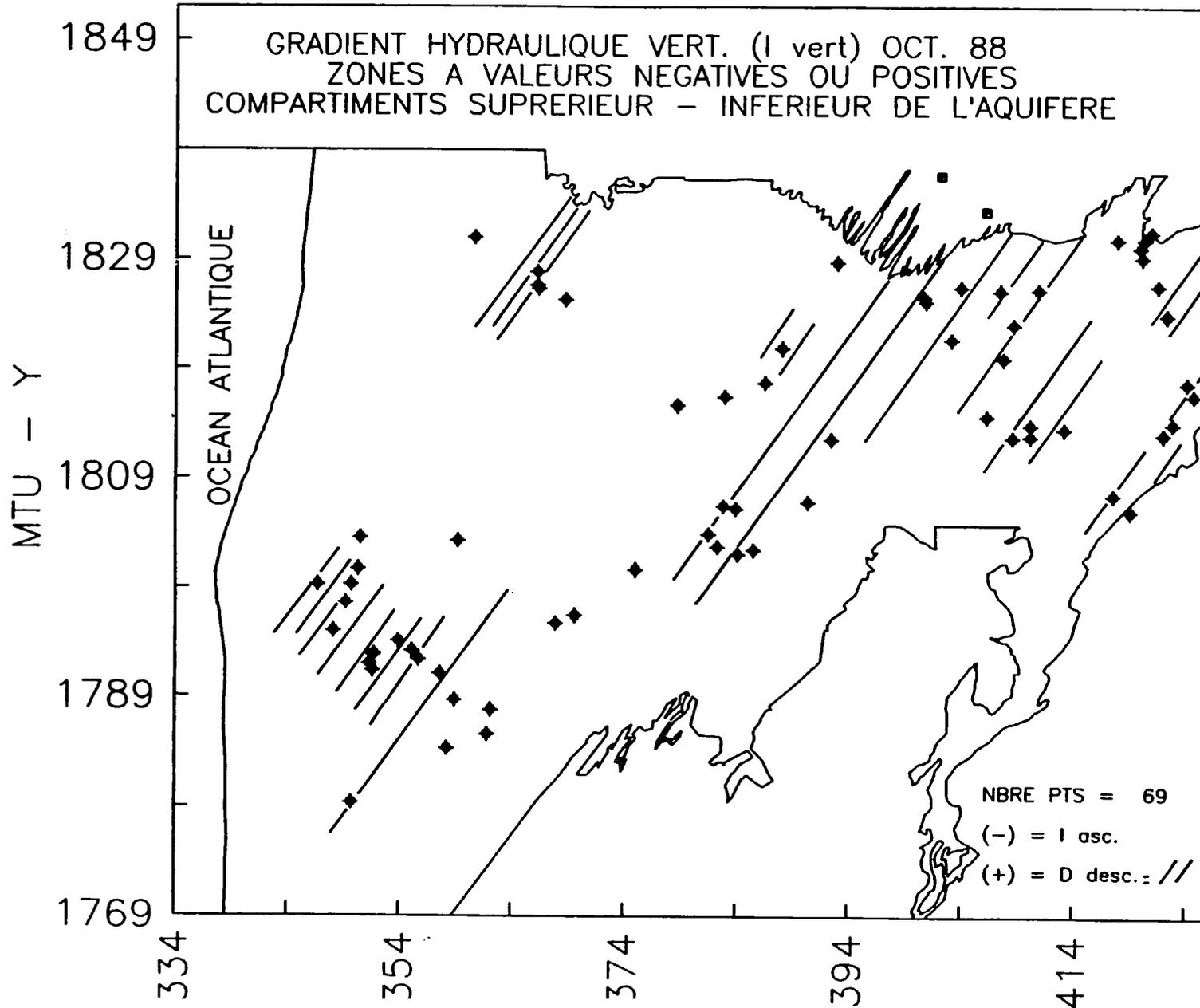


88.

DELTA DU FLEUVE SENEGAL

ECHELLE :  = 10 km

CARTE N° 29



66

localement en charge par rapport au compartiment supérieur. Les gradients hydrauliques verticaux positifs signifient que le compartiment supérieur est localement en charge par rapport au compartiment inférieur.

Afin de faciliter la lecture de ces cartes saisonnières, des traits hachurés ont été ajoutés en surcharge pour délimiter les zones où le gradient hydraulique vertical est positif. Les zones hachurées délimitent les aires du compartiment supérieur où la charge hydraulique est plus grande que celle du compartiment inférieur, tendant à provoquer une migration verticale descendante des eaux (recharge du compartiment). Les gradients verticaux (Δh) varient de -0.04 à 0.02.

Généralement, les périmètres hydroagricoles lorsqu'ils sont irrigués, contribuent à maintenir en charge hydraulique le compartiment supérieur de l'aquifère. L'annexe #9, figures 1 à 5, montre les profils piézométriques intersaisonniers caractéristiques des périmètres de M'Pourie, de Boundoum, de Grande Digue Tellel Kassak et l'annexe #8, figure 5, le périmètre de Debi. Le lecteur trouvera les commentaires relatifs au tracé des graphiques à la section 7.2 et au tableau #26, la liste des piézomètres appartenant à chacun des profils piézométriques (I8 à I12).

En dehors des périmètres hydroagricoles, le compartiment supérieur est dépressif par rapport au compartiment inférieur. L'explication de cette situation est liée aux mécanismes évapotranspiratoires.

Tableau #25: Liste des piézomètres par lignes piézométriques (L8 A L12)

LIGNE #	PIEZO #	MTU-X	MTU-Y	COTE M/O IGN	DIST. KM	CREP M/SOL	KK CM/SEC
L8	DA039	406.2	1827.2	2.28	1.10	12.00	> 1.0E-3
L8	DA040	407.5	1827.3	2.82	1.40	5.08	N/I
L8	DA043	408.5	1827.1	2.63	1.70	5.00	2.7E-4
L8	DA044	408.7	1828.2	1.69	2.80	11.00	2.2E-4
L8	DA045	408.8	1826.2	2.50	1.20	7.00	> 1.0E-3
L8	DA046	409.7	1827.1	2.77	2.40	7.00	> 1.0E-3
L9	DA047	409.6	1825.4	3.04	1.20	7.00	4.4E-4
L9	DA049	410.8	1826.2	1.78	1.30	5.00	> 1.0E-3
L9	DA050	411.4	1825.2	2.64	0.20	6.00	> 1.0E-3
L9	DA051	411.5	1827.8	1.96	2.80	10.99	N/I
L10	GA0051	388.6	1816.5	1.36	5.00	5.20	N/I
L10	GA0052	384.8	1815.8	1.60	6.00	4.85	4.1E-4
L10	GA0053	385.7	1816.5	1.32	5.50	5.10	1.3E-4
L10	GA0058	384.3	1816.9	1.40	5.50	4.95	> 1.0E-3
L10	GA0062	382.9	1816.4	1.63	6.50	5.10	8.6E-4
L10	GA0063	381.5	1816.0	1.74	8.00	5.10	6.5E-5
L10	GA0064	380.8	1816.6	1.83	7.80	5.07	1.8E-4
L10	GA0065	378.9	1816.8	1.29	9.00	5.06	4.2E-5
L10	GA0057	378.7	1815.6	1.08	0.38	4.85	N/I
L11	GA0047	388.0	1820.8	2.13	1.18	5.05	2.2E-4
L11	GA0048	388.0	1820.8	2.11	1.19	4.85	2.3E-4
L11	GA0049	388.0	1820.8	2.04	1.17	5.10	6.6E-4
L11	GA0050	388.8	1818.8	1.31	2.80	5.10	1.6E-5
L11	GA0051	388.6	1816.5	1.36	5.00	5.20	N/I
L11	GA0052	384.8	1815.8	1.60	6.00	4.85	4.1E-4
L11	GA0053	385.7	1816.5	1.32	5.50	5.10	1.3E-4
L11	GA0056	386.5	1817.7	1.90	4.00	5.25	4.1E-5
L11	GA0057	385.5	1818.6	1.34	3.30	5.00	N/I
L11	GA0058	384.3	1816.9	1.40	5.50	4.95	> 1.0E-3
L11	GA0059	386.7	1819.5	2.00	2.00	5.08	1.2E-3
L12	GA0100	381.5	1803.9	0.57	1.50	7.95	1.8E-4
L12	GA0102	382.9	1803.4	1.71	2.50	6.90	2.5E-5
L12	GA0104	384.1	1802.0	1.51	4.00	10.00	1.1E-4
L12	GA0105	383.7	1802.7	1.66	3.50	5.10	5.6E-5
L12	GA0106	384.4	1803.8	1.80	4.20	6.95	1.0E-5
L12	GA0108	385.5	1802.4	1.69	5.60	6.50	2.4E-5

Entre les deux compartiments se situent la couche #2 semi-perméable (argile et/ou silt), intercalaire. Cette couche se caractérise par une continuité au centre du delta (voir carte #8) et un coefficient de perméabilité vertical K_v de l'ordre de 10^9 m/sec (voir section 5.2.1. de ce rapport).

91

En appliquant la formule générale:

$$Q_v = K_v * i_v * A$$

où:

Q = débit vertical annuel unitaire (m³/an par mètre carré)

K_v = coefficient de perméabilité verticale (m/sec) K_v = 10⁻⁹ m/sec

i_v = gradient hydraulique verticale (m/m ou sans unité)

A = surface unitaire égale à un mètre carré (m²)

Utilisant les valeurs limites des gradients hydrauliques verticaux, on obtient le débit unitaire annuel par mètre carré

i _v	Q _v	Observations m ³ /an
-0.04	-0.0010	Apport au compartiment supérieur
0.02	+0.0005	Perte du compartiment supérieur

Ces valeurs sont très faibles et reflètent l'étanchéité de la couche #2 semi-perméable. Le compartiment supérieur de l'aquifère est rechargé localement à un taux de 1 l/an par mètre carré et déchargé au taux de 0.5 l/an par mètre carré selon les valeurs ambiantes du gradient hydraulique vertical (positive en zones irriguées et négatives en zones non irriguées).

En conclusion, on observe entre les compartiments inférieur et supérieur une différence de charge hydraulique parfois positive, parfois négative.

Dans les limites d'influence des zones irriguées, la charge hydraulique du compartiment supérieur excède celle du compartiment inférieur. Cette observation souligne l'impact de l'infiltration des eaux d'irrigation sur la surface piézométrique et la résistance de l'aquifère à rétablir l'équilibre hydrostatique.

A l'extérieur de ces zones, la situation inverse prévaut. Cette observation souligne l'importance des phénomènes évaporatoires là où ils ne sont pas court-circuités par l'irrigation.

L'évolution saisonnière des aires où le gradient hydraulique verticale est positif tend à croître d'une année à l'autre (1987 - 1989). Il existe également un axe privilégié orienté NE-SO passant par la ville de Rosso, longeant la vallée du Lampsar où le compartiment supérieur est en charge par rapport au compartiment inférieur. A cet axe correspond le maximum de densité des périmètres hydroagricoles (cuvettes du Lampsar, Grande Digue Tellel Kassak, M'Pourie et à proximité, une myriade de petits périmètres irrigués (PIV)).

L'étanchéité de la couche #2 semi-perméable est pratiquement totale.

8. CONCLUSIONS

8.1 Caractérisation du milieu aquifère

8.1.1 Définition de l'aquifère

Le delta du fleuve Sénégal, région distincte de la vallée du fleuve Sénégal, recouvre un aquifère compartimenté, composé de sable à grains fins et de silt.

Les sédiments (sable, silt et argile) constituant l'aquifère compartimenté sont généralement non consolidés et appartiennent à la série stratigraphique du Quaternaire: Nouakchottien et Inchirrien, d'origine marine, et Ogollen, d'origine éolienne. Ces sédiments, à l'exception des sables Ogoliens se caractérisent par une hétérogénéité granulométrique verticale et horizontale importante.

Le compartiment supérieur appartient généralement aux sédiments du Nouakchottien. L'épaisseur de ce compartiment (E_{cs}) varie de 0 à 12 m. Ce compartiment est spatialement discontinu.

Le compartiment supérieur est coiffé par une couche #1 semi-perméable (argile et/ou silt) appartenant aux sédiments Récents/Sub-Actuels et parfois à la partie supérieure des sédiments du Nouakchottien. Cette couche #1 semi-perméable se caractérise par une valeur médiane de son épaisseur ($E_{ag\#1}$) égale à 2.00 m.

Le compartiment inférieur appartient généralement aux sédiments de l'Inchirrien. L'épaisseur de ce compartiment (E_{ci}) n'est pas connue à partir des travaux du projet.

Ce compartiment de l'aquifère est séparé du compartiment supérieur par une couche #2 semi-perméable (argile et/ou silt) intercalaire appartenant à la partie supérieure des sédiments de l'Inchirrien et parfois à la partie inférieure des sédiments du Nouakchottien. Cette couche #2 semi-perméable se caractérise par une valeur médiane de son épaisseur ($E_{ag\#2}$) égale à 3.00 m.

8.1.2 Extension du réservoir aquifère

L'analyse géostatistique (kriging) effectuée sur les 252 piézomètres OMVS rejette l'hypothèse de l'extension continue des couches #1 et #2 sur l'ensemble de la superficie du delta. Des zones de discontinuité, caractéristiques des deux couches semi-perméables, sont mises en évidence, en particulier en bordure des limites du delta et dans la partie Est du delta.

Les extensions latérales du compartiment supérieur du réservoir aquifère incluant la couche #1 semi-perméable sont limitées:

- * au Nord et au Sud par la limite du Ouallo/Dieri circonscrivant le lit majeur ou plaine inondable actuelle du delta.
- * à l'Ouest, par le littoral marin,
- * à l'Est, dans les limites du delta, ces formations se prolongent au delà de la limite du delta,

Les extensions latérales du compartiment inférieur du réservoir aquifère incluant la couche #2 semi-perméable intercalaire sont limitées:

- * à l'Est, à la frontière géologique de l'Inchirrien, également cartographiée structurellement,
- * au Nord et au Sud, dans les limites des cartes produites, ces formations se prolongent au delà des bordures de cartes.

8.2 Caractérisation hydrogéologique

8.2.1 Paramètres hydrauliques structuraux

Les coefficients de perméabilité horizontale (K_h) caractéristiques de chaque compartiment sont, statistiquement, indifférenciables. La valeur moyenne de leur coefficient de perméabilité commun est $K_{h\mu} = 4.4 \cdot 10^{-4}$ cm/sec avec un écart-type de $\pm K_{h\sigma} = 4.0 \cdot 10^{-4}$ cm/sec. Les paramètres hydrauliques caractéristiques du compartiment supérieur (si $E_{cs} = 8$ m) seraient:

$$\begin{aligned} * T &= KE = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec} \\ * S &= 4 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

Toutefois, localement, des coefficients de transmissivité supérieurs à deux ordres de grandeur (10^{-3} m²/sec) sont rencontrés reflétant une grande hétérogénéité du milieu aquifère.

Le compartiment supérieur est coiffé par la couche #1 semi-perméable. Le coefficient de perméabilité verticale de cette couche ($K_{v\#1}$) est de 0.5 mm/jr ou $5.8 \cdot 10^{-8}$ m/sec. La littérature rapporte des valeurs variant de 0.5 à 2 mm/jr.

Le compartiment inférieur est isolé du compartiment supérieur sous la couche #2 semi-perméable intercalaire. Le coefficient de perméabilité verticale de cette couche ($K_{v\#2}$) est de 10^{-9} m/sec.

8.2.2 Nappe libre et/ou captive

Le compartiment supérieur renferme une nappe libre et/ou captive selon la position de son niveau d'eau par rapport à la base de la couche #1 semi-perméable.

Les zones à nappe libre se localisent en bordure de la limite Sud du delta et à la hauteur du périmètre de Thiagar à l'Est du delta .

Le compartiment inférieur renferme une nappe captive sous la couche #2 semi-perméable intercalaire.

Les deux compartiments de l'aquifère sont en communication hydraulique avec le fleuve Sénégal constituant une limite d'alimentation dont la longueur est de 143 km (du pont Faidherbe jusqu'à la jonction fleuve/canal de la Tahouey). Cette limite d'alimentation est une entaille linéaire dans l'aquifère dont la profondeur moyenne est de 9.9 mètres/sol et la largeur moyenne est de 360 mètres. Au cours de la période d'observation du projet (1987 - 1989), celle-ci a varié de -0.26 à 1.37 m/0 IGN au barrage de Diama.

8.2.3 Flux horizontal

A proximité des abords des cours d'eau, dans la zone influencée par la limite d'alimentation, les gradients hydrauliques horizontaux (i_h) varient de $0 < i_h < 2.2$ m/km.

Aux abords des cours d'eau, la distance calculée, sans tenir compte de l'évaporation, de l'influence maximale de la charge hydraulique des eaux de surface sur les nappes contiguës au droit des cours d'eau est de l'ordre de 2 km, soit 7.59% de la superficie du delta ou 330 km². Cette valeur théorique est corroborée par les observations piézométrique in-situ (entre 1.0 et 2.0 km). Les résultats d'une modélisation (Filippi) incorporant l'évaporation propose une distance d'influence de 700 à 800 m laquelle nous apparaît tout-à-fait vraisemblable.

Les échanges hydrauliques horizontaux sont restreints aux infiltrations des berges aux abords des cours d'eaux et des canaux. Il a été estimé un apport correspondant à $1.67E+05$ m³/an. Cette

quantité est négligeable. Malgré la contribution modeste de l'infiltration des berges dans les échanges hydrauliques, ce phénomène est directement lié à la salinisation des sols à cause du rehaussement de la surface piézométrique et, conséquemment, un débit capillaire accru (mécanisme évaporatoire plus efficace et accumulation de sels dans le sol).

Les zones de salinisation sont localisées à proximité des foyers de recharge. Ceux-ci sont doubles: les cours d'eau et les périmètres irrigués. L'accroissement des superficies irriguées et surtout l'augmentation du nombre annuel de saisons agricoles (3 saisons agricoles possibles) favoriseront irrémédiablement la salinisation des sols principalement lorsque ceux-ci seront coincés entre deux foyers de recharge distant de 2 km et moins (Débi, Boundour, M'Pourie).

Les infiltrations des berges aux abords des cours d'eau sont systématiquement orientées du fleuve vers les aquifères contiguës et, ce, sur la totalité d'un cycle hydrologique. Cet état de fait sera consolidé avec la construction de la digue en rive droite lorsque la charge hydraulique du fleuve, limite d'alimentation, variera de 1.5 m/0 IGN < Z < 2.5 m/0 IGN.

Les vitesses d'écoulement linéaire interstitiel (V_n) calculées à partir des coefficients de perméabilité ($K_{min}=K_u-K_v$ et $K_{max}=K_u+K_v$) pour un gradient $Dh_{2.0} = 2m$ (correspondant à la période de crue ou à la hauteur d'eau d'exploitation du barrage lorsque la construction de la digue en rive droite sera achevée) et pour une porosité (n) de 0.15 (valeur utilisée par le projet) sont:

$$v_n (K_{min}, Dh_{2.0}, n=0.15) = 0.04 \text{ m/an}$$
$$v_n (K_{max}, Dh_{2.0}, n=0.15) = 4.20 \text{ m/an}$$

Ces vitesses d'écoulement interstitielle sont faibles et signifient qu'il y a peu de substitution des eaux salées par les eaux douces.

L'impact du barrage de Diama sur les rives du fleuve est limité à un corridor de 2 km de part et d'autre du lit mineur. Cette bande de terre axiale au tracé du lit mineur sera très vulnérable à la dégradation des sols par le sel surtout s'il y a à proximité un second foyer de recharge lié à l'irrigation. La substitution des eaux salées par les eaux douces ne se fera pas.

En dehors des abords des cours d'eau, les cotes des surfaces piézométriques sont constamment négatives à l'extérieur des périmètres hydroagricoles (~ -0.7 m/0 IGN Juin 88) et (~ -0.2 m/0 IGN Octobre 88) et oscillent entre (~ -0.3 m/0 IGN Juin 88) et ($\sim +0.4$ m/0 IGN Octobre 88), à l'intérieur des périmètres hydroagricoles.

Les gradients hydrauliques horizontaux (i_h), pratiquement nuls à l'extérieur des zones d'influence des cours d'eau et à proximité des périmètres hydroagricoles non irrigués, ne favorisent pas la percolation horizontale des eaux souterraines.

8.2.4 Flux vertical

En l'absence d'un flux horizontal significatif, il est accepté que les échanges hydrauliques soient essentiellement verticaux.

Les flux verticaux sont contrôlés par les apports liées aux précipitations annuelles ($P=242$ mm (1988)) et à l'irrigation ($P_{irr} = 951$ mm (Hivernage)) et les pertes liées à l'évaporation de la nappe superficielle et à la recharge du compartiment supérieur.

L'évaporation de la nappe est fonction de la profondeur du niveau d'eau. La valeur théorique de la remontée capillaire correspondant à la valeur médiane de la profondeur des niveaux d'eau est de l'ordre de 0.3 mm/jrs.

Les valeurs médianes saisonnières du niveau statique (N.S.), incluant les piézomètres localisés dans et à l'extérieur des limites des périmètres hydroagricoles, varient de 2.06 m/sol à 2.52 m/sol

95

correspondant respectivement à la saison des pluies 87 et à la saison sèche 87. Pour l'année 1989, on observe un léger relèvement des niveaux d'eau.

Le battement saisonnier des niveaux d'eau est de l'ordre de 0.3 m dans les zones non irriguées et de l'ordre de 0.6 à 0.8 m dans les zones irriguées, soulignant l'impact de l'infiltration des eaux d'irrigation sur la nappe.

La surface piézométrique est nettement relevée dans les limites des zones irriguées en particulier à l'Est du delta (périmètres de Thiagar et de la CSS) coïncidant également avec une zone à nappe libre.

La recharge du compartiment inférieur est réputée négligeable.

L'évaluation des apports (pluies et irrigation) est de $1.29E+08 \text{ m}^3/\text{an}$ (1988) et les pertes (débit capillaire) est $1.9E+08 \text{ m}^3/\text{an}$. Cette approximation est probablement surestimée dans les limites des terres du delta.

8.2.5 Hydrogéochimie

La qualité des eaux est mauvaise dans les limites du delta.

Salines dans la zone centrale ($\text{TDS} > 10,000 \text{ mg/l}$) du delta, elles deviennent progressivement saumâtres ($1000 \text{ mg/l} < \text{TDS} < 10,000 \text{ mg/l}$) à sa périphérie. Ces eaux se caractérisent par de fortes valeurs du coefficient d'absorption du sodium (S.A.R.) et de fortes valeurs de la conductivité électrique.

La zone centrale coïncide avec le passage de l'ancien chenal correspondant à l'époque Inchirienne.

Les eaux souterraines sont, donc, généralement inaptes à l'irrigation, à l'alimentation en eaux du cheptel et, de surcroît, à l'alimentation en eau potable de la population. Quelques sites localisés peuvent contredire cette affirmation, cependant ils demeurent l'exception et sont sans extension géographique.

La variation de la salinité des eaux montre une grande variation dans le temps, apparemment illogique et inexplicable. Les études antérieures rapportent également ces observations. Ces variations de la salinité ne changent pas la désignation des eaux souterraines: "qualité mauvaise".

8.3 En résumé

Théoriquement, l'aquifère est unique, hétérogène et anisotrope, regroupant deux compartiments: supérieur et inférieur. *Pratiquement*, la problématique des gestionnaires de l'eau est liée essentiellement au compartiment supérieur du réservoir aquifère.

L'équilibre naturel des échanges hydrauliques (cycle annuel inondation/assèchement) entre les eaux de surface et les eaux souterraines est rompu depuis 1964.

En 1964, la digue en rive gauche a été construite soustrayant 61.6 % de la superficie du delta (2769.8 km^2).

En 1986, le barrage de Diama a été mis en activité.

L'impact de ces aménagements sur le milieu naturel est l'élimination des zones de recharge naturelle (dépression topographique annuellement inondée approximativement 3 mois/an), la multiplication des foyers ponctuels de recharge saisonnière (périmètres hydroagricoles) où trois récoltes annuelles sont désormais possibles dans le cadre de l'exploitation conjuguée des barrages de Diama et

de Manantali (irrigation 6 à 9 mois/an) et le rehaussement de la ligne d'eau du fleuve jusqu'à la cote 2.5 m/0 IGN lorsque la digue en rive droite sera achevée (1991).

L'incidence de ces impacts est une remontée de la surface piézométrique dans les abords des foyers de recharge.

Toutes remontées de la surface piézométrique, qu'elles soient liées aux flux horizontaux et/ou aux flux verticaux, foyers ponctuels ou linéaires, sont susceptible, en fonction de leur intensité, de contribuer activement à la dégradation des sols par le sel.

Le seul palliatif à ce constat est la mise en place d'un système de drainage adapté aux conditions spécifiques des terrains concernés.

Il est illusoire de tenter de fixer un schéma de drainage à partir des données statistiques de ce rapport caractérisant le delta dans son ensemble. Les schémas de drainage ne peuvent être que spécifique à chacune des zones à aménager. Une telle approche est possible en changeant d'échelle de travail.

L'apport de ce projet à la connaissance hydrogéologique du delta est considérable dans la mesure où il fixe une vision géostatistique de la géométrie du réservoir aquifère, il précise les paramètres hydrauliques structuraux de l'aquifère et informe sur l'évolution historique des fluctuations piézométriques et des variations des paramètres physico-chimiques.

Ces données de bases, indispensables aux aménageurs, permettra d'établir des plans d'aménagements plus réalistes.

9 RECOMMANDATIONS

9.1 Programmes de travail à court terme

9.1.1 Poursuite des travaux d'interprétation - petite échelle

Le rapport de synthèse - volume #2 - traitent uniquement de la région du delta. Cette limitation géographique est liée à l'échéancier du 30 juin 1990.

Il serait évidemment souhaitable d'étendre les analyses et les interprétations de ce rapport au reste de la vallée.

A petite échelle, il est proposé un double découpage géographique:

1) la basse vallée et la moyenne vallée aval (Z1) localisée entre les coordonnées MTU-X 426 et MTU-X 580, correspondant approximativement à la limite d'influence du barrage de Diama (cote 2.5 m/0 IGN),

2) la moyenne vallée amont et la haute vallée (Z2) localisée entre les coordonnées MTU-X 580 et MTU-X 818, renfermant la zone de recharge présumée du Maestrichtien.

Compte tenu de la distribution irrégulière du réseau piézométrique OMVS, il est possible que le découpage ci-dessus proposé puisse être redéfini.

Pour la poursuite des travaux d'interprétation, l'OMVS détient du personnel formé, des équipements, des outils informatiques et une méthodologie de travail regroupé au sein de la Cellule Eaux Souterraines.

Une partie des cartes géologiques de la zone (Z1) existe déjà dans la base de données. Tous les travaux de digitalisation de base (rivières et fleuve, topographie, piézométrie, localisation des périmètres, des villes, des stations pluviométriques et des échelles limnimétriques) sont complétés sur l'ensemble de la vallée du fleuve Sénégal, donc, couvrant les régions Z1 et Z2.

Malgré un avancement réel, beaucoup reste à faire en analyse et en interprétation des données. La rédaction de ce rapport a nécessité une somme de travail importante, plus de 6 mois. Considérant que le delta constitue une des trois régions (delta, Z1 et Z2), une année supplémentaire d'analyse et d'interprétation est nécessaire pour rédiger un rapport similaire sur l'ensemble de la vallée, soit 6 mois par région.

Sans un appui en personnel technique qualifié au chef de la Cellule également responsable de la base de données, celui-ci ne pourra pas faire face aux exigences techniques des travaux préconisés (tracé cartographique hydrogéologique, l'exploitation de la base de données GES, les interprétations, etc.). Il est obligatoire de prendre en considération les recommandations institutionnelles du rapport final - Volume #1.

9.1.2 Poursuite des travaux d'interprétation - grande échelle

L'échelle cartographique utilisée (approximativement 1 cm égale 12 km) dans le présent rapport permet d'entrevoir les traits caractéristiques régionaux et de dégrossir les phénomènes hydrogéologiques sur l'ensemble du delta. La précision des cartes, dressées à partir des observations hydrogéologiques effectuées sur un réseau piézométrique dont la distribution des ouvrages est irrégulière, est approximative. En effet, les valeurs calculées, projetées sur une maille régulière suite au traitement géostatistique, sont extrapolées et tendent, donc, à s'éloigner de la réalité.

Avec l'agrandissement de l'échelle (1 cm égale 2 ou 3 km) et la définition de cibles géographiques particulières, il serait possible de restituer des cartes hydrogéologiques plus précises. Pour avoir une idée des types de cartes possibles, le lecteur se référera à la liste des cartes énumérées à la table des matières de ce rapport. Une plus grande précision des cartes est particulièrement accessible dans les limites des périmètres hydro-agricoles où la distribution des piézomètres est pratiquement régulière. En effet, les critères d'implantation étaient un piézomètre par 100 ha.

Par conséquent, il est recommandé le découpage géographique du delta en 3 sous-régions:

- * DLT_1 délimitant la zone de Keur Macène et le périmètre de Debi,
- * DLT_2 délimitant les périmètres de Boundoum, de Thiagar et de M'Pourie,
- * DLT_3 les environs du barrage de Diama.

Plusieurs lignes piézométriques transversales au fleuve se localisent dans chaque sous-région.

Pour chacune de ces sous-régions du delta, ils existent des fichiers sources utiles (géologie, niveau d'eau, piézométrie, etc.), couvrant l'ensemble du delta. Ces fichiers, intrants nécessaires pour effectuer le traitement géostatistique, permettront de restituer les cartes hydrogéologiques pour chacune des sous-zones mentionnées.

Dresser ces cartes hydrogéologiques constitue un exercice simple et s'appuie sur une simple redéfinition des bornes géographiques délimitant la carte (MTU-X, MTU-Y) effectuée à l'aide des fonctions SURFER.

Les temps de réalisation pour appliquer cette recommandation au limite du delta seraient de l'ordre de deux à trois semaines par régions.

9.1.3 Modifications aux procédures de mesure de la conductivité électrique

Dans les limites du delta uniquement, les valeurs mesurées de conductivité électrique ont suscité des inquiétudes face à leur représentativité du milieu aquifère. L'instrumentation pas toujours appropriée (plage de lecture 0 à 50,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et les procédures d'acquisition des mesures sur le terrain associées à une extrême volatilité reconnue par les études antérieures de ce paramètre en sont responsables.

Pour pallier à limite des instruments, le projet a acheté et reçu de nouveaux instruments (plage de lecture 0 à 200,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) permettant une lecture des valeurs de conductivité électrique rencontrées dans les limites du delta.

Pour pallier aux incertitudes des valeurs de conductivité électrique sur le terrain, il est recommandé:

- 1) de limiter le suivi des salinités aux piézomètres appartenant en priorité aux lignes piézométriques transversales des cours d'eau (L1 à L7, voir leur localisation sur la carte #4) et aux lignes piézométriques intra-muros des périmètres hydroagricoles (L8 à L12, voir leur localisation sur la carte #4),
- 2) de maintenir la périodicité mensuelle des lectures,
- 3) de vidanger systématiquement, à l'aide des pompes submersibles de diamètres compatibles avec les tubages PVC 2½ pouces, tous les piézomètres sous observation avant de procéder à la lecture de la salinité,
- 4) d'utiliser les conductivimètres, nouvellement achetés, permettant de lire dans la plage de lecture (0 - 200,000 $\mu\text{hos}/\text{cm}$)

Les pompes submersibles, nécessaires à la vidange des piézomètres, sont déjà disponibles au projet à raison d'une pompe par bureau de secteur. En cas de panne des pompes, une simple soupape peut remplacée celles-ci.

Le critère d'arrêt de temps de vidange sera la mesure de valeurs constantes de la conductivité électrique en fonction de temps.

La limitation du suivi des salinités est liée au temps nécessaire pour compléter la procédure de vidange sur chacun des piézomètres et à la mise en oeuvre des pompes. La mesure d'une valeur répondant à cette procédure prendra vraisemblablement 0.5 heure par piézomètre.

9.2 Programmes de travail à moyen et long terme

La définition des programmes de travail passent par la définition des besoins par les organismes techniques oeuvrant dans la vallée. La Cellule est spécialisée en hydrogéologie et par conséquent elle ne peut que contribuer dans les limites de sa science à la réflexion sur les problèmes de l'heure. L'ambition des sujets d'études doit être proportionnelle aux moyens disponibles et autant que possible se limiter à des sujets uniques, précis.

Un encadrement par des organismes ayant déjà affronté de tels sujets d'études serait évidemment souhaitable et passe par la sensibilisation des organismes techniques oeuvrant dans la vallée

Les résultats acquis par la Cellule ont été diffusés sous forme de rapports en plusieurs exemplaires à l'attention de l'OMVS siège, les Etats Membres de l'OMVS et le Centre de Documentation de l'OMVS. Il semble que la lecture des documents soient une activité plus fastidieuse que la tenue de réunions et de séminaires.

Par conséquent, il est recommandé d'établir un calendrier de rencontres regroupant les organismes techniques oeuvrant dans la vallée (ORSTOM, ISRA, SAED, SONADER, CNRADA, les Universités de Dakar, de Nouakchott, etc.) et ayant comme objectifs:

- 1) la diffusion des informations relatives à la Cellule, ses moyens, les données et les résultats acquis depuis le début de ses activités,
- 2) l'incitation de ces divers organismes à exploiter directement les résultats bruts de la base de données non encore traités (définition des procédures de consultation),
- 3) la définition de programme de travail sur le terrain ou de recherche par thème (salinisation des sols, remontée de la nappe, recharge fleuve -nappe, évaporation) en collaboration avec un ou plusieurs de ces organismes.

Cette définition de programme doit correspondre aux besoins du terrain et s'écarter des sujets d'études théoriques.

Le lecteur trouvera quelques recommandations ayant vu le jour dans le cadre des activités du projet lesquelles peuvent servir d'hypothèse de travail dans le cadre des séances d'information, tenue à l'attention des aménageurs et praticiens de la vallée.

9.2.1 Monitoring de la salinisation des sols (recommandation BRGM)

Le phénomène de salinisation des sols relève de la science agronomique. Il est consécutif à un phénomène d'évaporation ou d'évapotranspiration alimenté soit par des eaux déversées en surface (eau d'irrigation dans les zones aménagées de la vallée) soit par des remontées de nappe à proximité de la surface du sol, remontées dues à des phénomènes capillaires. Des phénomènes physico-chimiques liés aux sols en place interviennent également.

L'appréciation quantitative de ce phénomène pourrait être entreprise par la mise en oeuvre de stations hydriques dont les localisations seraient définies en fonction:

- de la géologie des terrains (profils géologiques) et de la pédologie : ces critères seraient abordés avec les organismes d'aménagement agricole (ISRA, SAED, SONADER, etc.),
- de la proximité de la nappe aquifère sous le sol, de ses fluctuations annuelles (exploitation de la banque de données en ce qui concerne les évolutions piézométriques).

- de l'environnement de chaque site (présence de cours d'eau, marigots, zones irriguées...) de sa représentativité des zones sensibles à ce phénomène (critères agronomiques) et de la proximité de stations météorologiques.

Il est proposé de réaliser 4 stations comprenant chacune un équipement standard :

- un piézomètre de faible diamètre tubé jusqu'à la nappe
- une implantation de tensiomètres destinés à mesurer les tensions hydriques dans les terrains non saturés (implantations indicatives de bougies à des profondeurs de 0.20m, 0.40m, 0.60m, 1,0m puis tous les 0.50 m jusqu'au niveau de la nappe).

Il peut être envisagé que les implantations de ces stations soient recherchées sur des lignes de profils piézométriques perpendiculaires au fleuve et à niveau de faibles profondeurs sous le sol. Les évaluations des échanges par évapotranspiration qui en seraient déduites étant reprises dans les procédures de calcul des échanges latéraux fleuve-alluvions, 2 stations seraient implantées à proximité de périmètres agricoles expérimentaux.

Les stations feraient l'objet de mesures mensuelles (piézométrie, tensiométrie et teneur en eau) en nécessitant la disponibilité d'un équipement de terrain incluant une sonde à neutron, ce qui peut induire certaines difficultés.

Les données recueillies permettront d'évaluer, pour chaque période les flux repris par les phénomènes évaporatoires au niveau du sol. Il pourra être requis de réaliser des suivis bi-hebdomadaires en cas de forte variabilité des états d'équilibres

Les flux ainsi calculés seront exploités ultérieurement dans la quantification des échanges aquifères des formations alluviales avec le fleuve.

9.2.2 Échanges hydrauliques latéraux et verticaux avec les formations du Quaternaire (proposition BRGM)

L'exploitation des barrages induit dans le temps et dans l'espace, des changements dans la ligne d'eau du fleuve. Il en résultera que les échanges latéraux seront affectés par ces nouvelles conditions en limite des alluvions.

Déjà abordée en 1984 sur un seul profil (BRGM 1984) puis reprise par EUROCONSUL à l'occasion de la réhabilitation du périmètre irrigué de BOUNDOUN, la quantification de ces échanges sera reprise dans le cadre d'une analyse de plusieurs profils piézométriques perpendiculaires au fleuve, correspondant à la période d'observation du projet et au-delà.

L'accroissement des superficies irriguées et l'augmentation du nombre de saisons agricoles au cours d'un cycle annuel induira dans le temps et dans l'espace, des rehaussements de la surface piézométrique, flux verticaux.

Le réseau piézométrique OMVS met en évidence la disponibilité de 7 profils transversaux aux berges (L1 à L7) dans les limites du delta et de 5 autres profils (L8 à L12) dans les limites des périmètres hydro-agricoles. Leur localisation est visible à la carte #4 de ce rapport.

L'analyse des flux a été amorcée dans ce rapport sur la base de l'examen des évolutions piézométriques enregistrées de juin 87 à décembre 1989 et l'analyse des contextes géologiques et des paramètres hydrodynamiques.

Un comportement piézométrique similaire est observé d'un site à l'autre le long du fleuve montrant toutefois une certaine spécificité pour chacun d'eux, reflétant l'hétérogénéité du milieu aquifère.

Par conséquent, il est recommandé de mettre en oeuvre une ou des modélisations afin de le (les) calibrer sur les évolutions piézométriques relevées sur les profils et de prévoir les flux latéraux et ou horizontaux en fonction des conditions d'exploitation du plan d'eau à venir.

Toutefois, le terme modélisation évoque pour les profanes, les notions de simplicité et d'efficacité. Cette perception est totalement fautive. Autour de ce terme, la confusion a régné depuis l'intervention de M. Bolke, expert USGS.

Un modèle mathématique est un outil précieux s'il trouve une application concrète dans un sujet d'étude et s'il peut être manipulé par une équipe formée à son usage. Une structure comme celle de la Cellule ne peut pas se responsabiliser dans une activité de modélisation quelconque, compte tenu de la composition restreinte de son équipe. Toutefois, il est possible que l'utilisation d'un ou plusieurs modèles mathématiques soit tout-à-fait pertinente à la recherche de réponses aux problèmes posés.

Par conséquent, il est recommandé comme pré-requis à toute action de modélisation de susciter un séminaire regroupant un ou plusieurs spécialistes de la modélisation ayant une expérience des problèmes posés dans les limites de la vallée et une connaissance approfondie des acquis du projet en vue de:

- 1) dresser un inventaire des différents modèles mathématiques susceptibles de répondre aux problèmes posés,
- 2) de mesurer la complexité et les difficultés de mise en oeuvre de ces modèles,
- 3) de dégager divers scénarios de travail possibles en fonction des ressources humaines et financières du moment,
- 4) de retenir une programmation de modélisation.

REFERENCES

- P.N.U.D./F.A.O., 1977. - AG:DP/RAF/65/061, Rapport Technique 1, Etude hydroagricole du bassin du fleuve Sénégal, Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal, Rapport de synthèse des études et travaux.
- SECK S. M., avril 1981 - Université de Saint Etienne, Thèse 81-27, Irrigation et aménagement de l'espace dans la moyenne vallée du Sénégal, participation paysanne et problèmes de développement.
- DACHRAOUI M. A., décembre 1978 - PNUD/FAO/OMVS, Les périmètres villageois de la vallée du fleuve Sénégal, prix du mètre cube d'eau d'irrigation, fascicule 4, DT. 230.
- OMVS\CEPC, sept. 88 - Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal, Haut Commissariat, Département du Développement et de la Coordination, Cellule d'Evaluation et de planification continue, projet RAF/87/036, tableaux de synthèse de la banque de données hydroagricole.
- P. FAGGI, J. BETHEMONT, J. P. BRAVARD, M. DIAKATE, J. L. PEIRY - Revue de Géographie de Lyon, Volume 61, Numéro 1/1986, Des aménagements hydrauliques aux politiques d'aménagement.
- GAC J. Y., CARN M., SAOS J. L. 1986 - L'invasion marine dans la basse vallée du fleuve Sénégal, I - Période 1903 - 1980, ORSTOM, Rev. Hydrobiol. Trop. (): 3 - 17.
- GAC J. Y., CARN M., SAOS J. L. 1986 - L'invasion marine dans la basse vallée du fleuve Sénégal, II - Période 1980 - 1983: proposition d'un nouveau modèle d'intrusion continentale des eaux océaniques, ORSTOM, Rev. Hydrobiol. Trop. (): 93 -108.
- GERSAR, 1983 - Schéma directeur d'aménagement de la vallée du fleuve Sénégal, Titre - Normes d'aménagement, pièce 3, page E.1.
- GERSAR, EUROCONSULT, SIR ALEXANDER GIBB & PARTNER, SONED-AFRIQUE, juin 1989 - Plan directeur de développement intégré pour la rive gauche de la vallée du fleuve sénégal, schéma directeur du delta, Annexe C, schéma hydraulique.
- ISE, 1983 - Le lac de Guiers, problématique d'environnement et de développement, actes du colloque I.S.E., 9 - 11 mai 1983, Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université de Dakar, Dakar, Sénégal, Administration Générale de la Coopération au Développement.
- AID, 1983 - Project Paper, OMVS/GROUNDWATER MONITORING PROJECT (625-0958), Annexe A, page A-5.
- AUDIBERT, 1970 - Etude hydro-agricole du bassin du Fleuve Sénégal, Projet AFR-REG 61, Delta du Fleuve Sénégal, Etude hydrogéologique, I - Généralités et rapport de synthèse, II - Géologie, III - Hydrogéologie, IV - drainabilité.
- SOGREAH, COYNES et BELIER, 1978 - Rapport de phase II, Dossier technique, Mémoires, chapitre 3.
- PALOC 1960 - " Sans titre ", document interne BRGM, gracieusement transmis.
- LALEYE 1964 - Interprétation des fluctuations des nappes du Haut Delta du fleuve Sénégal (Sénégal et Mauritanie), Rapport BRGM DAK65 - A24.
- SAED, 1981 - Quelques observations sur la fluctuation du niveau d'eau dans le Gorom aval en rapport avec l'assainissement du périmètre de Boundoum pendant la campagne 1980/1980. document interne.
- SEDAGRI, 1973 - Etude pédologique, cartes d'aptitudes culturales (34), cartes pédologiques et géomorphologiques (34).

DEH, 1985 - Ministère de l'Hydraulique/Direction des Etudes hydrauliques/ Division Hydrogéologique, Synthèse Hydrogéologique du Sénégal 1984-1985, Etudes géologique structurale par photo-interprétation, géométrie et limite des aquifères souterrains.

SAOS J. L., ZANTE P., 1985 - Le bouchon-barrage de Kheune, son influence sur les eaux de la nappe alluviale et du fleuve, ORSTOM, Centre de Dakar-Hann.

GERSAR, 1983 - Répercussions de la mise en eau du barrage de Diama sur les caractéristiques hydrauliques et chimiques de la nappe alluviale du delta, mission d'expertise, octobre - novembre 1983, République du Sénégal, Ministère du développement Rural, S.A.E.D.

AUDIBERT M., FILIPPI C., 1984 - Influence de la retenue de Diama sur la nappe salée dans le delta du fleuve, rapport d'expertise, BRGM, 84 AGE 037, octobre 1984.

SEBJ, Société d'Énergie de la Baie James, mars 1988 - Service géologique et mécanique des sols, Manuel de l'inspecteur, fascicule no.7, Essai de perméabilité in-situ.

FREEZE et CHERRY, 1979 - Groundwater.

COOPERATION ET DEVELOPPEMENT, 1984 - Mémento de l'agronome, République Française, Ministère des relations extérieures.

PES, 1988 - Rapports d'interprétation des essais de pompage, OMVS, DIR, Projet Eaux Souterraines,

1) Dispositif de pompage RIM/DA001, Résultats et interprétation, carte topographique 1/50 000, 06 SAINT-LOUIS 2C, Fichier DA001.RAP.

2) Dispositif de pompage RIM/DA032, Résultats et interprétation, Carte topographique 1/50 000, 06 SAINT-LOUIS 4A, DA032.RAP.

3) Dispositif de pompage SEN/GA0036, Résultats et interprétation, Carte topographique 1/50 000, 06 SAINT-LOUIS 4A, FICHER GA0036.RAP.

4) Dispositif de pompage SEN/GA0255, Résultats et interprétation, Carte topographique 1/50 000, 06 SAINT-LOUIS 2D, FICHER GA0255.RAP.

5) Dispositif de pompage SEN/GA0264, Résultats et Interprétation, Carte Topographique 1/50 000, 07 DAGANA 1C.

6) Dispositif de pompage RIM/DA083, Résultats et Interprétation, Carte topographique 1/50 000, 07 DAGANA 1D.

PES, 1989 - Caractérisation du milieu agricole aménagé du bassin du fleuve Sénégal, en vue d'évaluer les volumes d'eau liés à l'irrigation dans les limites de la vallée du fleuve Sénégal - besoins connus: 1975 - 1987 - besoins projetés: 1988 - 2000, OMVS/DIR/PES et OMVS/DDC/CEPC, 4 oct. 1989, document interne.

GOLDEN SOFTWARE INC., Surfer - version 4, Reference Manual.

CASTANY G., MARGAT J., 1977 - Dictionnaire Français d'Hydrogéologie, B.R.G.M.

KRUSEMAN G. P., de RIDDER N. A., 1979 - Analysis and Evaluation of Pumping Test Data, Bulletin 11.

ARKIN, HERBERT and COLTON RR - 1970, Statistical Methods, Harper and Row, Publishers, New York, 344 pp.

BUREAU OF RECLAMATION - 1977, Ground Water Manual, U. S. Departement of the Interior, Bureau of Reclamation, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

COGELS (F.X.), GAC (J. Y.) - 1982, Le Lac de Guiers: fonctionnement, bilans hydriques. Evaporation d'une nappe d'eau libre en zone sahélienne (Sénégal), Cahiers O.R.S.T.O.M., série Géologie, Vol XLL, no 1, 1981-1982.

RODIER J. - 1984, L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie, 7 ième Edition, Dunod.

ANDERSON D. R., SWEENEY D. J. and WILLIAMS T. A., 1986 - Statistics Concepts and Applications, West Publishing, CO, New York.

TODD, D. K. - 1977, Groundwater Hydrology, John Wiley, New York, 2nd Edition.

TALSMA, T. - 1963, The Control of Saline Groundwater Laboratory of Physics and Meteorology, Agriculture University, Wageningen, The Netherlands.

VANDENBEUSCH, M. - 1988, Mission de consultant en hydrogéologie de Michel Vandenbeusch, BRGM, 12 septembre 88 - 7 octobre 88, rapport de mission.

**FLEUVE SENEGAL
REGION DU DELTA**

**LARGEUR (m) ET PROFONDEUR (m/0 IGN)
DU LIT MINEUR**

**ENTRE LES BORNES KILOMETRIQUES (PK)
25 KM ET 143 KM**

ANNEXE 1

DELTA DU FLEUVE SENEGAL - PROFIL EN LONG DU LIT MINEUR DU FLEUVE SENEGAL

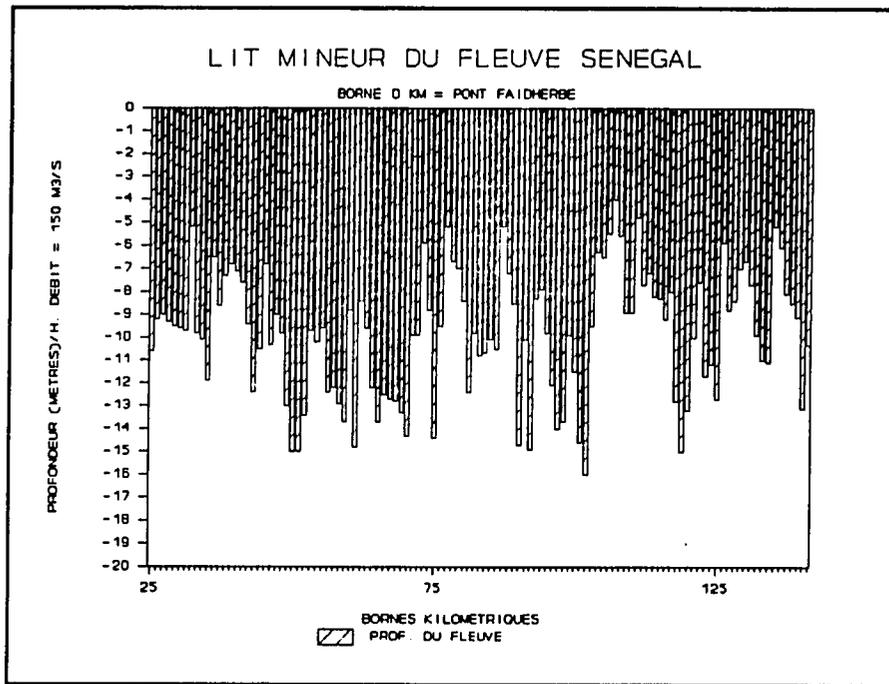


Figure 1 DLT_PROF.PIC

DELTA DU FLEUVE SENEGAL - LARGEUR ET PROFONDEUR MOYENNES DU LIT MINEUR DU FLEUVE SENEGAL

FLEUVE SENEGAL
ENTRE LES BORNES KILOMETRIQUES (PK)
25 KM ET 143 KM

CARACTERISTIQUES	LARGEUR metres	PROFONDEUR metres
MOYENNE	359.0	9.9
ECART-TYPE	101.6	2.7
VAL. MIN.	180.0	4.0
VAL. MAX.	800.0	16.0
NBRE. LECT.	119.0	119.0
DISTANCE (KM)	118.0	118.0
ESPAC. LECT. (Km)	1.0	1.0

REF.: ATLAS NAUTIQUE DU FLEUVE SENEGAL - TOME 1 PAR K. I. BEZUKOV 1971, O.N.U. REG 86

107

DELTA DU FLEUVE SENEGAL - LARGEUR ET PROFONDEUR MOYENNES DU LIT MINEUR DU FLEUVE SENEGAL

(PK) KM	LARGEUR METRES	PROF. METRES	(PK) Km	LARGEUR METRES	PROF. METRES
25	400	7.1	86	460	10.7
26	460	11.4	87	340	10.1
27	300	10.6	88	220	10.5
28	400	9.2	89	400	5.2
29	320	9.0	90	420	7.2
30	520	9.3	91	300	8.5
31	420	9.5	92	320	14.7
32	620	9.6	93	460	10.1
33	720	9.7	94	360	14.9
34	560	5.2	95	420	8.3
35	300	9.8	96	460	7.9
36	260	10.1	97	360	9.8
37	320	11.9	98	260	12.1
38	260	6.5	99	300	14.0
39	240	8.6	100	200	13.7
40	380	7.3	101	340	9.9
41	360	6.8	102	300	11.5
42	320	7.1	103	280	14.6
43	300	7.6	104	260	16.0
44	220	9.4	105	360	9.5
45	400	12.4	106	460	6.3
46	320	10.5	107	500	6.5
47	240	6.8	108	400	5.5
48	360	10.3	109	220	4.0
49	340	9.0	110	540	5.6
50	320	9.8	111	500	8.9
51	260	13.0	112	520	8.9
52	240	15.0	113	320	4.8
53	240	15.0	114	380	7.7
54	200	13.4	115	340	7.2
55	320	9.7	116	500	8.2
56	360	10.2	117	380	8.3
57	360	9.6	118	360	9.2
58	280	12.4	119	400	8.0
59	300	12.2	120	280	12.0
60	360	12.9	121	200	15.0
61	440	13.7	122	300	13.2
62	380	8.8	123	180	10.0
63	280	14.8	124	280	7.6
64	400	8.4	125	360	11.7
65	400	9.6	126	260	11.2
66	240	12.2	127	300	12.7
67	260	13.7	128	260	5.9
68	300	12.5	129	360	8.8
69	360	12.7	130	400	8.4
70	300	12.8	131	360	7.0
71	260	13.3	132	440	6.7
72	320	14.3	133	420	7.7
73	360	9.9	134	440	9.9
75	480	5.9	135	300	11.0
76	400	8.8	136	320	11.1
77	300	14.4	137	340	5.2
78	460	9.5	139	420	8.1
79	800	5.2	140	300	8.5
80	480	6.7	141	280	9.1
81	480	7.0	142	300	13.1
82	300	8.4	143	360	10.3
83	240	12.4			
84	400	9.8			
85	520	10.8			

108

**FLEUVE SENEGAL
REGION DU DELTA**

**VARIATION DES COTES
DES PLANS D'EAU LIBRES**

PERIODE 1987 - 1989

- * SAISON SECHE**
- * SAISON DES PLUIES**

Voir section 2.4, de ce rapport

ANNEXE 2

1. GRAPHIQUE MONTRANT LA VARIATION DES COTES DES PLANS D'EAU DE SURFACE DANS LES LIMITES DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL - PERIODE 15/05/87 AU 15/07/87

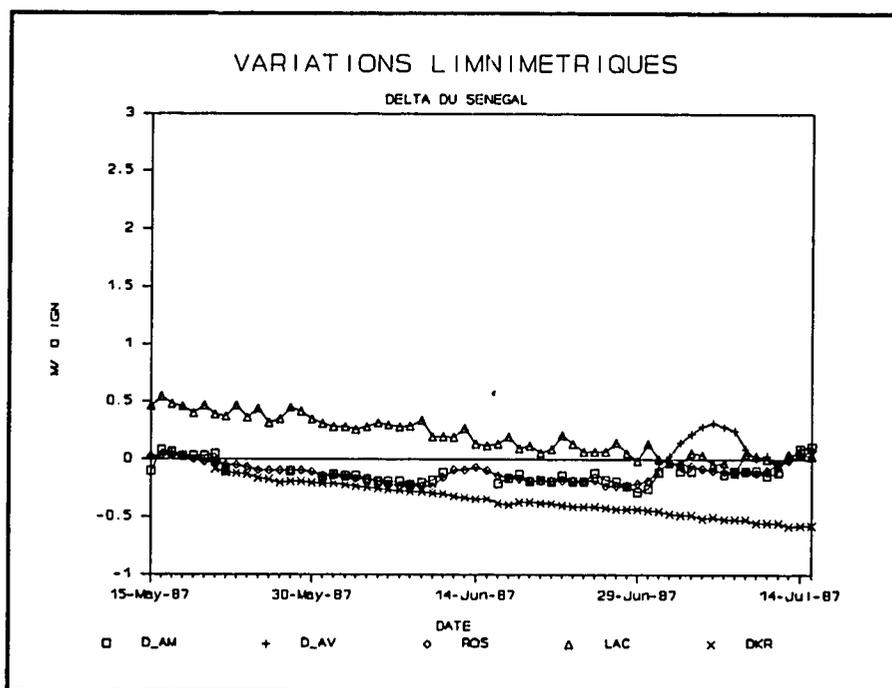


Figure 1 Z_RV8706.PIC

HAUTEURS LIMNIMETRIQUES

STATISTIQUE	AMONT DIAMA	AVAL DIAMA	ROSSO	L. GUIERS	DKR BANGO
NBRE.	47	14	62	62	56
VAL. MIN.	-0.28	-0.05	-0.23	-0.12	-0.58
CAL. MAX.	0.11	0.32	0.08	0.55	-0.08
MOYENNE	-0.12	0.12	-0.11	0.20	-0.35
ECART. TYPE	0.09	0.12	0.08	0.17	0.14

2. GRAPHIQUE MONTRANT LA VARIATION DES COTES DES PLANS D'EAU DE SURFACE DANS LES LIMITES DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL - PERIODE 15/09/87 AU 15/11/87

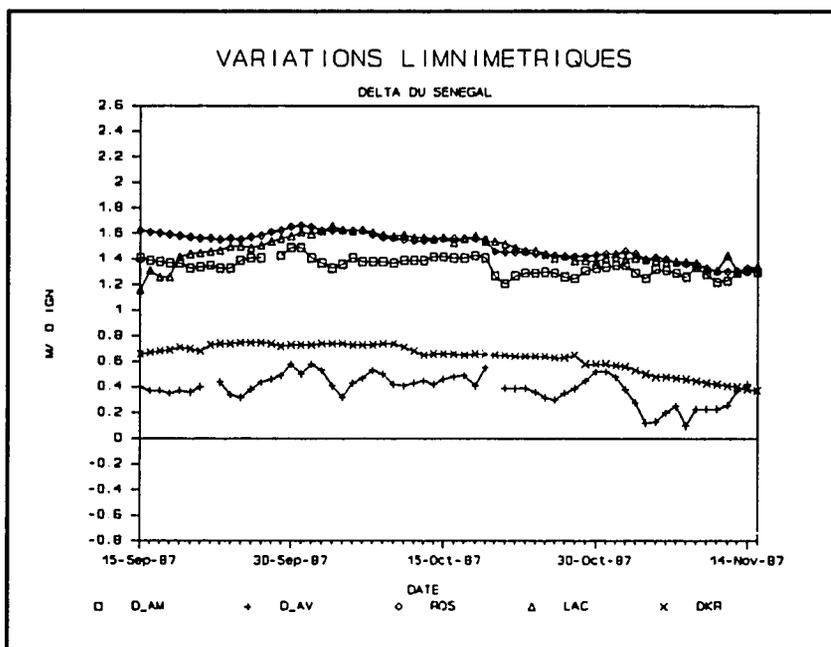


Figure 2 Z_RV8710.PIC

HAUTEURS LIMNIMETRIQUES

STATISTIQUE	AMONT DIAMA	AVAL DIAMA	ROSSO	L. GUIERS	DKR BANGO
NBRE.	61	59	62	62	62
VAL. MIN.	1.21	0.10	1.30	1.16	0.37
VAL. MAX.	1.49	0.59	1.66	1.66	0.75
MOYENNE	1.35	0.39	1.51	1.47	0.63
ECART TYPE	0.06	0.11	0.10	0.11	0.11

3. GRAPHIQUE MONTRANT LA VARIATION DES COTES DES PLANS D'EAU DE SURFACE DANS LES LIMITES DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL - PERIODE 15/05/88 AU 15/07/88

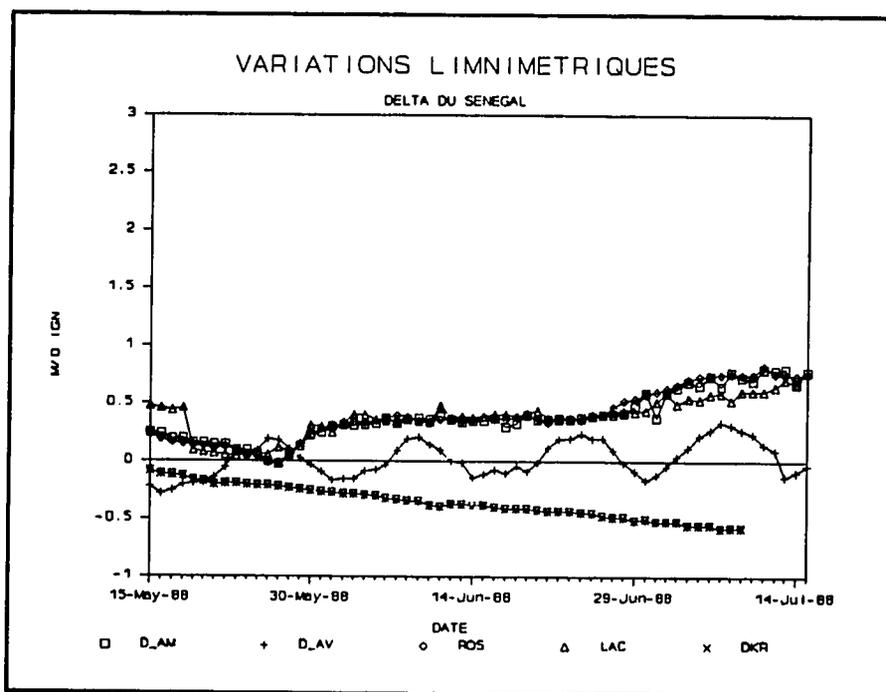


Figure 3 Z_RV8806.PIC

HAUTEURS LIMNIMETRIQUES

STATISTIQUE	AMONT DIAMA	AVAL DIAMA	ROSSO	L. GUIERS	DKR BANGO
NBRE.	62	62	62	61	56
VAL. MIN.	-0.02	-0.28	-0.01	0.05	-0.58
VAL. MAX.	0.80	0.34	0.82	0.71	-0.08
MOYENNE	0.39	0.02	0.40	0.38	-0.35
ECART. TYPE	0.21	0.16	0.23	0.17	14

112

4. GRAPHIQUE MONTRANT LA VARIATION DES COTES DES PLANS D'EAU DE SURFACE DANS LES LIMITES DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL - PERIODE 15/09/88 AU 15/11/88

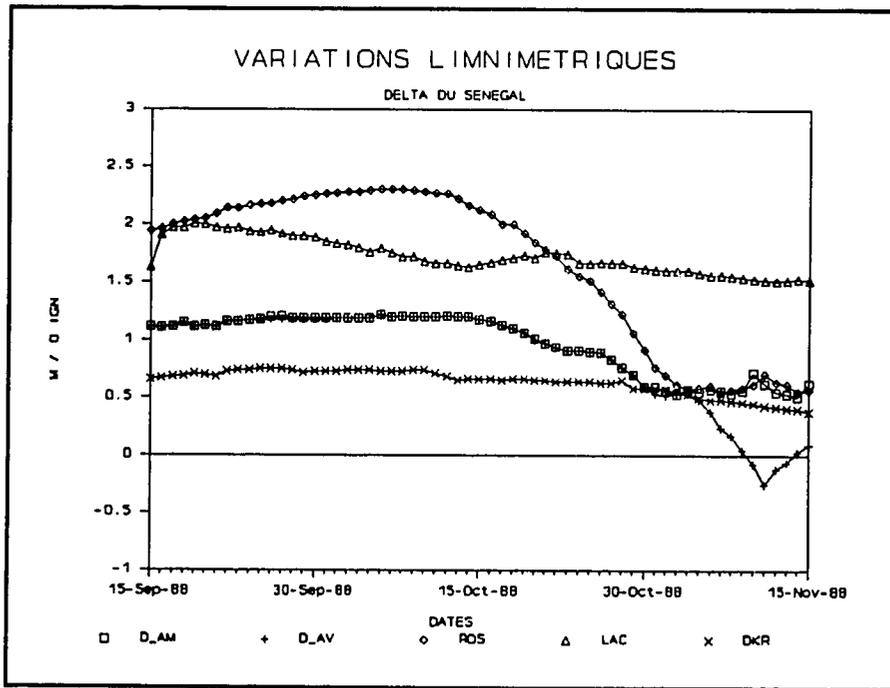


Figure 4 Z_RV8810.PIC

HAUTEURS LIMNIMETRIQUES

STATISTIQUE	AMONT DIAMA	AVAL DIAMA	ROSSO	L. GUIERS	DKR BANGO
NBRE.	61	62	62	61	62
VAL. MIN.	0.5	-0.25	0.54	1.51	.37
VAL. MAX.	1.22	1.22	2.30	2.01	.75
MOYENNE	0.97	0.86	1.64	1.73	.63
ECART TYPE	0.260	.43	0.68	0.15	.11

5. GRAPHIQUE MONTRANT LA VARIATION DES COTES DES PLANS D'EAU DE SURFACE DANS LES LIMITES DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL - PERIODE 15/05/89 AU 15/07/89

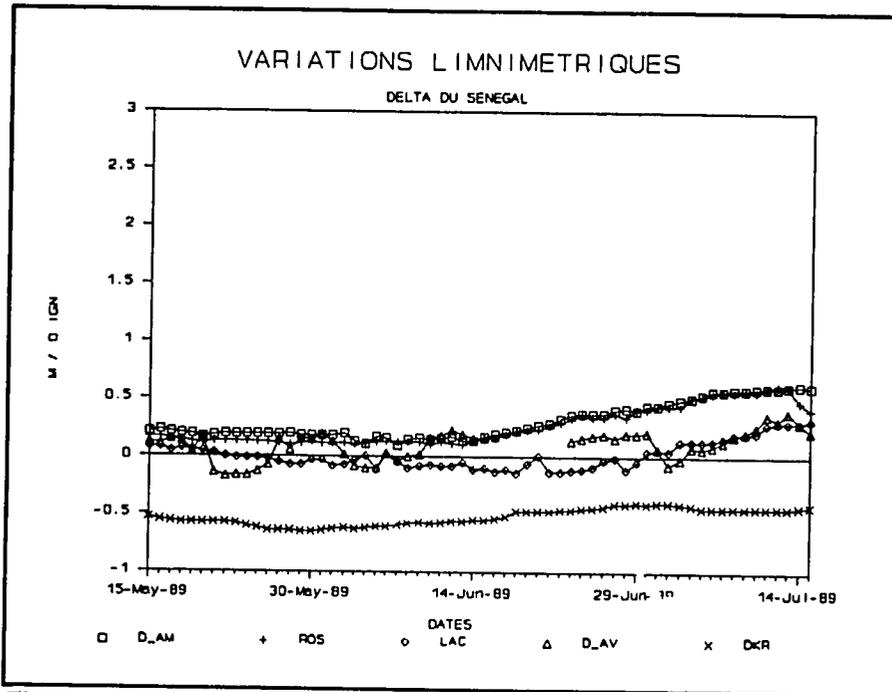


Figure 5 Z_RV8906.PIC

HAUTEURS LIMNIMETRIQUES

STATISTIQUE	AMONT DIAMA	AVAL DIAMA	ROSSO	L. GUIERS	DKR BANGO
NBRE.	62	62	62	56	62
VAL. MIN.	0.10	0.10	-0.14	-0.17	-0.65
VAL. MAX.	0.62	0.62	0.32	0.39	-0.40
MOYENNE	0.30	0.27	0.01	0.10	-0.52
ECART TYPE	0.16	0.17	0.12	0.13	0.08

114

6. GRAPHIQUE MONTRANT LA VARIATION DES COTES DES PLANS D'EAU DE SURFACE DANS LES LIMITES DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL - PERIODE 15/09/89 AU 15/09/89

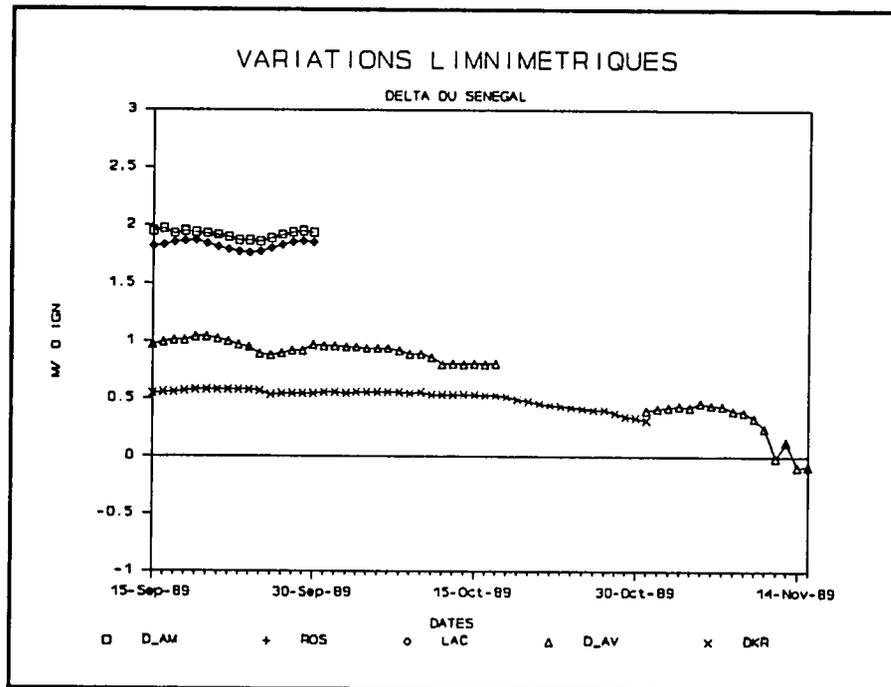


Figure 6 Z_RV8910.PIC

HAUTEURS LIMNIMETRIQUES

STATISTIQUE	AMONT DIAMA	AVAL DIAMA	ROSSO	L. GUIERS	DKR BANGO
NBRE.	16	16	16	49	47
VAL. MIN.	1.86	1.76	1.78	-0.09	0.32
VAL. MAX.	1.97	1.87	1.88	1.04	0.58
MOYENNE	1.92	1.83	1.84	0.72	0.52
ECART TYPE	0.03	0.03	0.08	0.32	0.07

115

**FLEUVE SENEGAL
REGION DU DELTA
RESEAU PIEZOMETRIQUE OMVS
RAPPEL GEOLOGIQUE
ET
DONNEES ACQUISES PAR LE PROJET**

ANNEXE 3

1 GEOLOGIE DU DELTA

1.1 Rappel géologique¹

Le delta du fleuve Sénégal appartient au bassin sédimentaire sénégal-mauritanien. Localisé à l'Ouest de l'anticlinal du Lac de Guiers, il recouvre une zone très subsidente, effondrée par failles.

La première série stratigraphique appartient au Secondaire (Néocrétacé) et n'a pas été captée dans les limites du delta. Désignée *Maestrichtien* (Crétacé supérieur), elle est composée de dépôts transgressifs détritiques - sables et grès avec de rares couches lenticulaires d'argiles. Ces dépôts constituent les principaux aquifères du bassin sédimentaire sénégal-mauritanien².

La seconde série stratigraphique appartient au Tertiaire (Eocène). Elle est composée de dépôts marins, argilo-marno-calcaire du Paléocène. Ils affleurent à l'Est du Lac de Guiers en bordure du delta et recouvrent les sédiments du *Maestrichtien*³.

Après l'exondation de la région, des dépôts sablo-argileux, désignés *Continental Terminal* s'accumulent de l'Oligocène au Pliocène et recouvrent la série argilo-marno-calcaire de l'Eocène. Dans les limites du delta, on les retrouve sous les sédiments du Quaternaire à la hauteur de Rosso en rive droite seulement. Ces sédiments seraient en fait le produit d'une épaisse frange d'altération ayant affecté des sédiments d'origine marine.

L'ère Quaternaire a été marquée par d'importants changements climatiques et une activité tectonique affectant le vieux socle paléozoïque et sa couverture sédimentaire secondaire et tertiaire.

Au cours de cette période, des cuirasses ferrugineuses se forment en surface des dépôts sablo-argileux du *Continental Terminal* suivi:

- * d'une transgression marine envahissant les zones déprimées, provoquant l'accumulation des sédiments de l'*Inchirrien* (Quaternaire). Audibert⁴ subdivise cette série sédimentaire en deux: *Inchirrien I* - représenté par des sédiments argilo-sableux, peu perméables et franchement imperméables vers l'océan Atlantique; *Inchirrien II* - représenté par une succession de couches argileuses et gréseuses,

- * d'un assèchement progressif du climat et à une importante régression marine, provoquant l'accumulation des sédiments éoliens de l'*Ogolien* (Quaternaire),

- * d'une nouvelle transgression marine, permettant l'accumulation des dépôts sableux du *Nouakchottien* (Quaternaire). Audibert⁵ mentionne des sédiments argilo-sableux extrêmement remaniés.

Les dépôts sédimentaires les plus récents, datant du Post- Nouakchottien et de l'époque Actuel/Sub-Actuel, ont été décrits dans les travaux de cartographie pédologique et géomorphologique de la vallée (SEDAGRI, 1973).

Les principaux sédiments sont de type:

- * limono-sableux associés aux hautes levées ,
- * limono-argileux associés aux petites levées et

¹ Réf.: DEH, 1985, section 11.2 et 11.3.

² Réf.: DEH, 1985, voir carte du toit, planche 4.

³ Réf.: DEH, 1985, voir carte du toit, planche 6.

⁴ Réf.: Audibert, 1970, document I, p. 16.

⁵ Réf.: Audibert, 1970, document I, p. 17.

* sablo-limono-argileux associés aux dépôts fluvio-deltaïques.

Les parties hautes du relief s'appellent le Fondé - terme désigné -décrivant les terres exceptionnellement submergées. Les parties basses constituent le Faux Hollaldé - terme désigné - décrivant les terres recouvertes par une crue moyenne.

A des cotes plus basses, on retrouve les cuvettes argileuses de décantation qui occupent à peu près un tiers de la superficie du delta. L'argile lourde, gonflante, à fentes de retrait profondes, tapissant ces cuvettes, est constituée d'un mélange de montmorillonite, kaolinite et illite⁶.

Le lecteur trouvera à la page suivante un schéma de la coupe géologique connue dans les limites du delta permettant de visualiser la position relative et les ages géologiques de chaque série stratigraphique, ci-dessus commentées.

1.2 Données géologiques acquises par le projet

Audibert (1970) a réalisé une étude hydrogéologique à partir de la mise en place de 63 piézomètres équipés. De concert avec une équipe de Quaternaristes, il a décrit les différentes séries stratigraphiques (cadre géologique) de la zone à l'étude (delta). Les différents réservoirs aquifères ont été par la suite identifiés aux différentes séries stratigraphiques Nouakchottien, Inchirrien.

Pour assurer la continuité entre les travaux Audibert(63 piézomètres) et ceux du projet (252 piézomètres dans les limites du delta), les divers terrains traversés par les piézomètres du réseau OMVS ont été rattachés au cadre géologique connu à partir de la confrontation entre les descriptions lithostratigraphiques provenant de l'étude Audibert et celles du projet.

Les histogrammes des figures 1 à 3 permettent de visualiser, dans les limites du delta et pour le réseau piézométrique OMVS, la distribution:

- * des piézomètres (figure 1) et des puits (figure 2) du réseau OMVS par classe de profondeur.
- * des distances d'éloignement (figure 3) aux différents cours d'eau du delta et la description lithostratigraphique au droit de la crépine.

Toutes ces descriptions lithostratigraphiques (piézomètres du projet et ceux provenant de l'étude Audibert excluant les puits villageois généralement non renseignés sur ce sujet) ont été codifiées et saisie sur support informatique dans la base de données OMVS (Groundwater et GES). L'édition de ces informations sont des réalisations importantes de ce projet.

⁶ Réf.: Audibert, 1970, document IV, p.7.

GRAPHIQUE MONTRANT LA DISTRIBUTION DE LA PROFONDEUR DES PIEZOMETRES DANS LES LIMITES DU DELTA

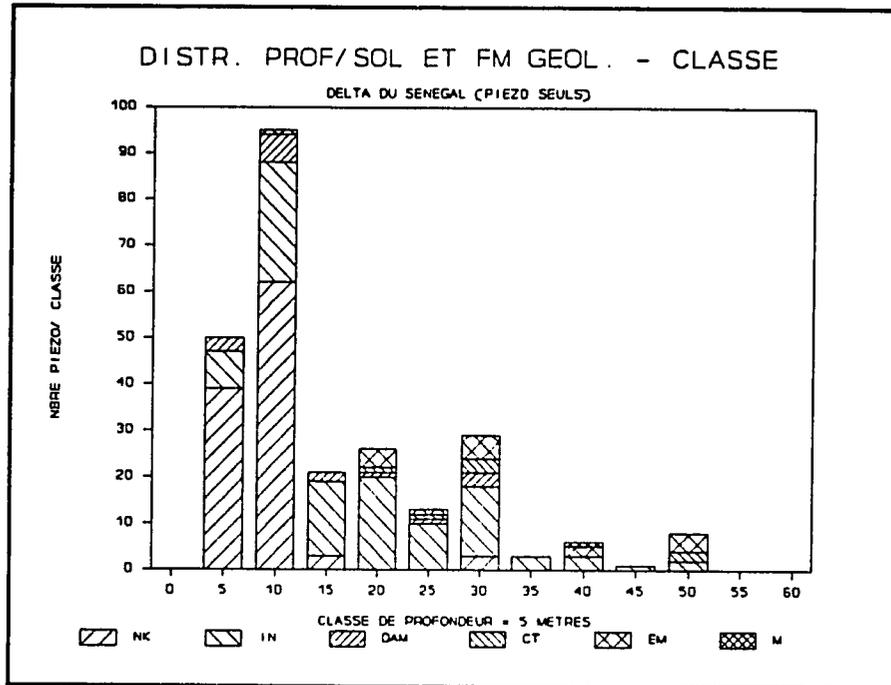


Figure 1 A_GEOL.PIC

DELTA - STATISTIQUES SUR LES PIEZOMETRES

PIEZO	CREPINE M/SOL	DIST. KM
NBRE.	252	252
VAL. MIN.	4	0.037
VAL. MAX.	49.18	9.000
MOYENNE	13.86	2.259
ECART TYPE	11.47	2.125

DELTA - DISTRIBUTION DES PROFONDEURS ET FM GEOLOGIQUES DES PIEZOMETRES

CLASSE	PROF.	NK	OG	IN	QAM	CT	EM	M
0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	50	39	0	8	3	0	0	0
10	95	62	0	26	6	0	1	0
15	21	3	0	16	2	0	0	0
20	26	0	0	20	1	1	4	0
25	13	0	0	10	1	1	1	0
30	29	3	0	15	3	3	5	0
35	3	0	0	3	0	0	0	0
40	5	0	0	3	0	0	2	1
45	2	0	0	1	0	0	0	0
50	8	0	0	2	0	2	4	0
55	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0
HORS CLASSE	0	0	0	0	0	0	0	0

GRAPHIQUE MONTRANT LA DISTRIBUTION DE LA PROFONDEUR DES PUIITS DANS LES LIMITES DU DELTA

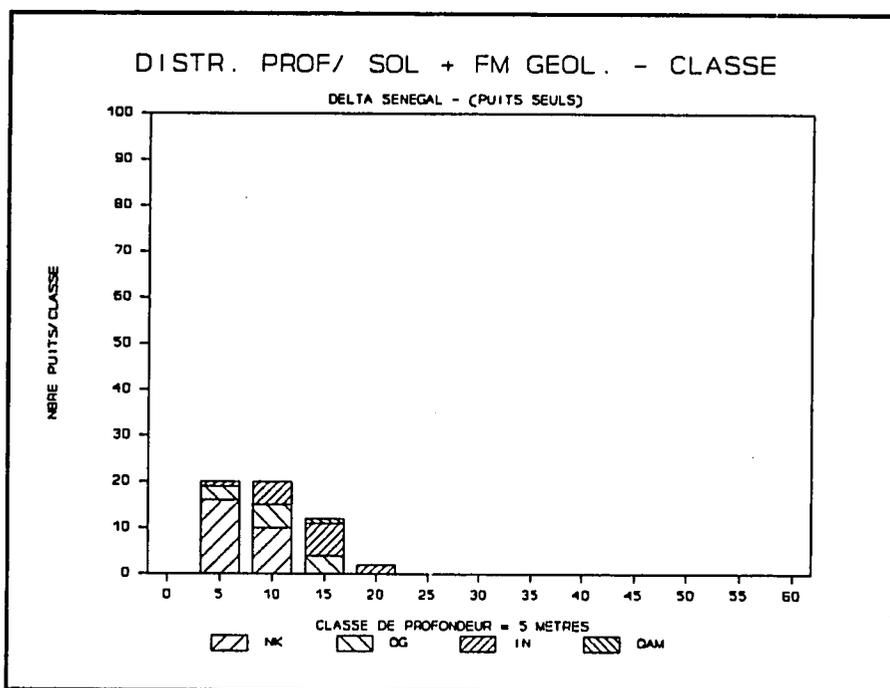


Figure 2 B_GEOL.PIC

DELTA - STATISTIQUES SUR LES PUIITS

PUIITS	BASE M/SOL	DISTANCE KM
NBRE.	54	54
VAL. MIN.	2.00	0.100
VAL. MAX.	18.05	13.300
MOYENNE	7.29	3.752
ECART TYPE	3.70	2.951

DELTA - DISTRIBUTION DES PROFONDEURS ET FM GEOLOGIQUES DES PUIITS

CLASSE	PROF.	NK	OG	IN	QAM	CT	EM	M
0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	20	16	3	1	0	0	0	0
10	20	10	5	5	0	0	0	0
15	12	0	4	7	1	0	0	0
20	2	0	0	2	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	1
45	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0
HORS CLASSE	0	0	0	0	0	0	0	0

121

GRAPHIQUE MONTRANT LA DISTRIBUTION DES OUVRAGES (PUITS ET PIEZOMETRES) PAR RAPPORT AUX PRINCIPAUX COURS D'EAU DANS LES LIMITES DU DELTA

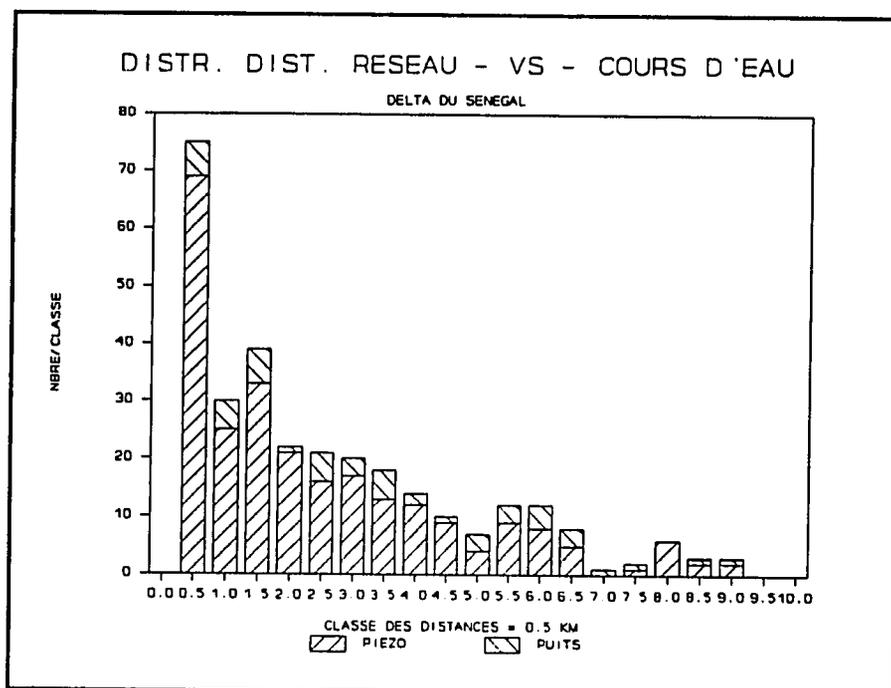


Figure 3 A_B_DIST.PIC

DELTA - DISTRIBUTION DES DISTANCES D'ÉLOIGNEMENT DU RESEAU AU COURS D'EAU

CLASSE DIST. AU COURS D'EAU		
KM	PIEZO	PUITS
0.0	0	0
0.5	69	6
1.0	25	5
1.5	33	6
2.0	21	1
2.5	16	5
3.0	17	3
3.5	13	5
4.0	12	2
4.5	9	1
5.0	4	3
5.5	9	3
6.0	8	4
6.5	5	3
7.0	0	1
7.5	1	1
8.0	6	0
8.5	2	1
9.0	2	1
9.5	0	0
10.0	0	0
CASELESS	0	3

122

1.2.1 Répertoires hydrogéologiques

La totalité des informations géologiques et techniques décrivant, de façon spécifique, chacun des piézomètres localisés dans les limites du delta, suivant un découpage topographique 1:50,000 a été publiée dans les Répertoires Hydrogéologiques accompagnés de leurs Documents Annexes. Les documents annexes contiennent la ou les cartes de compilation du projet (1/50,000) montrant la localisation de tous les ouvrages du réseau OMVS et des différentes sections géologiques produites.

Ces Répertoires Hydrogéologiques accompagnés de leurs Documents Annexes sont disponibles:

- * au Centre de Documentation OMVS, à St-Louis
- * dans les Ministères de l'Hydraulique des Etats Membres de l'OMVS.

Les dépôts sédimentaires captés par les piézomètres du projet concernant principalement les séries stratigraphiques du Quaternaire et, plus secondairement, ceux du Tertiaire. Les dépôts ont été forés jusqu'à une profondeur maximale de 55 mètres/sol et crépinés jusqu'à une profondeur maximale de 49.18 mètres/sol.

1.2.2 Sections géologiques

L'annexe #4 du Volume 2 présente la totalité des sections géologiques produites dans les limites du delta par le projet à partir des descriptions lithostratigraphiques provenant de la mise en place du réseau piézométrique OMVS.

Les sections géologiques forment quatre groupes:

- 1) 13 sections à caractère régional (espacement kilométrique des piézomètres) - annexe 4A,
- 2) 5 sections à caractère local (espacement métrique des piézomètres) perpendiculaire au lit du fleuve Sénégal - annexe 4B,
- 3) 10 sections localisées dans les limites des périmètres hydroagricoles - annexe 4C,
- 4) 6 sections décrivant les sites de pompages - annexe 4D.

1.2.3 Cartes géologiques

Le traitement géostatistique de l'ensemble des données géologiques recueillies dans les limites du delta (projet Eaux Souterraines + Audibert) a permis:

* de dresser les cartes isohypses du toit du:

- * Nouakchottien (sédiment du Quaternaire)
- * Inchirrien (sédiments du Quaternaire)
- * Quaternaire Ancien et Moyen (Quaternaire)
- * Continental Terminal + Eocène (sédiments du tertiaire).

* de produire une carte de localisation des forages renseignés sur les sédiments Ogolien.

Le tracé de ces cartes a été possible suite à un traitement géostatistique (Kriging⁸, méthode du Quadrant⁹, rayon = 15 MTU, 4 points les plus près), appliqué aux cotes IGN du contact des différentes formations géologiques interceptées par le réseau piézométrique OMVS.

Le logiciel SURFER a servi à faire le traitement cartographique et l'impression des cartes ci-après.

1.3 Présentations des cartes géologiques produites

Les descriptions lithostratigraphiques du projet, faites dans les sections suivantes, sont basées sur le décompte statistique des échantillons de sols prélevés au droit des crépines, décrits sur le terrain et confrontés aux résultats d'analyses granulométriques. Il est opportun de noter que le critère d'arrêt des travaux de forages sur le terrain étalait l'atteinte d'un horizon lithostratigraphique perméable. Par conséquent, ce critère induit vraisemblablement un biais dans l'appréciation de l'hétérogénéité et/ou de l'homogénéité des terrains. Les chiffres entre parenthèse (section 1.3.1. à 1.3.5.), ci-après, indiquent le nombre de piézomètres captant la série stratigraphique concernée dans les limites du delta.

1.3.1 Carte du toit du Nouakchottien (NK) ou mur du Post-Nouakchottien (PNK)

Les sédiments (NK), répandus sur la totalité de la superficie du delta, sont sub-affleurants sous le recouvrement des sédiments du (PNK). Le toit (NK) se situe généralement entre les cotes -1 et +1 mètre, à l'exception:

1) du voisinage (rive gauche et droite) du périmètre de Debi où une forte épaisseur des sédiments (PNK) et Sub-actuels est observée.

2) au voisinage du Toundou Birette (et les autres) correspondant à un affleurement des sédiments plus anciens de l'Ogolien. Ce toundou est un aire de discontinuité pour les sédiments (NK).

L'épaisseur des dépôts actuels/subactuels (0/252 piézomètres) varie de zéro à 5 mètres maximum. L'unité géomorphologique sur laquelle se situe le piézomètre conditionne la nature granulométrique des dépôts en surface. La granulométrie de ces dépôts dépend des mécanismes de remplissage des environnements géomorphologiques qui prévalaient dans le passé et varie de l'argile jusqu'au sable. Ces unités géomorphologiques sont délimitées sur les cartes pédologiques et géomorphologiques SEDAGRI.

Les limites d'extension des sédiments (NK) sont au nord comme au sud la frontière naturelle du Ouallo/Dieri.

1.3.2 Carte du toit de l'Inchirrien (IN) ou mur du Nouakchottien (NK)

Les sédiments (IN) , répandus sur la totalité du delta, sont déprimés (-12, -16 mètres) dans un axe orienté O-E coïncidant avec l'axe d'écoulement du fleuve Sénégal entre les villes de Richard Toll et Keur Macène. Cette dépression se situe à l'Est d'un seuil (-8 mètres) localisé à la hauteur du périmètre de Debi. Une seconde dépression, située à l'Ouest de ce même seuil, s'enfoncé vers la mer.

L'épaisseur des sédiments du Nouakchottien (107/252 piézomètres) varie de 4 à 16 mètres. Ces sédiments, relativement homogène verticalement et spatialement, appartiennent régulièrement à la classe des sables fins (échantillons de sols au droit des crépines). De couleur grise à gris/noire, ils renferment parfois des coquillages broyés. L'épaisseur maximale des sédiments (NK) est observée dans la partie centrale du delta à la hauteur du périmètre de Boundoum.

⁸ Réf.: Golden Software, inc., p. 3-26.

⁹ Golden Software Inc., p. 3-33.

La limite Est d'extension des sédiments (IN) est structurale¹⁰. Cette limite se situe à l'Est du lac de Guiers. Dans la partie supérieure de la carte, ces sédiments trouvent leur extension largement au Nord¹¹

1.3.3 Carte de localisation des sédiments Ogolien (OG)

Ces sédiments (OG) n'ont pas d'extension régionale. Ils sont ponctuellement localisés (Toundou) dans les limites du delta. Les forages renseignés sur cette formation sont strictement localisés en bordure de la limite Ouallo/Dieri.

Les sables rouges de l'Ogolien (0/252 piézomètre) ont été traversés à la limite du Ouallo/Dieri. L'épaisseur de ces sables est de 8 à 9 mètres.

Ces sédiments d'origine éolienne reposent sur les sédiments (IN).

1.3.4 Carte du toit des sédiments du Quaternaire Ancien et Moyen (QAM) ou mur des sédiments de l'Inchirrien (IN)

Ces sédiments (QAM) ont été rencontrés strictement dans la partie Est du delta. Leur limite d'extension, du moins dans l'épaisseur forée par les piézomètres OMVS, est une faille supposée¹².

La zone déprimée (-20 mètres) de ces sédiments correspond à l'axe d'écoulement du fleuve Sénégal.

Les sédiments (IN) (104/252 piézomètres) sont beaucoup plus hétérogènes verticalement et spatialement que les sables du Nouakchottien. Gralulométriquement, ils varient de silt à sable moyen. La nature géologique des sédiments est également diversifiée passant de sables coquilliers à un grès faiblement consolidé. Leur épaisseur maximale, observée dans la partie Est du delta, est de l'ordre de 8 mètres.

1.3.5 Carte du toit des sédiments du Tertiaire - Continental Terminal = (CT), Paléocène = (EM) ou mur des sédiments (QAM)

Ces sédiments (CT et EM) ont été rencontrés strictement dans la partie Est du delta. Leur limite d'extension, du moins dans la partie étudiée par les piézomètres OMVS, est une faille supposée¹³.

La zone déprimée (-30 mètres) de ces sédiments correspond à l'axe d'écoulement du fleuve Sénégal.

Les sédiments (QAM) sont subaffleurant, voire affleurant, principalement à l'Est du Lac de Guiers. Leur épaisseur maximale connue à partir des travaux du projet est de l'ordre de 12 mètres.

Les sédiments du Continental Terminal (7/252 piézomètres) sont au droit de leur crépine composés de sables à grains moyens et grossiers et se localisent essentiellement au Nord du fleuve. Leur épaisseur connue à partir des travaux du projet est inconnue.

¹⁰ DNHE, 1985, planche 5.

¹¹ Audibert, 1970.

¹² DNHE, 1985, planche 5.

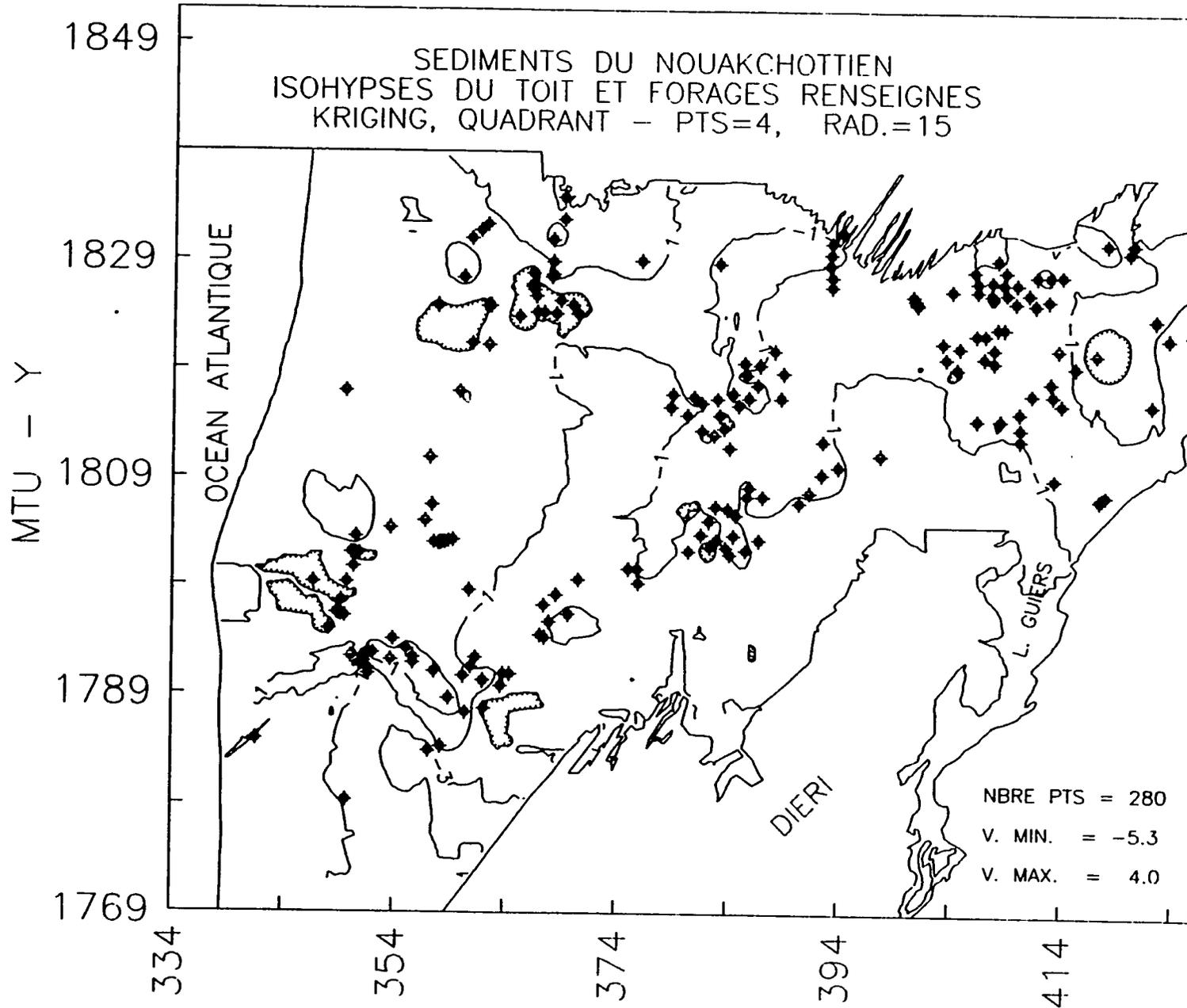
¹³ DNHE, 1985, planche 5.

Les sédiments de l'Eocène (17/252 piézomètres) sont au droit de leur crépine composés de calcaire, toutefois, plusieurs piézomètres ont captés des lits de grès intercalaires coincés dans la masse des roches calcaires. Ces sédiments se localisent au Sud du fleuve autour du lac de Guiers. Leur épaisseur connue à partir des travaux du projet est inconnue.

Les sédiments du Tertiaire constituent le substratum des sédiments du Quaternaire dans la partie Est du delta.

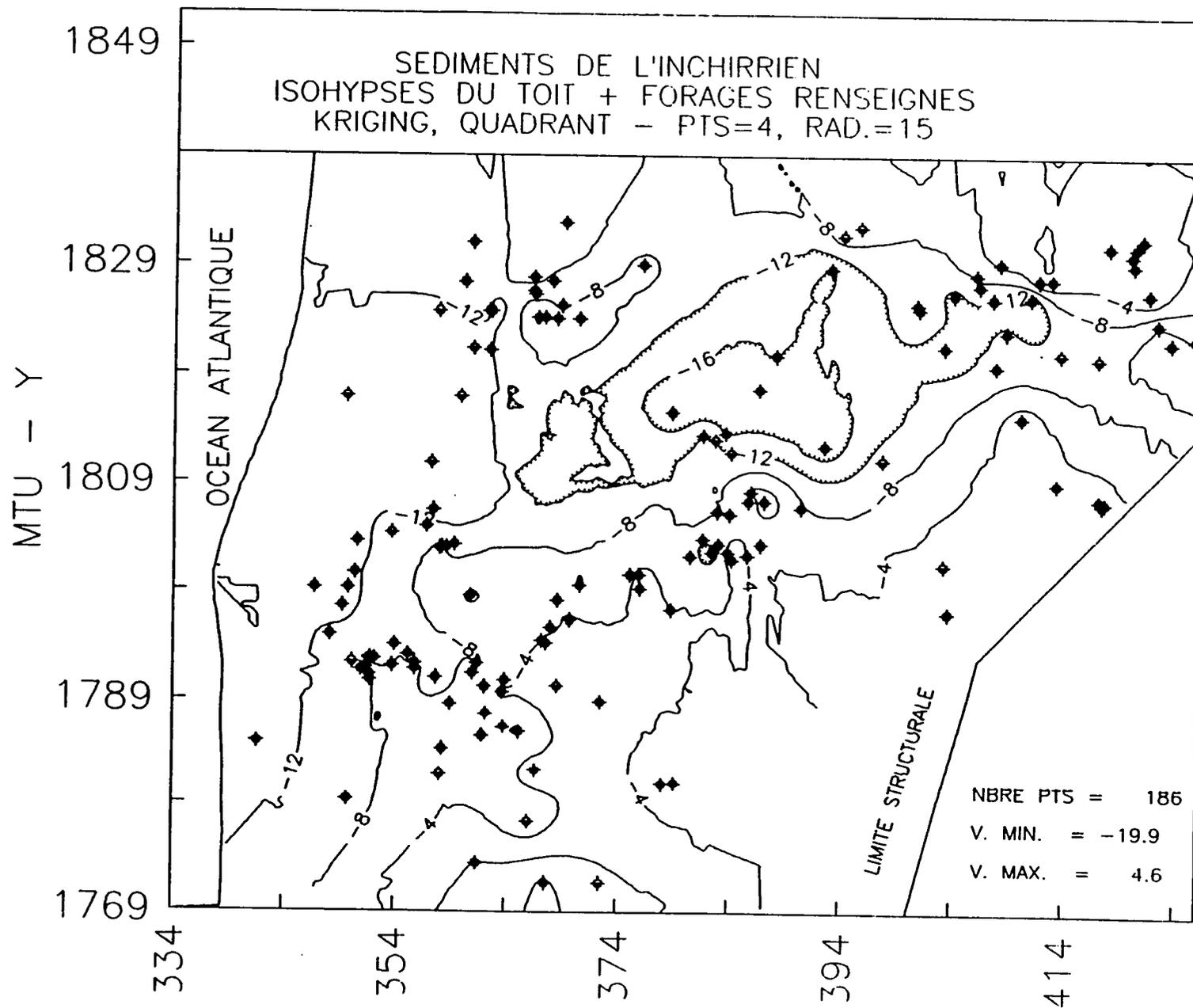
DELTA DU FLEUVE SÉNÉGAL

SCALE :  = 10 Km



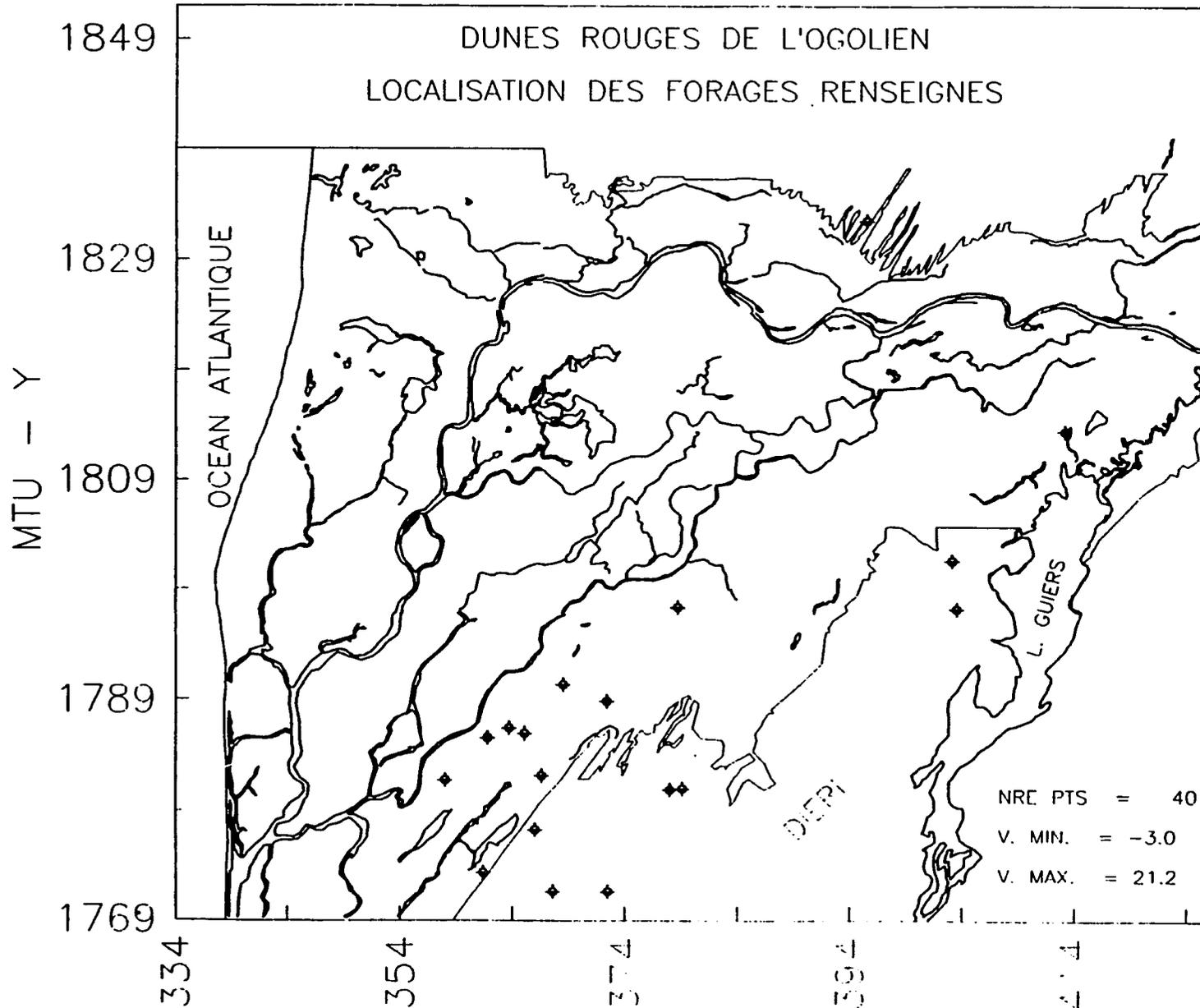
DELTA DU FLEUVE SENEGAL

SCALE :  = 10 Km



DELTA DU FLEUVE SENEGAL

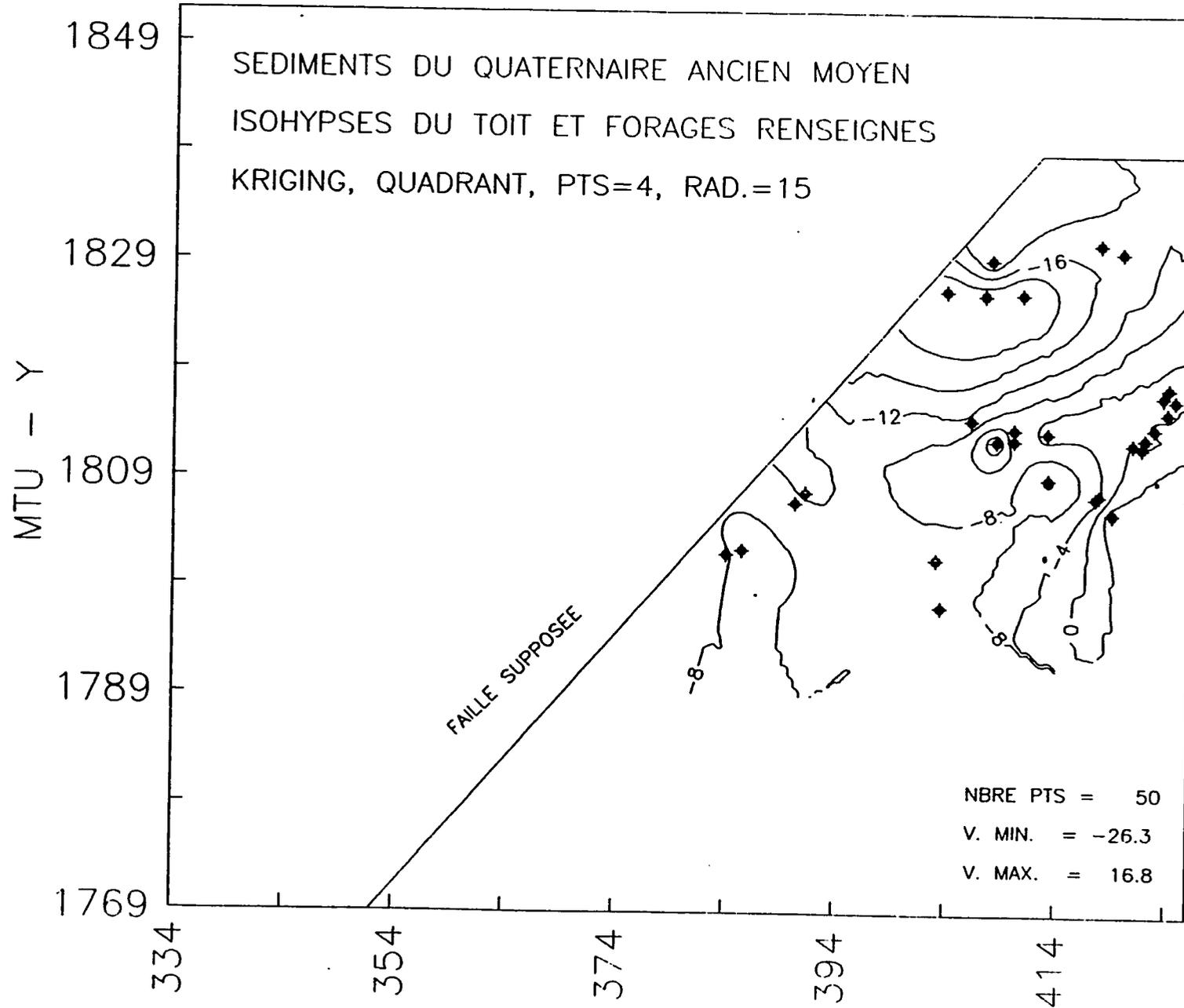
SCALE :  = 10 Km



1/2

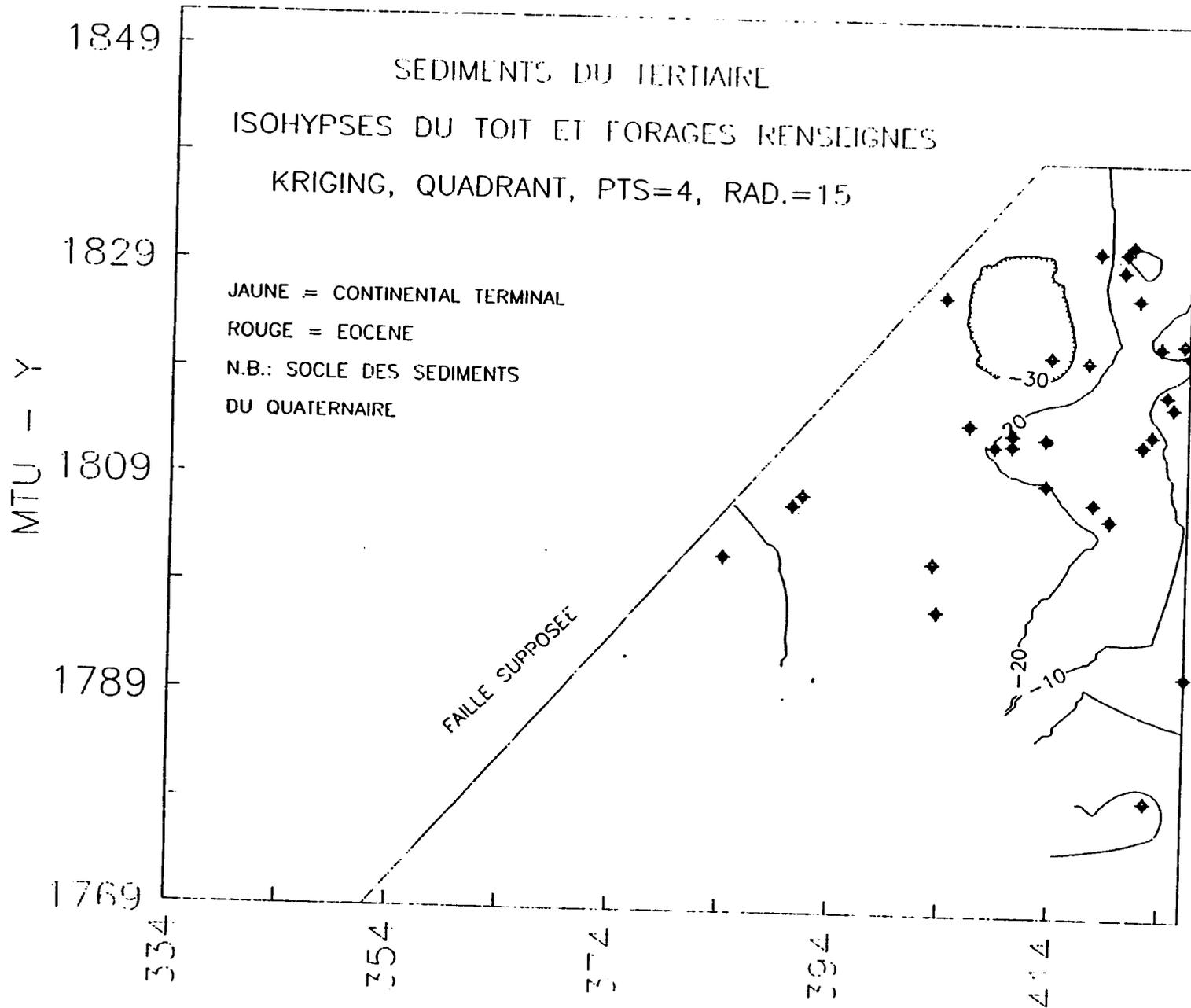
DELTA DU FLEUVE SENEGAL

SCALE :  = 10 Km



DELTA DU FLEUVE SENEGAL

SCALE :  = 10 Km



ANNEXE
PIEZOMETRES
Données extraites de la base GES

DELTA - LISTE DES PIEZOMETRES

PIEZO #	MTUX	MTUY	CREPINE M/SOL	DESCR. SOL	CODE GEOL	COURS- D'EAU	DIST. KM
DA080	421.4	1826.6	15.90	SILT	CT	FL.SENEGAL	2.400
DA075	417.8	1830.8	48.60	SABLE GROS	CT	MARIGOT GARAK	1.500
DA079	421.4	1826.6	23.90	SABLE MOY	CT	FL.SENEGAL	2.400
DA089	420.2	1830.8	29.20	SABLE MOY	CT	MARIGOT GARAK	1.600
DA091	420.8	1831.5	26.00	SABLE MOY	CT	MARIGOT GARAK	1.800
DA055	403.9	1826.4	49.00	SABLE MOY	CT	FL. SENEGAL	0.300
DA077	420.0	1829.2	29.30	SABLE GROS	CT	MARIGOT GARAK	0.300
GA0198	413.1	1813.5	47.46	GRES	EM	LAC DE GUIERS	2.800
GA0192	417.5	1807.5	48.31	CALCAIRE	EM	LAC DE GUIERS	0.063
GA0119	390.3	1806.8	28.80	SABLE FIN	EM	LAMPSAR	8.500
GA0203	406.2	1814.6	47.90	CALCAIRE	EM	LAC DE GUIERS	7.600
GA0146	410.1	1813.8	48.00	CALCAIRE	EM	LAC DE GUIERS	4.000
GA0199	143.1	1813.5	29.10	CALCAIRE	EM	LAC DE GUIERS	2.800
GA0191	417.5	1807.5	17.25	SABLE FIN	EM	LAC DE GUIERS	0.064
GA0201	408.5	1812.7	24.95	CALCAIRE	EM	LAC DE GUIERS	4.300
GA0196	413.2	1809.2	29.19	CALCAIRE	EM	LAC DE GUIERS	0.101
GA0103	384.1	1802.0	38.85	SABLE FIN	EM	LAMPSAR	4.000
GA0195	419.0	1806.0	5.10	SABLE FIN	EM	LAC DE GUIERS	1.800
GA0147	410.1	1812.8	29.50	CALCAIRE	EM	LAC DE GUIERS	4.000
DA083	423.4	1822.2	37.60	CALCAIRE	EMP	FL.SENEGAL	0.300
GA0151	424.0	1817.7	29.15	CALCAIRE	EMP	CANAL TAOUHEY	0.038
GA0160	421.9	1813.0	19.02	SILT	EMP	CANAL TAOUHEY	0.600
GA0155	424.6	1816.6	19.13	SABLE FIN	EMP	CANAL TAOUHEY	0.084
GA0158	422.7	1814.0	18.94	CALCAIRE	EMP	CANAL TAOUHEY	0.600
GA0099	381.5	1803.9	29.95	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	1.500
GA0096	360.9	1791.5	5.05	SABLE GROS	IN	LAMPSAR	2.000
DA002	349.2	1797.6	23.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	4.500
DA033	360.7	1831.0	9.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	5.300
GA0001	357.6	1791.1	19.00	SABLE MOY	IN	DJEUSS	1.800
DA029	369.0	1832.8	29.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	5.600
GA0061	382.9	1816.4	24.20	SILT ARG.	IN	FL. SENEGAL	6.500
GA0094	375.9	1799.3	5.10	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	0.500
DA024	360.0	1827.4	17.00	SABLE MOY.	IN	FL. SENEGAL	0.100
GA0003	355.7	1792.4	19.00	SABLE FIN	IN	DJEUSS	3.200
GA0141	410.0	1815.3	4.90	SILT	IN	LAC DE GUIERS	5.400
GA0004	355.7	1792.4	12.00	SABLE FIN	IN	DJEUSS	3.200
GA0136	403.1	1821.6	18.98	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	5.000
GA0005	353.9	1794.1	19.00	SABLE FIN	IN	FL.SENEGAL	0.800
DA045	408.8	1826.2	7.00	SILT	IN	FL. SENEGAL	1.200
GA0006	353.9	1794.1	13.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	0.800
GA0123	380.4	1802.3	8.95	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	0.200
GA0007	355.1	1793.2	43.50	SABLE FIN	IN	DJEUSS	3.200
DA023	367.9	1827.5	49.02	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	0.100
GA0008	358.9	1788.7	49.18	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	2.800
DA051	411.5	1827.8	10.99	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	2.800
GA0009	361.8	1785.6	24.90	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	1.200

133

PIEZO #	MTUX	MTUY	CREPINE M/SOL	DESCR. SOL	CODE GEOL	COURS- D'EAU	DIST. KM
GA0115	385.8	1808.3	11.00	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	2.000
GA0010	361.8	1785.6	10.47	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	1.200
GA0197	413.2	1809.2	5.20	SABLE FIN	IN	LAC DE GUIERS	0.100
GA0011	357.9	1803.0	19.08	SILT	IN	FL. SENEGAL	0.226
GA0112	383.9	1806.2	7.00	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	2.500
GA0093	375.8	1800.6	5.88	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	0.500
GA0111	383.9	1806.2	28.95	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	2.500
GA0013	358.1	1803.1	18.95	SILT	IN	FL.SENEGAL	0.278
GA0109	386.7	1803.4	8.96	SILT SAB.	IN	LAMPSAR	9.000
GA0092	375.0	1800.6	27.40	SAB. MOYEN	IN	LAMPSAR	0.400
DA063	392.9	1828.7	25.80	SABLE FIN	IN	MARIGOT GOUERE	1.400
GA0091	370.5	1799.6	8.95	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	0.500
GA0105	383.7	1802.7	5.10	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	3.500
GA0016	358.5	1803.1	18.90	SILT	IN	FL. SENEGAL	0.814
DA013	346.7	1799.3	34.80	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	4.400
GA0090	370.5	1799.6	19.05	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	0.400
GA0101	382.3	1802.7	13.50	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	2.000
GA0089	360.7	1798.6	5.76	SILT A / S	IN	LAMPSAR	0.500
DA071	376.0	1829.0	22.00	SABLE MOY	IN	FL. SENEGAL	0.100
GA0019	359.2	1803.3	17.00	SILT	IN	FL. SENEGAL	1.550
GA0054	386.5	1817.7	39.05	SILT S / A	IN	FL. SENEGAL	4.000
GA0020	351.7	1792.9	19.00	SABLE MOY	IN	FL. SENEGAL	0.099
GA0255	386.5	1817.7	37.94	SILT ARG.	IN	FL. SENEGAL	4.000
GA0021	351.7	1792.9	13.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	0.100
DA008	349.7	1779.3	13.82	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	4.400
GA0022	351.7	1792.8	19.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	0.130
DA081	422.2	1823.9	21.80	SABLE MOY	IN	FL.SENEGAL	1.000
GA0023	351.7	1792.8	13.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	0.132
DA084	423.4	1822.2	19.50	SABLE FIN	IN	FL.SENEGAL	0.300
GA0088	368.5	1798.2	4.87	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	0.500
GA0097	361.3	1792.4	9.87	ARGILE	IN	LAMPSAR	2.000
GA0025	351.3	1792.0	21.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	0.800
DA032	360.7	1831.0	28.00	GRES/SABLE	IN	FL. SENEGAL	5.300
GA0026	351.3	1792.0	14.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	0.800
GA0189	417.3	1807.3	5.30	SABLE FIN	IN	LAC DE GUIERS	0.055
GA0027	351.6	1791.4	14.00	SABLE MOY	IN	FL. SENEGAL	1.500
GA0137	403.1	1821.6	38.90	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	5.000
GA0028	351.7	1790.9	17.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	2.000
GA0125	408.6	1823.0	29.48	ARGILE	IN	FL. SENEGAL	0.151
GA0029	368.7	1825.3	28.98	SA.FIN/ARG	IN	FL. SENEGAL	0.800
GA0116	387.0	1807.4	4.90	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	3.500
GA0086	369.6	1796.4	4.90	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	1.300
GA0114	385.6	1807.4	9.50	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	2.500
GA0085	369.6	1796.4	19.30	SILT SAB.	IN	LAMPSAR	1.300
DA058	400.6	1825.5	18.00	SABLE MOY	IN	FL. SENEGAL	0.400
GA0084	367.9	1795.7	16.74	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	0.500
DA062	400.8	1825.1	14.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	0.050
GA0034	366.3	1826.3	9.95	SILT	IN	FL. SENEGAL	1.200

PIEZO #	MTUX	MTUY	CREPINE M/SOL	DESCR. SOL	CODE GEOL	COURS- D'EAU	DIST. KM
GA0104	384.1	1802.0	10.00	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	4.000
GA0083	367.5	1794.3	5.00	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	1.900
GA0100	381.5	1803.9	7.95	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	1.500
GA0082	367.1	1794.5	7.85	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	1.500
DA010	346.7	1799.3	34.55	SABLE MOY.	IN	FL. SENEGAL	4.400
GA0080	363.8	1790.9	5.05	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	0.600
DA005	350.5	1803.6	27.70	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	3.200
GA0038	366.2	1827.8	29.54	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	0.300
DA085	423.4	1822.2	24.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	0.300
GA0079	363.6	1789.8	4.87	SABLE ARG	IN	LAMPSAR	0.600
DA034	360.7	1831.0	24.00	GRES/SABLE	IN	FL. SENEGAL	5.500
GA0078	362.0	1790.3	6.88	SABLE ARG	IN	LAMPSAR	0.600
GA0131	407.7	1819.9	28.55	SILT	IN	FL. SENEGAL	3.000
GA0041	366.6	1824.2	4.85	SILT ARG.	IN	FL. SENEGAL	3.100
DA052	412.7	1827.8	4.88	SABLE MOY	IN	FL. SENEGAL	2.500
GA0042	367.2	1824.2	6.05	SILT ARG.	IN	FL. SENEGAL	2.500
GA0110	382.8	1806.4	29.00	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	1.000
GA0043	368.3	1824.1	10.52	ARG. SILT.	IN	FL. SENEGAL	1.800
GA0102	382.9	1803.4	6.90	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	2.500
GA0076	362.1	1787.8	19.02	SABLE ARG	IN	LAMPSAR	1.300
DA078	420.0	1829.2	8.00	SABLE FIN	IN	MARIGOT GARAK	0.300
GA0045	370.3	1824.1	5.86	SILT SAB.	IN	FL. SENEGAL	1.800
DA003	348.1	1795.0	19.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	1.400
GA0046	388.0	1820.8	29.43	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	1.179
GA0121	392.4	1812.5	28.55	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	1.300
GA0072	358.2	1784.3	11.10	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	1.000
GA0108	385.5	1802.4	6.50	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	5.600
GA0071	358.2	1784.3	19.17	SABLE FIN	IN	LAMPSAR	1.000
DA004	350.3	1800.7	28.70	GRES/SABLE	IN	FL. SENEGAL	3.700
DA001	349.7	1799.3	32.70	SABLE/GRES	IN	FL. SENEGAL	4.400
DA056	403.9	1826.4	22.00	SABLE MOY	IN	FL. SENEGAL	0.300
DA039	406.2	1827.2	12.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	1.100
DA073	405.9	1828.2	12.00	SABLE FIN	IN	FL. SENEGAL	2.000
GA0066	378.7	1815.6	23.92	SILT ARG.	IN	GOROM	0.382
GA0152	424.0	1817.7	41.29	SABLE FIN	M	CANAL TAOUHEY	0.037
GA0049	388.0	1820.8	5.10	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	1.173
GA0117	392.3	1809.5	5.83	SILT SAB.	NK	LAMPSAR	6.500
GA0053	385.7	1816.5	5.10	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	5.500
GA0118	393.8	1810.2	5.22	SILT	NK	KASSAK	2.300
GA0056	386.5	1817.7	5.25	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	4.000
DA049	410.8	1826.2	5.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	1.300
GA0058	384.3	1816.9	4.95	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	5.500
GA0120	390.3	1806.8	4.95	SABLE FIN	NK	LAMPSAR	8.500
GA0060	385.3	1819.7	6.22	SAB. MOYEN	NK	FL. SENEGAL	2.500
GA0113	384.6	1805.7	6.05	SABLE FIN	NK	LAMPSAR	2.900
DA054	412.6	1825.6	5.02	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.300
GA0063	381.5	1816.0	5.10	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	8.000
DA053	413.8	1827.9	4.97	SABLE MOY	NK	FL. SENEGAL	2.700

135

PIEZO #	MTUX	MTUY	CREPINE M/SOL	DESCR. SOL	CODE GEOL	COURS- D'EAU	DIST. KM
GA0065	378.9	1816.8	5.06	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	9.000
DA050	411.4	1825.2	6.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.200
GA0067	378.7	1815.6	4.85	SILT SAB.	NK	GOROM	0.381
GA0052	384.8	1815.8	4.85	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	6.000
GA0069	383.1	1814.9	5.10	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	7.700
GA0057	385.5	1818.6	5.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	3.300
GA0048	388.0	1820.8	4.85	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	1.185
GA0059	386.7	1819.5	5.08	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	2.000
GA0075	360.4	1787.4	5.00	SABLE FIN	NK	LAMPSAR	0.400
GA0051	388.6	1816.5	5.20	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	5.000
GA0077	362.1	1787.8	6.07	SABLE FIN	NK	LAMPSAR	1.300
GA0062	382.9	1816.4	5.10	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	6.500
GA0039	366.5	1825.7	10.46	ARGILE	NK	FL. SENEGAL	0.455
GA0122	392.4	1812.5	7.90	SILT SAB.	NK	LAMPSAR	1.300
GA0081	364.4	1790.9	4.90	ARGILE	NK	LAMPSAR	0.700
DA047	409.6	1825.4	7.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	1.200
GA0035	366.3	1826.3	28.93	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.348
GA0124	408.0	1823.0	6.07	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.281
GA0031	368.7	1825.3	4.99	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.800
DA046	409.7	1827.1	7.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	2.400
GA0087	367.4	1797.2	4.90	SABLE FIN	NK	LAMPSAR	1.000
GA0126	408.0	1823.0	6.01	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.153
GA0018	358.8	1803.2	5.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	1.249
GA0127	408.0	1823.0	6.08	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.233
GA0015	358.3	1803.1	5.05	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.503
GA0128	406.9	1822.4	6.02	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	1.300
GA0012	357.9	1803.0	5.15	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.227
GA0129	406.1	1822.4	4.95	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	2.600
GA0095	360.2	1790.7	5.05	SABLE FIN	NK	LAMPSAR	2.300
GA0130	407.7	1821.1	5.10	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	2.000
DA009	349.7	1799.3	8.54	SABLE MOY.	NK	FL. SENEGAL	4.400
DA044	408.7	1828.2	11.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	2.800
DA074	406.2	1826.4	7.08	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.300
GA0132	407.7	1819.9	5.05	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	3.000
DA069	383.0	1828.8	29.00	SABLE FIN	NK	MARIGOT GOUERE	0.200
GA0133	406.8	1820.3	5.00	SABLE MOY	NK	FL. SENEGAL	3.000
DA067	393.1	1827.6	4.50	SABLE MOY	NK	MARIGOT GOUER	0.800
GA0134	404.6	1821.2	4.98	SILT	NK	FL. SENEGAL	3.800
DA065	393.1	1830.7	5.00	SABLE FIN	NK	MARIGOT GOUERE	3.100
GA0135	403.4	1820.2	4.98	SILT	NK	FL. SENEGAL	5.400
GA0204	406.2	1814.6	6.07	SILT	NK	LAC DE GUIERS	7.600
DA043	408.5	1827.1	5.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	1.700
DA061	400.7	1825.3	5.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.200
DA015	348.8	1796.5	5.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	2.800
DA059	400.6	1825.5	5.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.400
GA0138	403.1	1821.6	5.02	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	5.000
DA027	368.0	1828.9	4.00	ARGILE SAB	NK	FL. SENEGAL	1.600
GA0139	404.4	1819.3	4.95	SILT	NK	FL. SENEGAL	5.200

PIEZO #	MTUX	MTUY	CREPINE M/SOL	DESCR. SOL	CODE GEOL	COURS- D'EAU	DIST. KM
GA0050	388.8	1818.8	5.10	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	2.800
GA0140	408.3	1814.6	7.95	SABLE FIN	NK	LAC DE GUIERS	6.000
GA0070	357.1	1783.9	7.73	SABLE FIN	NK	LAMPSAR	0.500
DA040	407.5	1827.3	5.08	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	1.400
GA0044	369.8	1824.9	6.46	SILT	NK	FL. SENEGAL	0.700
GA0142	411.1	1817.0	5.10	SABLE FIN	NK	LAC DE GUIERS	6.500
GA0037	366.2	1826.8	7.95	SILT	NK	FL. SENEGAL	0.434
GA0143	412.8	1818.1	4.95	SABLE FIN	NK	LAC DE GUIERS	7.300
GA0032	368.7	1825.3	4.90	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.800
GA0144	413.0	1816.9	5.10	SABLE FIN	NK	LAC DE GUIERS	6.100
GA0024	351.2	1792.4	5.00		NK	FL. SENEGAL	0.439
GA0145	413.8	1816.1	5.83	SILT	NK	LAC DE GUIERS	5.400
GA0014	358.1	1803.0	4.86	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.280
DA038	407.4	1826.1	10.81	SABLE MOY	NK	FL. SENEGAL	0.300
DA090	420.2	1830.8	8.05	SABLE FIN	NK	MARIGOT GARAK	1.600
DA016	349.0	1796.4	6.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	2.700
DA070	383.0	1828.8	5.00	SILTLE	NK	MARIGOT GOUERE	0.200
DA017	349.2	1796.3	6.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	2.600
DA066	393.0	1829.7	8.00	SABLE FIN	NK	MARIGOT GOUERE	2.200
GA0149	415.0	1819.5	5.0	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	4.000
DA064	392.9	1828.7	5.00	SABLE FIN	NK	MARIGOT GOUERE	1.400
DA018	349.5	1796.2	6.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	2.500
DA057	403.9	1826.4	7.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.300
DA036	362.1	1832.3	5.00	SILT	NK	FL. SENEGAL	5.800
GA0068	380.2	1814.9	4.95	SILT SAB.	NK	GOROM	0.242
DA035	361.5	1831.7	5.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	5.600
GA0040	365.0	1823.8	4.99	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	2.400
DA019	350.1	1802.1	7.02	SABLE MOY	NK	FL. SENEGAL	3.500
GA0030	368.7	1825.3	5.10	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.800
DA020	350.3	1802.1	6.86	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	3.300
GA0002	357.6	1791.1	9.00	SABLE FIN	NK	DJEUSS	1.800
DA031	369.0	1834.8	8.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	7.800
DA068	393.1	1826.7	7.00	SABLE MOY	NK	MARIGOT GOUERE	0.100
GA0156	421.9	1816.1	6.22	SABLE FIN	NK	CANAL TAOUEY	2.400
DA060	400.4	1825.9	5.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	1.100
DA021	350.5	1802.0	7.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	3.100
GA0047	388.0	1820.8	5.05	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	1.181
DA030	369.0	1832.8	9.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	5.600
GA0017	357.5	1803.1	4.99	SILT	NK	FL. SENEGAL	0.816
DA022	350.8	1802.0	5.50	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	2.800
GA0106	384.4	1803.8	6.95	SABLE FIN	NK	LAMPSAR	4.200
DA028	368.0	1830.9	5.00	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	3.700
GA0036	366.2	1826.6	27.87	SILT	NK	FL. SENEGAL	0.430
GA0064	380.8	1816.6	5.07	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	7.800
GA0098	382.2	1805.1	6.90	ARG.S/SAB.	NK	LAMPSAR	1.300
DA026	368.0	1827.7	4.99	SABLE FIN	NK	FL. SENEGAL	0.500
DA048	410.8	1826.2	29.00	SABLE MOY	QAM	FL. SENEGAL	1.300
GA0150	424.0	1817.7	6.05	SABLE MOY	QAM	CANAL TAOUEY	0.039

127

PIEZO #	MTUX	MTUY	CREPINE M/SOL	DESCR. SOL	CODE GEOL	COURS- D'EAU	DIST. KM
GA0148	410.1	1813.8	7.25	SABLE MOY	QAM	LAC DE GUIERS	4.000
GA0161	421.6	1812.2	4.98	SABLE FIN	QAM	CANAL TAOUEY	0.300
GA0200	413.1	1813.5	10.05	SABLE FIN	QAM	LAC DE GUIERS	2.800
GA0194	419.0	1806.0	24.25	SABLE FIN	QAM	LAC DE GUIERS	1.800
DA037	407.4	1826.1	27.98	SABLE MOY	QAM	FL. SENEGAL	0.300
GA0154	424.6	1816.6	4.93	CALCAIRE	QAM	CANAL TAOUEY	0.082
GA0202	408.5	1812.7	8.12	SABLE MOY	QAM	LAC DE GUIERS	4.300
GA0162	420.8	1812.5	5.03	SABLE FIN	QAM	CANAL TAOUEY	0.300
DA041	408.0	1829.3	11.03	SABLE MOY	QAM	FL. SENEGAL	3.500
GA0157	423.9	1815.4	5.02	CALCAIRE	QAM	CANAL TAOUEY	0.100
GA0159	421.9	1813.0	5.44	SABLE FIN	QAM	CANAL TAOUEY	0.600
GA0153	423.5	1816.9	4.85	SABLE FIN	QAM	CANAL TAOUEY	1.100
GA0107	385.5	1802.4	28.98	SABLE FIN	QAM	LAMPSAR	5.600
DA088	419.8	1830.1	19.90	SABLE FIN	QAM	MARIGOT GARAK	1.100

ANNEXE

PUITS

Données extraites de la base GES

DELTA - LISTE DES PUIITS

PUITS #	MTUX	MTUY	BASE M/SOL	DESCR. SOL	CODE GEOL	WATER-D'EAU	DIST. KM
GB0841	367.9	1785.0	11.70	?	IN	LAMPSAR	8.700
DB233	409.0	1831.5	6.70	?	IN	FL. SENEGAL	5.900
DB235	406.3	1832.0	11.10	?	IN	FL. SENEGAL	5.800
GB0038	360.5	1785.1	11.08	?	IN	LAMPSAR	1.300
GB0126	381.8	1797.1	3.65	?	IN	LAMPSAR	4.800
DB231	411.7	1831.6	6.60	?	IN	FL. SENEGAL	6.400
GB0046	375.2	1783.0	14.75	?	IN	LAMPSAR	13.300
GB0018	355.9	1781.6	12.21	?	IN	LAMPSAR	0.100
DB239	404.1	1836.7	7.40	?	IN	FL. SENEGAL	10.400
GB0005	354.7	1771.6	9.80	?	IN	NGALAM	0.200
DB238	405.5	1835.1	10.30	?	IN	FL. SENEGAL	8.400
DB234	407.7	1831.5	11.10	?	IN	FL. SENEGAL	5.700
DB232	410.7	1831.6	8.70	?	IN	FL. SENEGAL	6.600
DB240	402.1	1836.7	16.00	?	IN	FL. SENEGAL	10.700
DB236	406.1	1833.4	18.05	?	IN	FL. SENEGAL	7.200
GB0842	348.8	1780.8	4.39	?	NK	LAMPSAR	2.000
DB221	367.7	1830.6	5.83	?	NK	FL. SENEGAL	3.200
DB237	348.0	1800.6	3.50	?	NK	FL. SENEGAL	3.500
DB222	360.2	1834.7	5.80	?	NK	MARIG. NDIADIER	2.200
GB0030	357.5	1784.0	4.22	?	NK	LAMPSAR	0.800
DB223	368.1	1830.7	3.85	?	NK	FL. SENEGAL	3.500
GB0025	348.9	1786.1	7.80	?	NK	DJEUSS	3.000
DB224	372.0	1833.8	4.60	?	NK	FL. SENEGAL	6.300
GB0024	348.8	1783.7	4.25	?	NK	DJEUSS	2.500
DB225	375.5	1835.3	3.45	?	NK	FL. SENEGAL	5.500
GB0844	363.3	1789.2	3.65	?	NK	LAMPSAR	1.000
DB226	378.9	1836.2	3.36	?	NK	FL. SENEGAL	5.700
GB0846	364.1	1822.3	4.63	?	NK	FL. SENEGAL	1.000
DB227	383.5	1836.7	5.80	?	NK	FL. SENEGAL	6.400
DB220	390.1	1834.0	4.40	?	NK	MARIGOT GOUERE	5.100
DB228	383.8	1835.7	5.30	?	NK	FL. SENEGAL	5.500
GB0026	349.7	1786.1	5.72	?	NK	DJEUSS	2.300
DB229	404.8	1829.8	4.90	?	NK	FL. SENEGAL	3.600
GB0843	348.8	1783.7	5.25	?	NK	DJEUSS	2.500
DB230	414.5	1831.5	2.70	?	NK	MARIGOT GARAK	3.800
DB245	422.4	1831.0	5.90	?	NK	MARIGOT GARAK	1.100
DB242	417.9	1825.9	5.45	?	NK	FL. SENEGAL	3.100
DB244	420.6	1830.0	5.45	?	NK	MARIGOT GARAK	0.600
GB0035	360.5	1787.0	4.48	?	NK	LAMPSAR	0.400
DB241	413.9	1826.3	4.70	?	NK	FL. SENEGAL	1.100
DB243	418.8	1829.1	4.05	?	NK	MARIGOT GARAK	0.100
GB0002	346.0	1771.2	4.50	?	OG	NGALAM	3.500
GB0021	364.3	1784.4	8.72	?	OG	LAMPSAR	4.300
GB0845	363.0	1785.8	14.85	?	OG	LAMPSAR	2.500
GB0014	353.8	1779.3	6.96	?	OG	LAMPSAR	0.100
GB0045	367.8	1794.5	2.00	?	OG	LAMPSAR	1.500
GB0010	355.3	1778.0	8.28	?	OG	LAMPSAR	1.300
GB0032	359.9	1782.0	11.18	?	OG	LAMPSAR	5.000
GB0008	353.3	1778.0	6.35	?	OG	LAMPSAR	1.500
GB0840	358.6	1780.9	9.72	?	OG	LAMPSAR	3.000
GB0031	362.9	1789.0	11.46	?	OG	LAMPSAR	5.000
GB0039	362.4	1784.5	11.80	?	OG	LAMPSAR	2.700
GB0004	348.5	1773.3	4.44	?	OG	NGALAM	0.300
GB0847	423.1	1812.6	10.63	?	QAM	CANAL TAOUEY	0.600

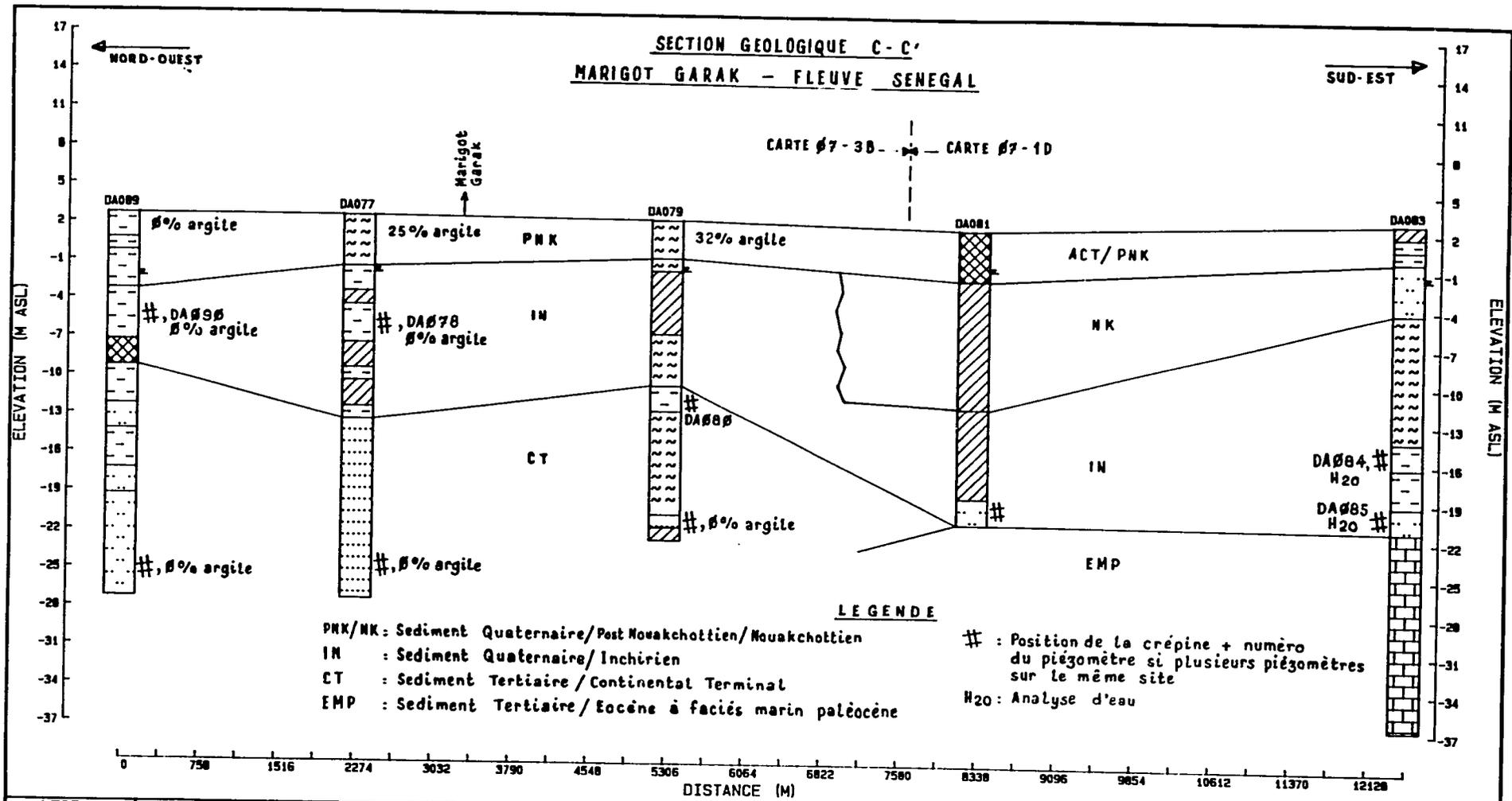
- 140

**FLEUVE SENEGAL
REGION DU DELTA**

RECEUIL DES SECTIONS GEOLOGIQUES

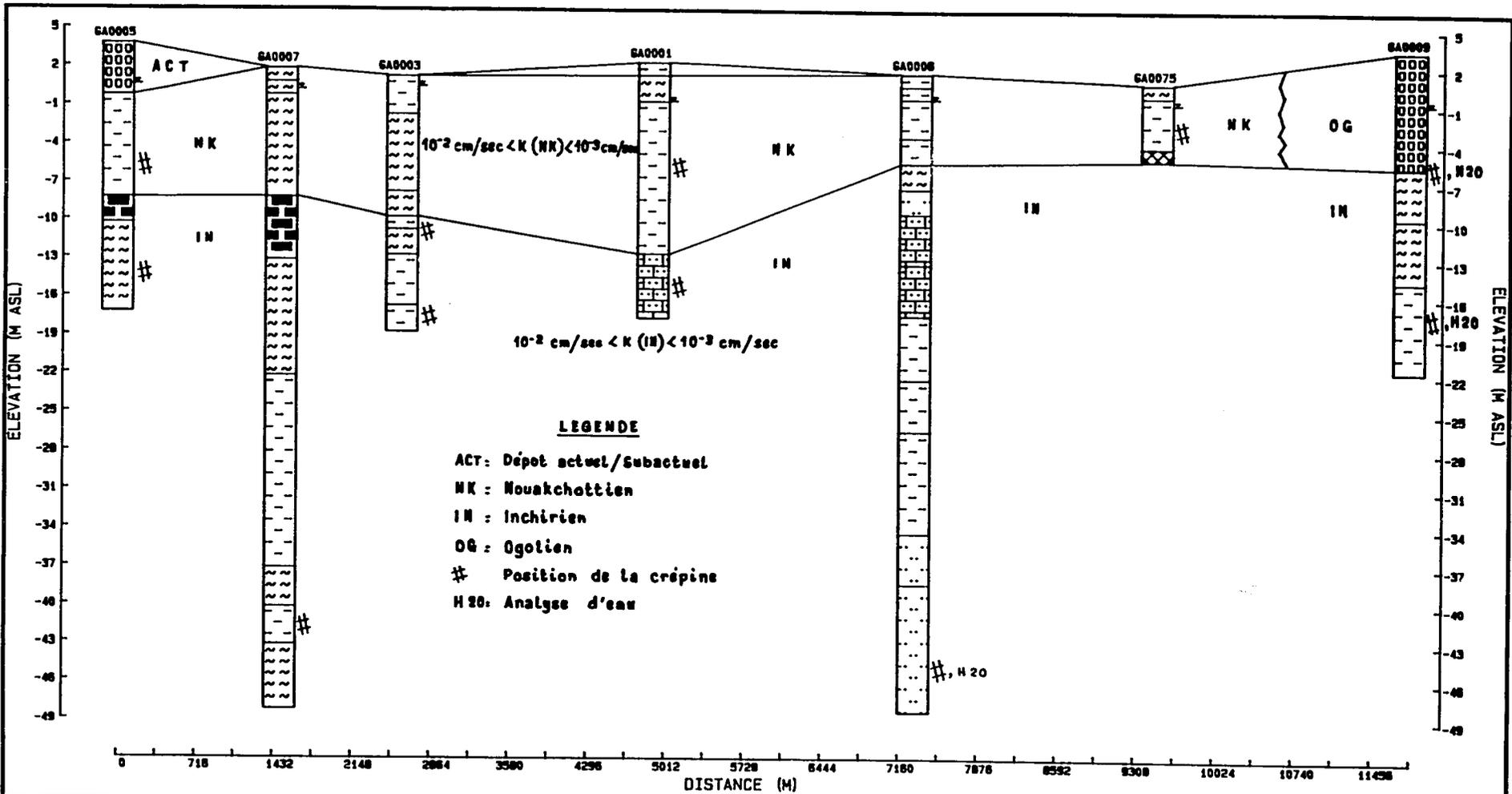
*** 13 sections à caractère régional (espacement kilométrique des piézomètres)**

ANNEXE 4A



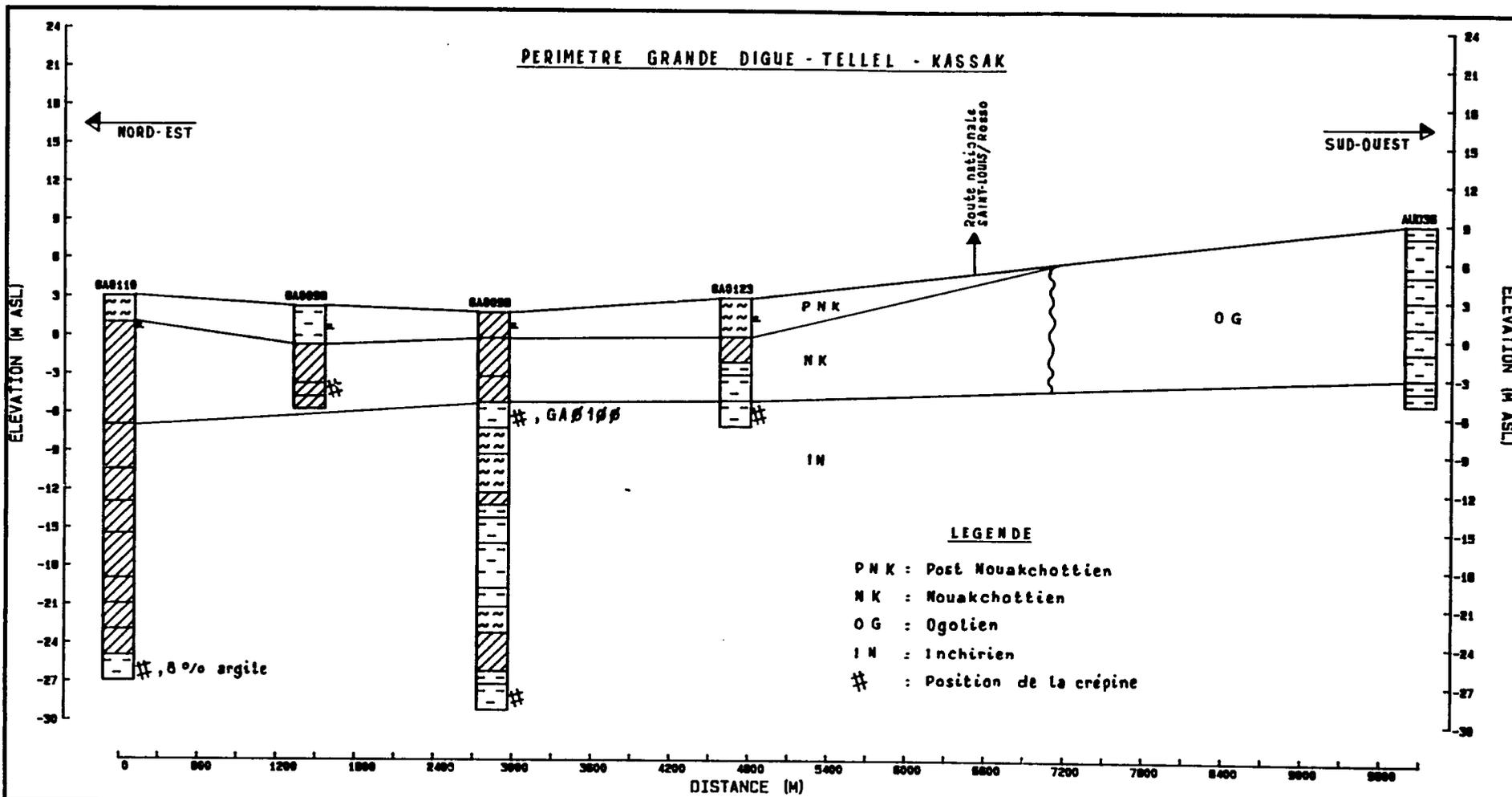
LEGEND		± SML N.S./ SOL : Mi-Mars 87		PROJECT: OMVS/USAID		FIGURE: 073BCC	
	ARG./PLAST.		SA. MOY.		GRAV. GROS.		GRES/SA/CAL
	ARG./SABLE		SA. GROS.		SA. DUNAIRE		CALCAIRE
	SILT		GRAV. FIN		SA. GRAVIL.		SOL ORGAN.
	SA. FIN		GRAV. MOY.		GRES/SABLE		LATERITE
					SA. COQUIL.		SCHISTE
USAID/DAKAR/SENEGAL						GEOLOGIC CROSS SECTION SECTION GEOLOGIQUE	

142



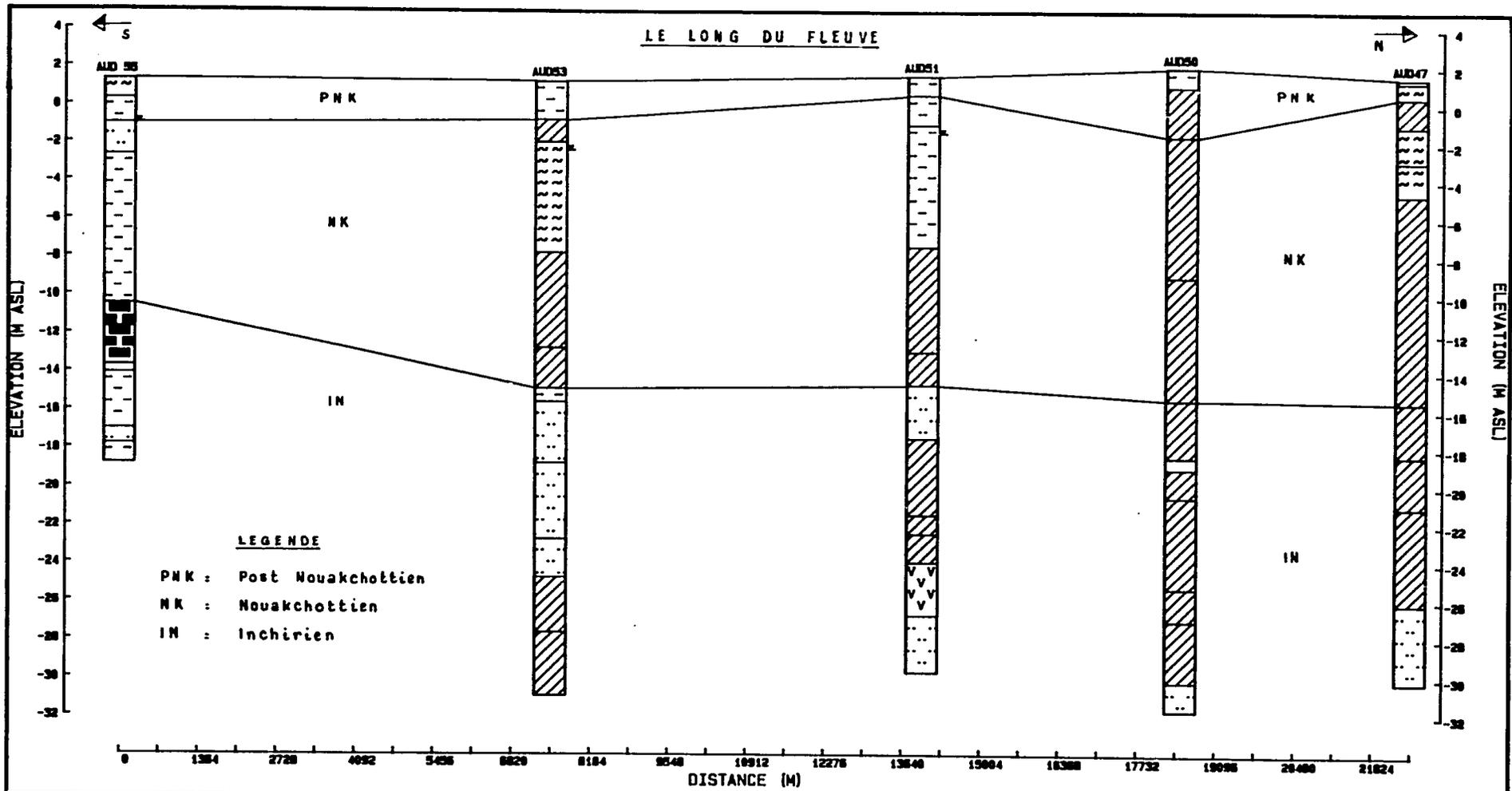
LEGEND ± SWL: N.S. / Sol (Février 1967)				PROJECT: OMVS/USAID						
[Pattern]	ARG./PLAST.	[Pattern]	SA. MOY.	[Pattern]	GRAV. GROS.	[Pattern]	GRES/SA/CAL	[Pattern]	MARNE	FILE: 625-0958
[Pattern]	ARG./SABLE	[Pattern]	SA. GROS.	[Pattern]	SA. DUNAIRE	[Pattern]	CALCAIRE	[Pattern]	SOL ORGAN.	LOCATION: ST LOUIS 2A
[Pattern]	SILT	[Pattern]	GRAV. FIN	[Pattern]	SA. GRAVIL.	[Pattern]	GRES FER.	[Pattern]	LATERITE	FIGURE: AA062A GEOLOGIC CROSS SECTION COUPE GEOLOGIQUE A-A'
[Pattern]	SA. FIN	[Pattern]	GRAV. MOY.	[Pattern]	GRES/SABLE	[Pattern]	SA. COQUIL.	[Pattern]	SCHISTE	
USAID/DAKAR/SENEGAL										

143



LEGEND		± SWL = N.S./Sol (Avril 87)				PROJECT: OMVS/USAID		FIGURE: BB062D	
	ARG./PLAST.		SA. MOY.		GRAV. GROS.		GRES/SA/CAL		MARNE
	ARG./SABLE		SA. GROS.		SA. DUNAIRE		CALCAIRE		SOL ORGAN.
	SILT		GRAV. FIN		SA. GRAVIL.		GRES FER.		LATERITE
	SA. FIN		GRAV. MOY.		GRES/SABLE		SA. COQUIL.		SCHISTE
						LOCATION: ST LOUIS 2D		GEOLOGIC CROSS SECTION COUPE GELOLOGIQUE B-B'	
						USAID/DAKAR/SENEGAL			

15

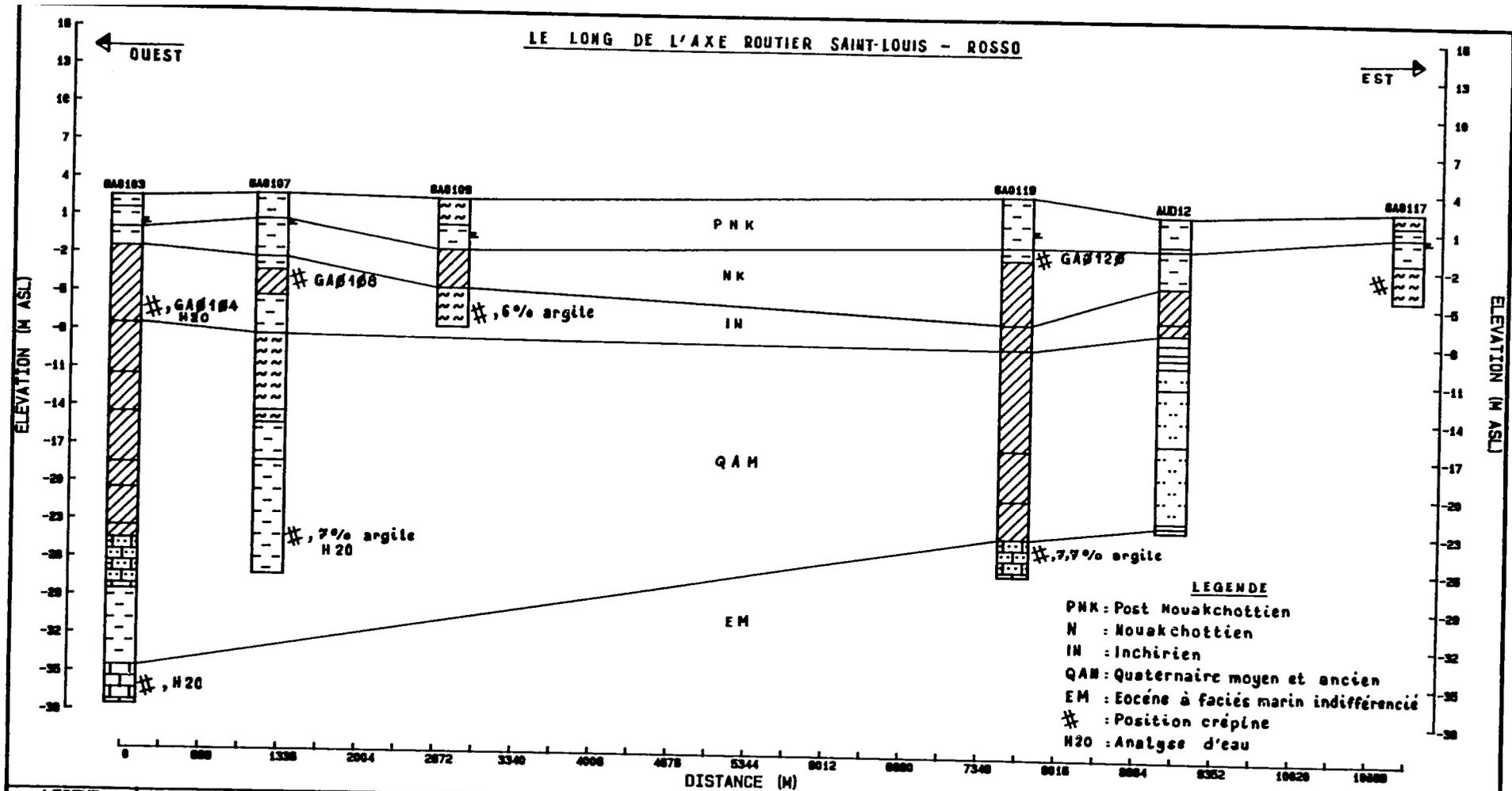


PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: ST LOUIS 2C

FIGURE: 062CAUD
 GEOLOGIC CROSS SECTION
 COUPE GEOLOGIQUE AUD

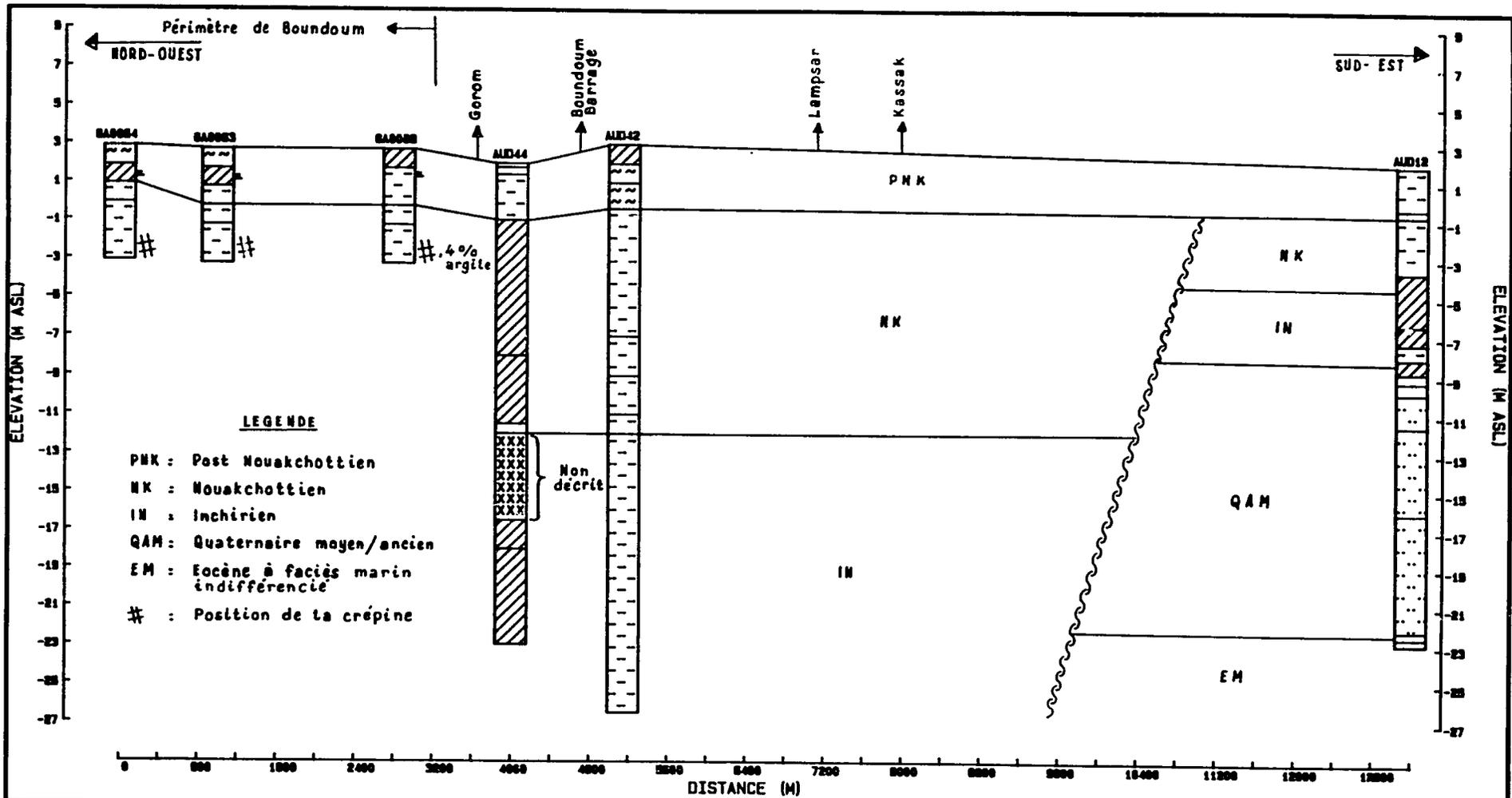
USAID/DAKAR/SENEGAL

146



LEGEND		± SWL = N.S./Sol (02 Avril 1987)		PROJECT: OMVS/USAID		FIGURE: EE062D	
[Pattern]	ARG./PLAST.	[Pattern]	SA. MOY.	[Pattern]	GRAV. GROS.	[Pattern]	GRES/SA/CAL
[Pattern]	ARG./SABLE	[Pattern]	SA. GROS.	[Pattern]	SA. DUNAIRE	[Pattern]	CALCAIRE
[Pattern]	SILT	[Pattern]	GRAV. FIN	[Pattern]	SA. GRAVIL.	[Pattern]	GRES FER.
[Pattern]	SA. FIN	[Pattern]	GRAV. MOY.	[Pattern]	GRES/SABLE	[Pattern]	SA. COQUIL.
[Pattern]		[Pattern]		[Pattern]		[Pattern]	MARNE
						[Pattern]	SOL ORGAN.
						[Pattern]	LATERITE
						[Pattern]	SCHISTE
PROJECT: OMVS/USAID						FILE: 625-0958	
LOCATION: ST-LOUIS-2D						GEOLOGIC CROSS SECTION COUPE GEOLOGIQUE E-E'	
USAID/DAKAR/SENEGAL							

147



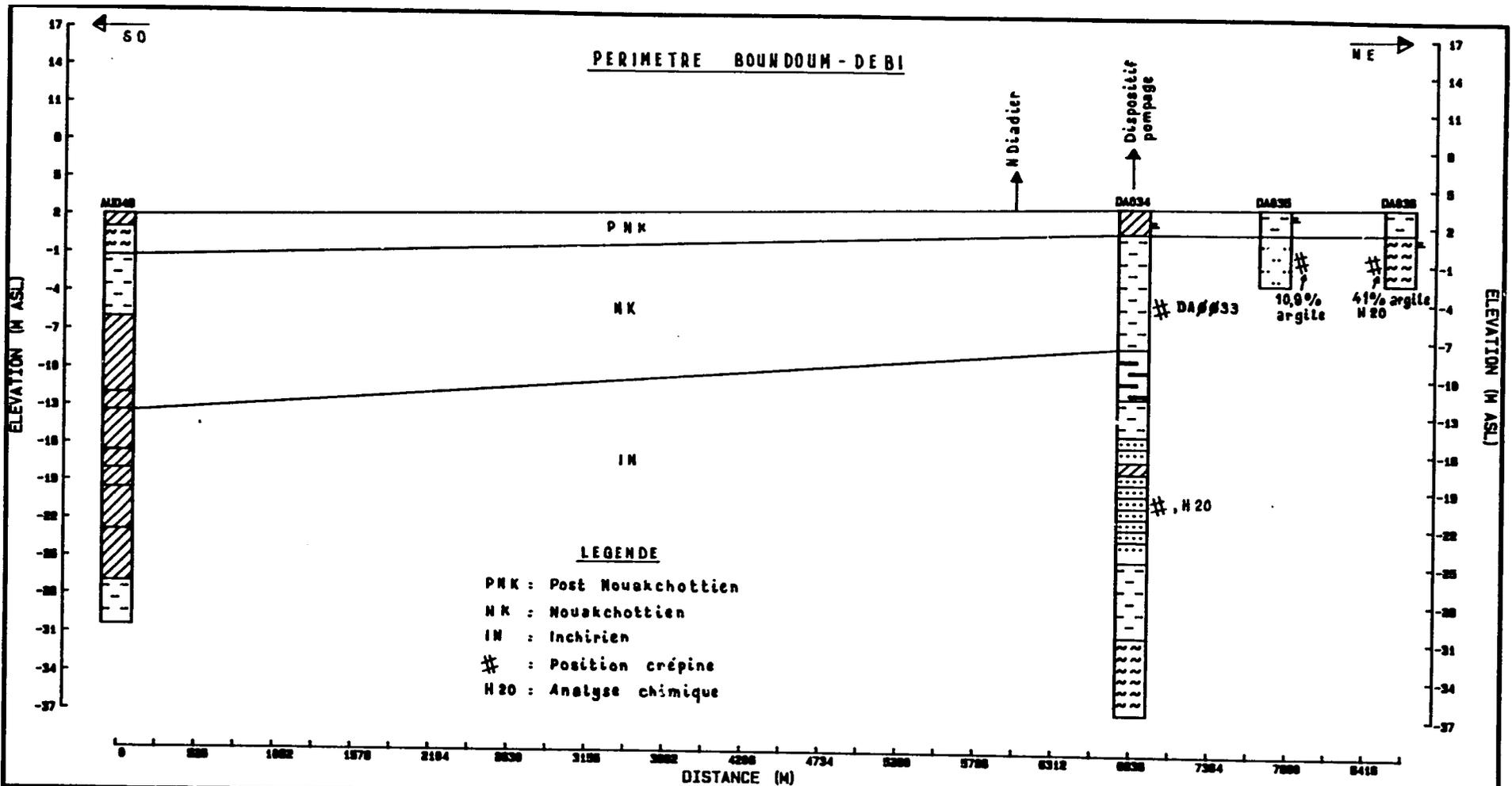
LEGENDE		SML : M.S./Sol (Avril 09)	
ARG./PLAST.	SA. MOY.	GRAV. GROS.	GRES/SA/CAL
ARG./SABLE	SA. GROS.	SA. DUNAIRE	CALCAIRE
SILT	GRAV. FIN	SA. GRAVIL.	GRES FER.
SA. FIN	GRAV. MOY.	SA. COQUIL.	MARNE
			SOL ORGAN.
			LATERITE
			SCHISTE

PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: ST LOUIS 2D

FIGURE: FF062D
 GEOLOGIC CROSS SECTION
 COUPE GEOLOGIQUE F-F'

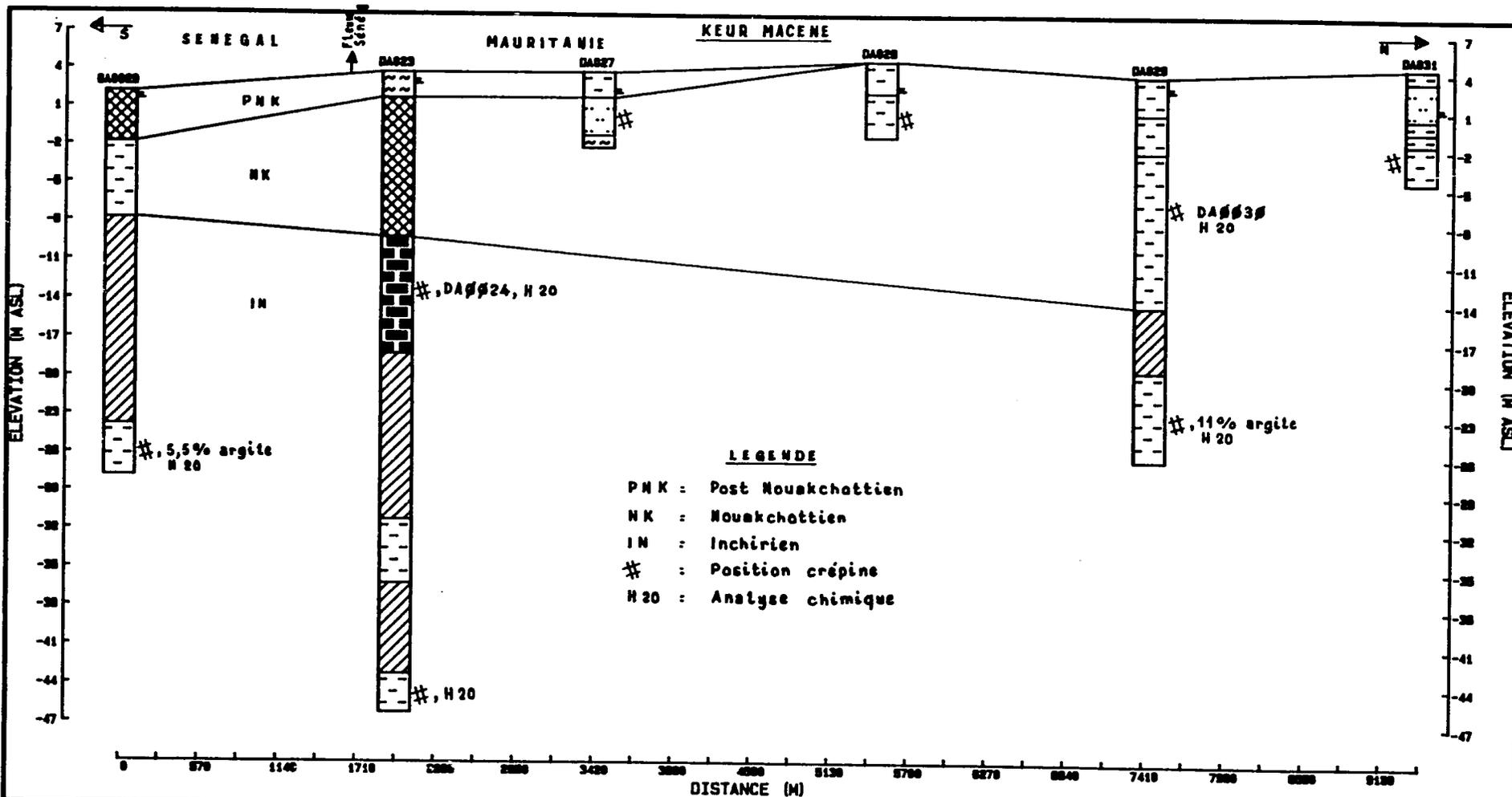
USAID/DAKAR/SENEGAL

1/48



LEGEND		SML : N.S. / Sol (14 février 1987)		PROJECT: OMVS/USAID		FIGURE: AA064A	
ARG./PLAST.	SA. MOY.	GRAV. GROS.	GRES/SA/CAL	MARNE	FILE: 625-0958		
ARG./SABLE	SA. GROS.	SA. DUNAIRE	CALCAIRE	SOL ORGAN.	LOCATION: ST LOUIS 4A		
SILT	GRAV. FIN	SA. GRAVIL.	GRES FER.	LATERITE	GEOLOGIC CROSS SECTION COUPE GEOLOGIQUE A-A'		
SA. FIN	GRAV. MOY.	GRES/SABLE	SA. COQUIL.	SCHISTE			

149



LEGENDE

PNK : Post Nouakchottien
 NK : Nouakchottien
 IN : Inchirien
 * : Position crépine
 H 20 : Analyse chimique

LEGEND a SWL : N.G. / Sol (Mars 1989)

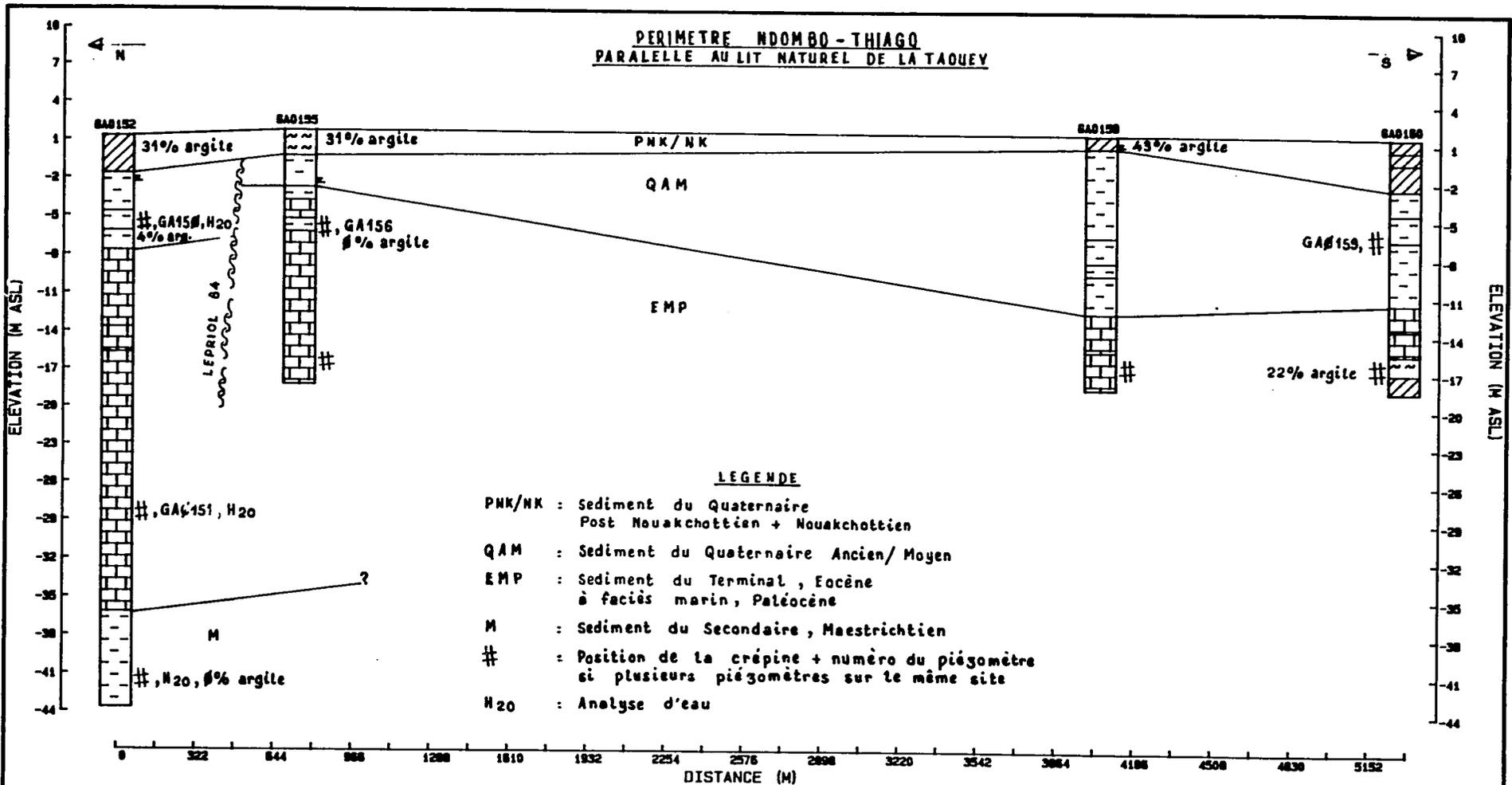
	ARG./PLAST.		SA. MOY.		GRAV. GROS.		GRES/SA/CAL		MARNE
	ARG./SABLE		SA. GROS.		SA. DUNAIRE		CALCAIRE		SOL. ORGAN.
	SILT		GRAV. FIN		SA. GRAVIL.		GRES FER.		LATERITE
	SA. FIN		GRAV. MOY.		GRES/SABLE		SA. COQUIL.		SCHISTE

PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: ST LOUIS 48

FIGURE: AA064B
 GEOLOGIC CROSS SECTION
 CGUPE GEOLOGIQUE A-A'

USAID/DAKAR/SENEGAL

150



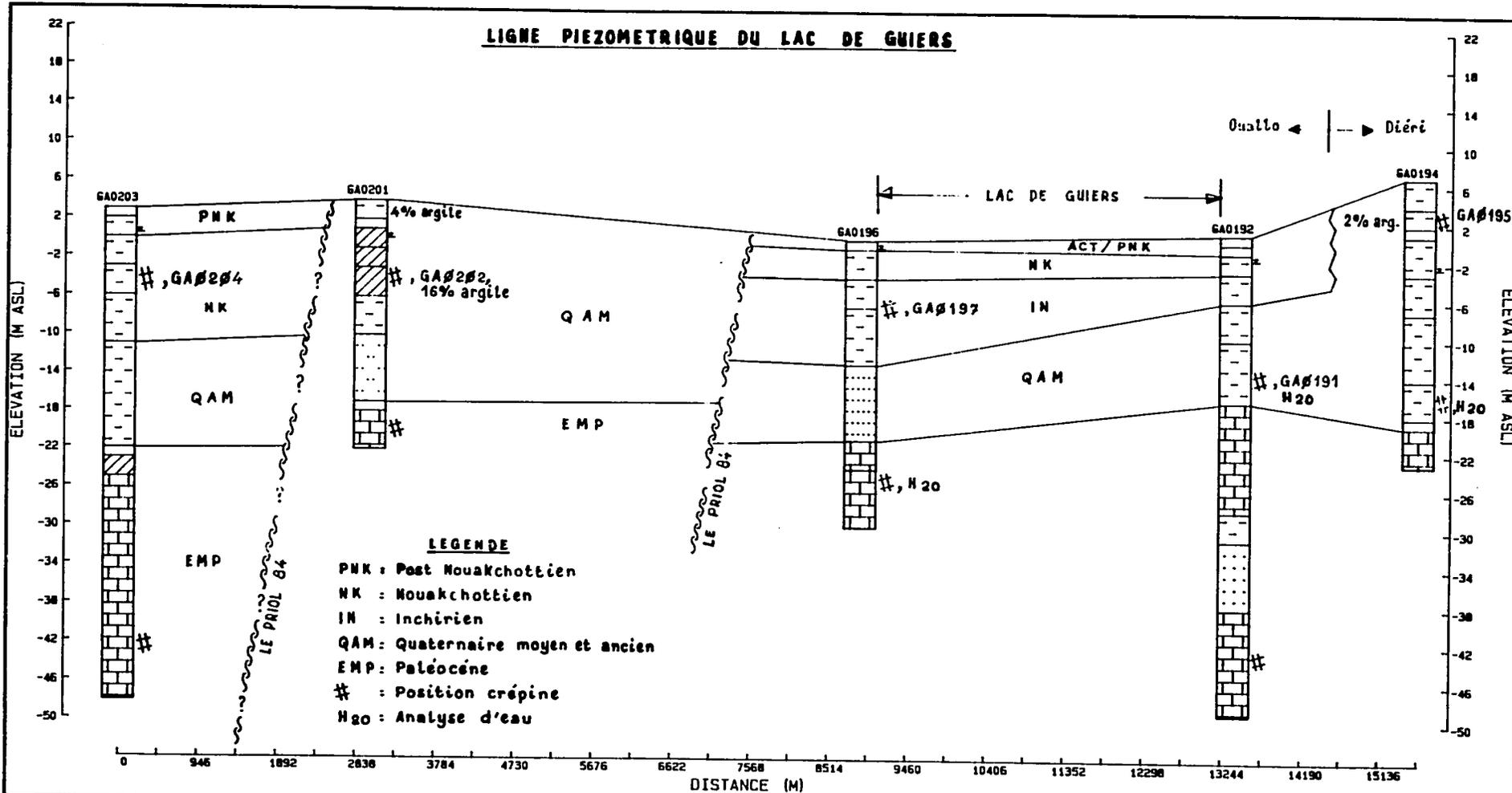
PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: DAGANA 10

FIGURE: 071DAA
 GEOLOGIC CROSS SECTION
 SECTION GEOLOGIQUE

USAID/DAKAR/SENEGAL

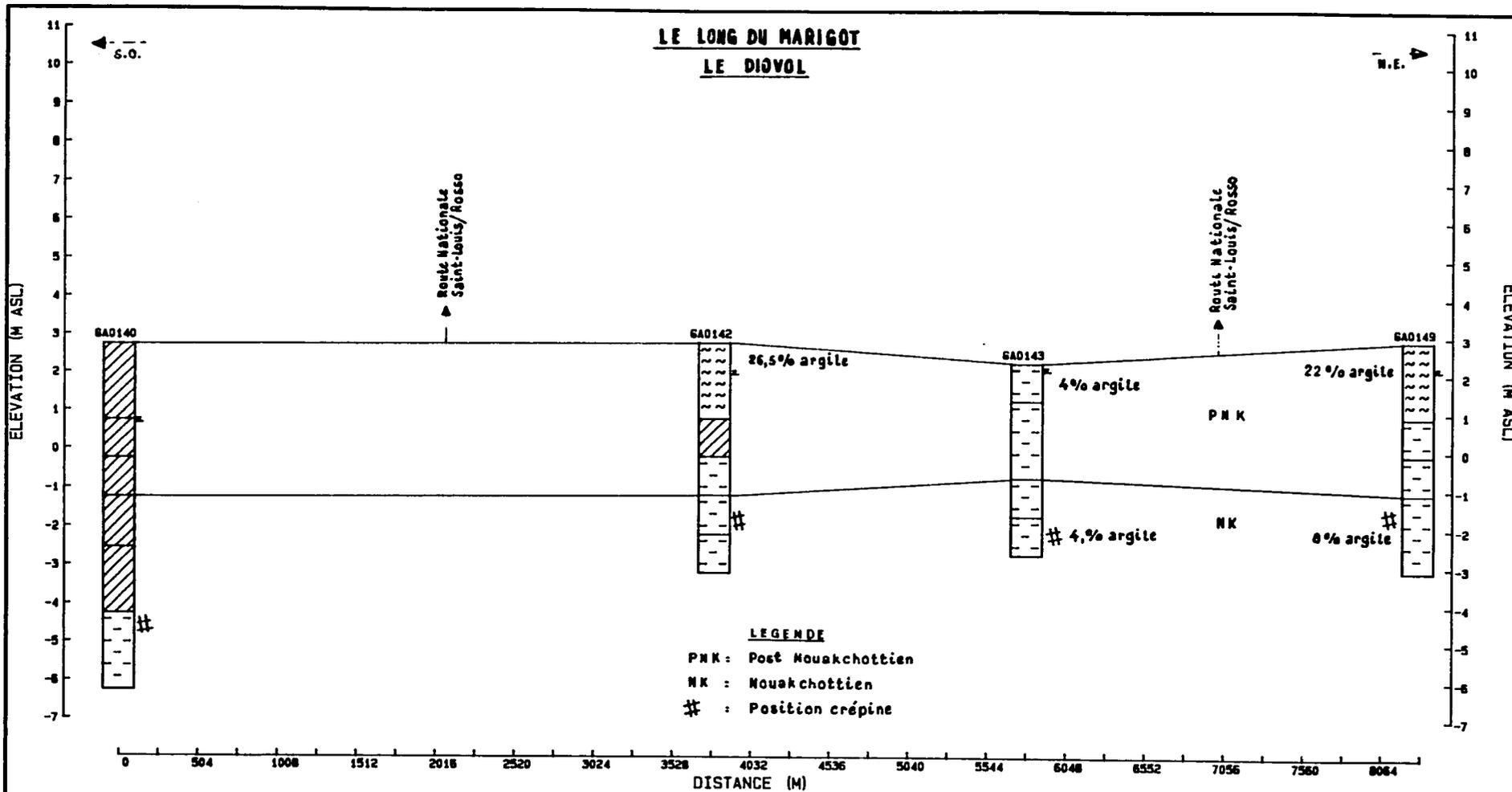
151

LIGNE PIEZOMETRIQUE DU LAC DE GUIERS



LEGEND		x SWL N.S. = Fin Mat 1987		PROJECT: OMVS/USAID		FIGURE: AA071C
<ul style="list-style-type: none"> ARG./PLAST. ARG./SABLE SILT SA. FIN 	<ul style="list-style-type: none"> SA. MOY. SA. GROS. GRAV. FIN GRAV. MOY. 	<ul style="list-style-type: none"> GRAV. GROS. SA. DUNAIRE SA. GRAVIL. GRES/SABLE 	<ul style="list-style-type: none"> GRES/SA/CAL CALCAIRE GRES FER. SA. COQUIL. 	<ul style="list-style-type: none"> MARNE SOL ORGAN. LATERITE SCHISTE 	FILE: 625-0958 LOCATION: DAGANA 1C	
USAID/DAKAR/SENEGAL						

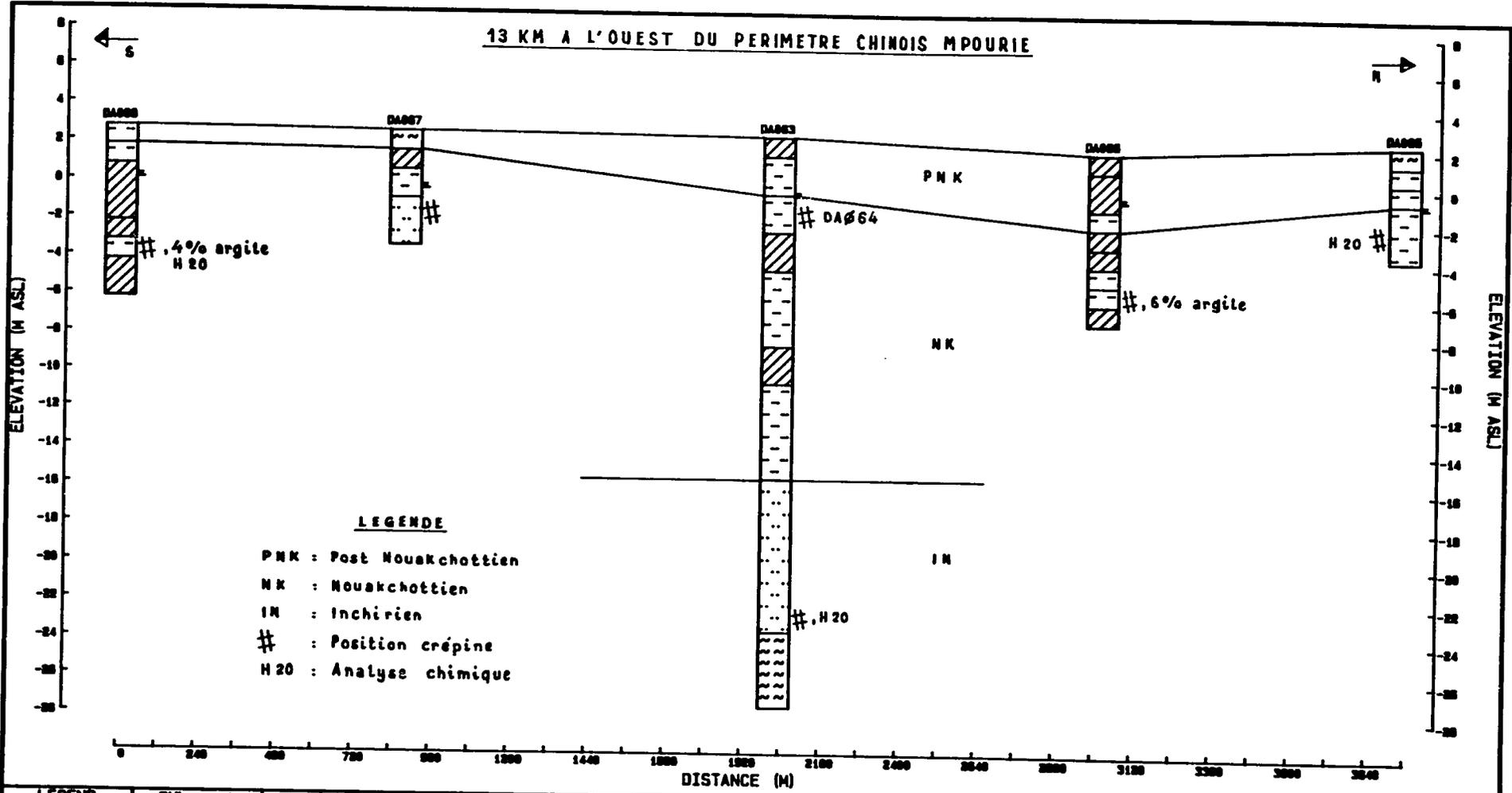
32



LEGEMDE a SWL M.S./Sol : fin Mai 1987						PROJECT: OMVS/USAID FILE: 625-0958 LOCATION: DAGANA 1C	FIGURE: CC071C GEOLOGIC CROSS SECTION SECTION GEOLOGIQUE C-C
ARG./PLAST.	SA. MOY.	GRAV. GROS.	GRES/SA/CAL	MARNE	USAID/DAKAR/SENEGAL		
ARG./SABLE	SA. GROS.	SA. DUNAIRE	CALCAIRE	SOL ORGAN.			
SILT	GRAV. FIN	SA. GRAVIL.	GRES FER.	LATERITE			
SA. FIN	GRAV. MOY.	GRES/SABLE	SA. COQUIL.	SCHISTE			

153

13 KM A L' OUEST DU PERIMETRE CHINOIS MPOURIE



LEGENDE

- PNK : Post Mouakchottien
- NK : Mouakchottien
- IN : Inchirien
- # : Position crépine
- H20 : Analyse chimique

LEGEND

▲ SML : M.S./Sol (15 Février 1987)

	ARG./PLAST.		SA. MOY.		GRAV. GROS.		GRES/SA/CAL		MARNE
	ARG./SABLE		SA. GROS.		SA. DUNAIRE		CALCAIRE		SOL ORGAN.
	SILT		GRAV. FIN		SA. GRAVIL.		GRES FER.		LATERITE
	SA. FIN		GRAV. MOY.		GRES/SABLE		SA. COQUIL.		SCHISTE

PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: ST LOUIS 4B

FIGURE: BB064B
 GEOLOGIC CROSS SECTION
 COUPE GEOLOGIQUE B-B'

USAID/DAKAR/SENEGAL

157

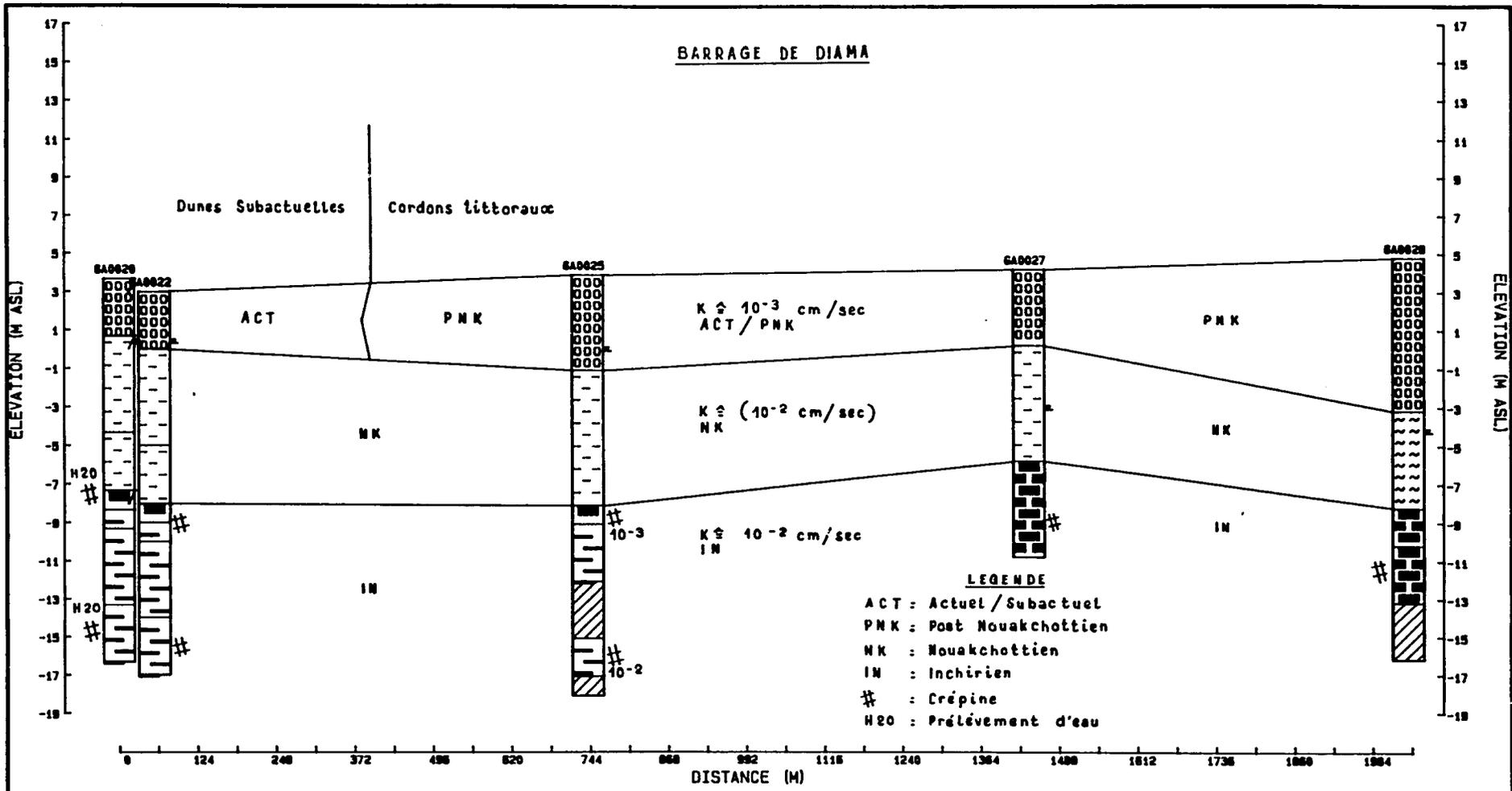
**FLEUVE SENEGAL
REGION DU DELTA**

RECEUIL DES SECTIONS GEOLOGIQUES

- * 5 sections à caractère local (espacement métrique des piézomètres)
perpendiculaire au lit du fleuve Sénégal

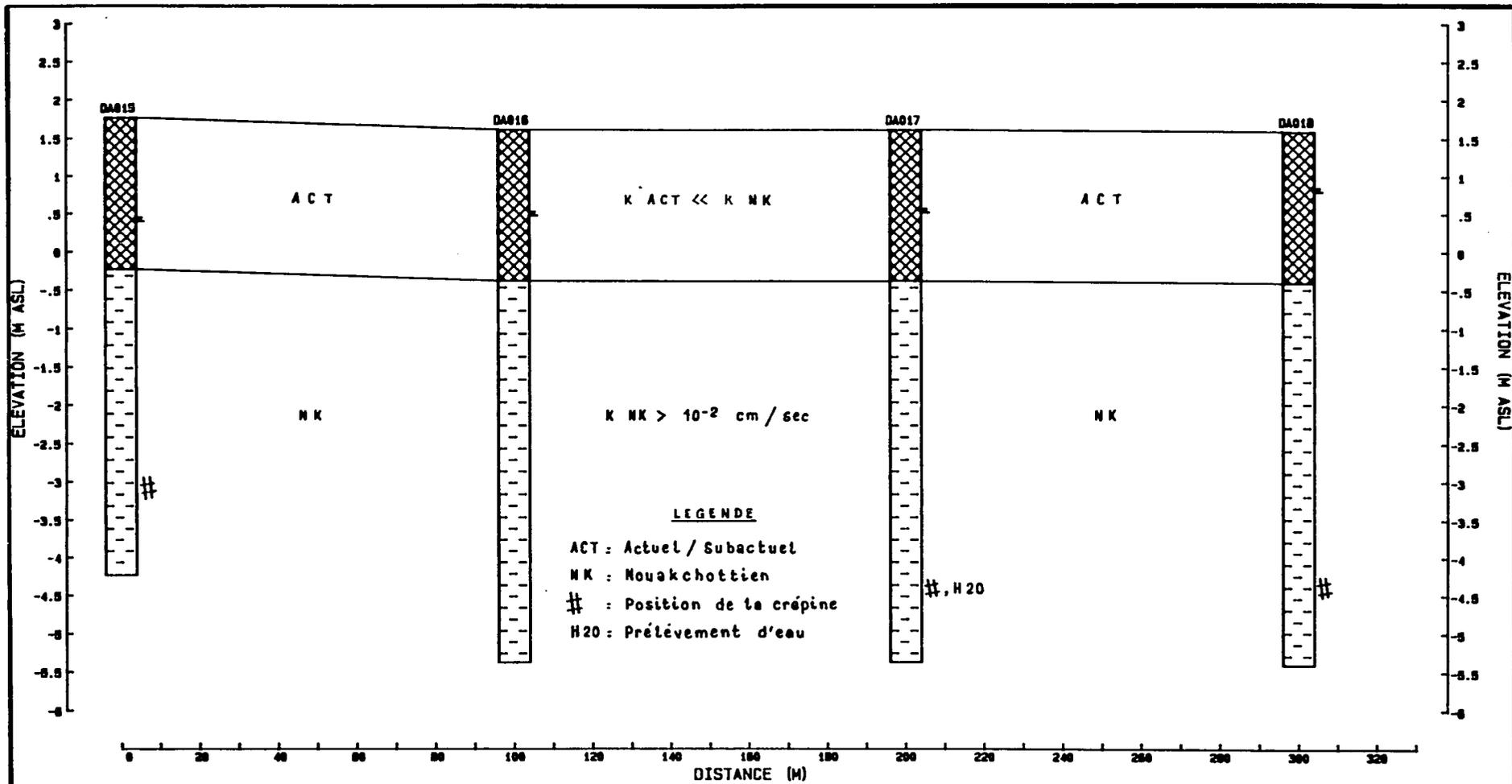
ANNEXE 4B

55



LEGEND x SML : N.S. / Sol (Février 1987)		PROJECT: OMVS/USAID FILE: 625-0958 LOCATION: ST LOUIS 2A		FIGURE: BB062A GEOLOGIC CROSS SECTION COUPE GEOLOGIQUE B-B'	
ARG./PLAST.	SA. MOY.	GRAV. GROS.	GRES/SA/CAL	MARNE	USAID/DAKAR/SENEGAL
ARG./SABLE	SA. GROS.	SA. DUNAIRE	CALCAIRE	SOL ORGAN.	
SILT	GRAV. FIN	SA. GRAVIL.	GRES FER.	LATERITE	
SA. FIN	GRAV. MOY.	GRES/SABLE	SA. COQUIL.	SCHISTE	

156



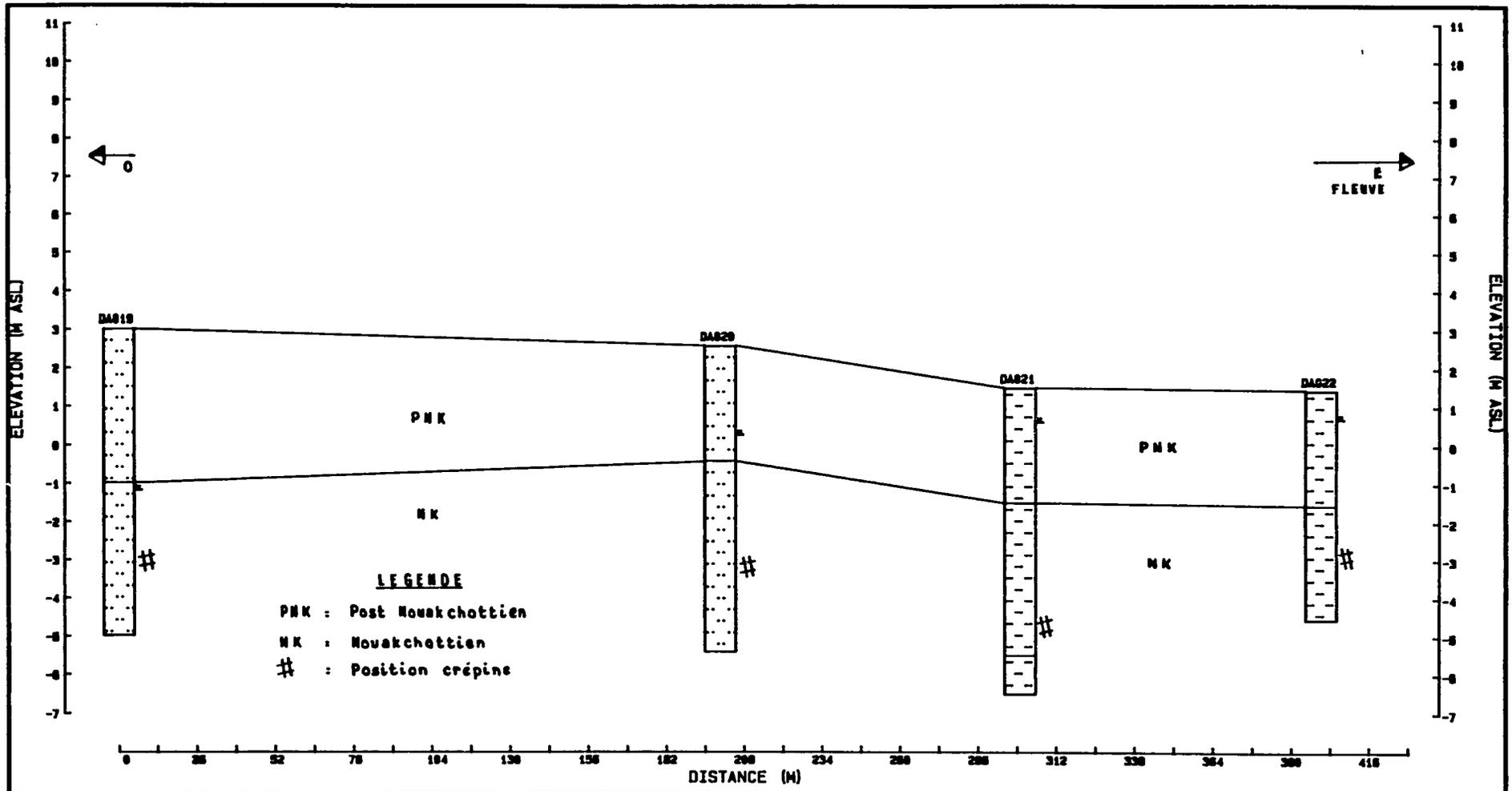
LEGEND					
	ARG./PLAST.		SA. MDY.		GRAV. GROS.
	ARG./SABLE		SA. GROS.		SA. DUNAIRE
	SILT		GRAV. FIN		SA. GRAVIL.
	SA. FIN		GRAV. MOY.		GRES/SABLE
	GRES/SA/CAL		CALCAIRE		MARNE
	GRES FER.		SA. COQUIL.		SOL ORGAN.
	SCHISTE		LATERITE		

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

FIGURE: DD062A
GEOLOGIC CROSS SECTION
COUPE GEOLOGIQUE D-D'

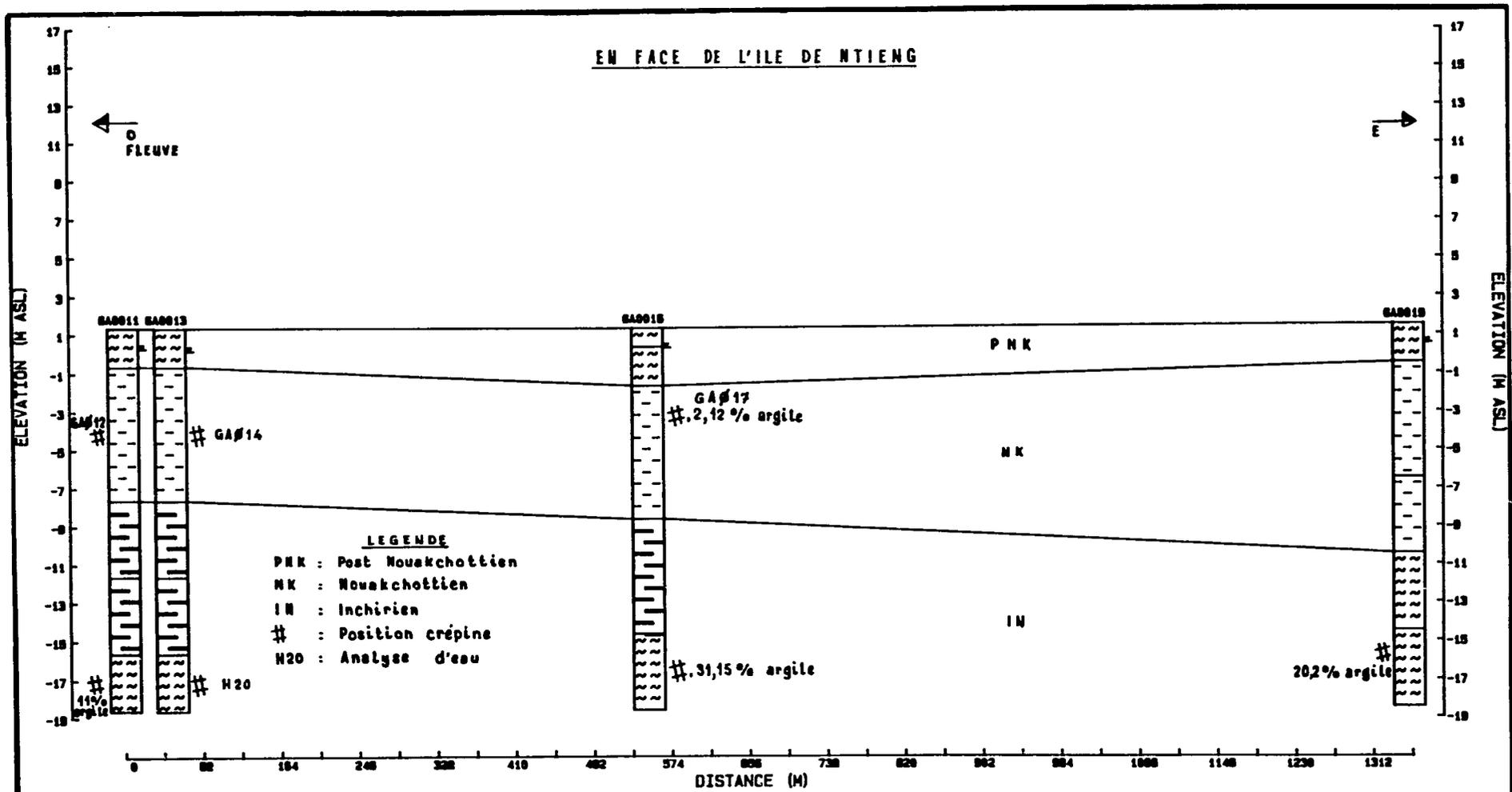
USAID/DAKAR/SENEGAL

157



LEGEND		a SWL : N.G./Sol (Février 1967)		PROJECT: OMVS/USAID		FIGURE: 062CBB					
	ARG./PLAST.		SA. MOY.		GRAV. GROS.		GRES/SA/CAL		MARNE	FILE: 625-0958	GEOLOGIC CROSS SECTION COUPE GEOLOGIQUE B-B'
	ARG./SABLE		SA. GROS.		SA. DUNAIRE		CALCAIRE		SOL ORGAN.	LOCATION: ST LOUIS 2C	
	SILT		GRAV. FIN		SA. GRAVIL.		GRES FER.		LATERITE	USAID/DAKAR/SENEGAL	
	SA. FIN		GRAV. MOY.		GRES/SABLE		SA. COQUIL.		SCHISTE		

USP



LEGENDE ± S.M.L. : N.G./Sot (16 Avril 1987)

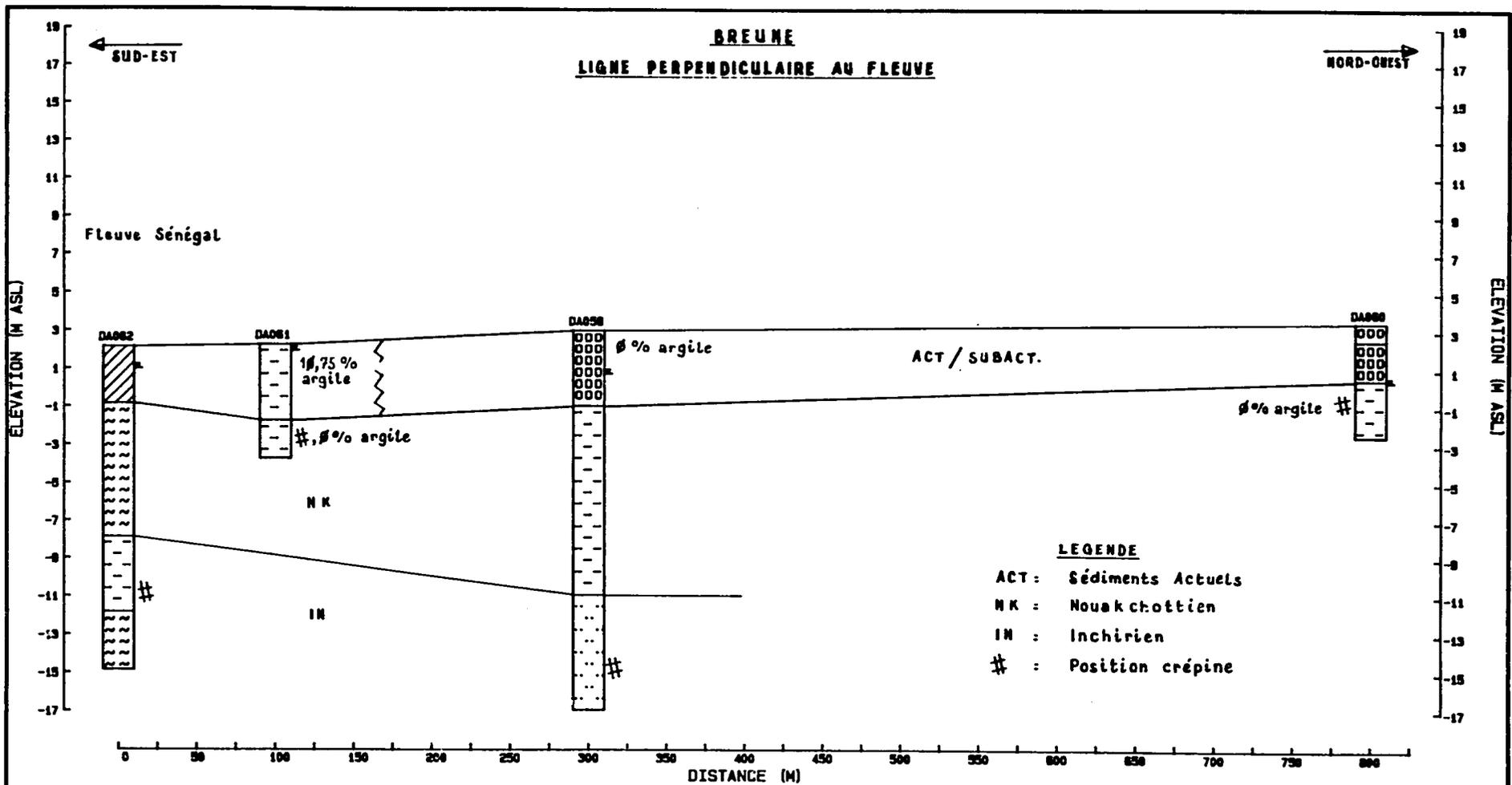
ARG./PLAST.	SA. MOY.	GRAV. GROS.	GRES/SA/CAL	MARNE
ARG./SABLE	SA. GROS.	SA. DUNAIRE	CALCAIRE	SOL ORGAN.
SILT	GRAV. FIN	SA. GRAVIL.	GRES FER.	LATERITE
SA. FIN	GRAV. MOY.	GRES/SABLE	SA. COQUIL.	SCHISTE

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

FIGURE: 062CCC
 GEOLOGIC CROSS SECTION
 COUPE GEOLOGIQUE C-C'

USAID/DAKAR/SENEGAL

154



LEGEND a SWL N.S./ sol = début Mars 1989				PROJECT: OMVS/USAID		FIGURE: AA073A	
[Symbol]	ARG./PLAST.	[Symbol]	SA. MOY.	[Symbol]	GRAV. GROS.	[Symbol]	MARNE
[Symbol]	ARG./SABLE	[Symbol]	SA. GROS.	[Symbol]	SA. DUNAIRE	[Symbol]	SOL ORGAN.
[Symbol]	SILT	[Symbol]	GRAV. FIN	[Symbol]	SA. GRAVIL.	[Symbol]	LATERITE
[Symbol]	SA. FIN	[Symbol]	GRAV. MOY.	[Symbol]	GRES/SABLE	[Symbol]	SA. COQUIL.
[Symbol]		[Symbol]		[Symbol]	GRES/S.A./CAL	[Symbol]	SCHISTE
[Symbol]		[Symbol]		[Symbol]	CALCAIRE	[Symbol]	
[Symbol]		[Symbol]		[Symbol]	GRES FER.	[Symbol]	
[Symbol]		[Symbol]		[Symbol]		[Symbol]	
				LOCATION: DAGANA 3A		GEOLOGIC CROSS SECTION SECTION GEOLOGIQUE A-A	
				USAID/DAKAR/SENEGAL			

162

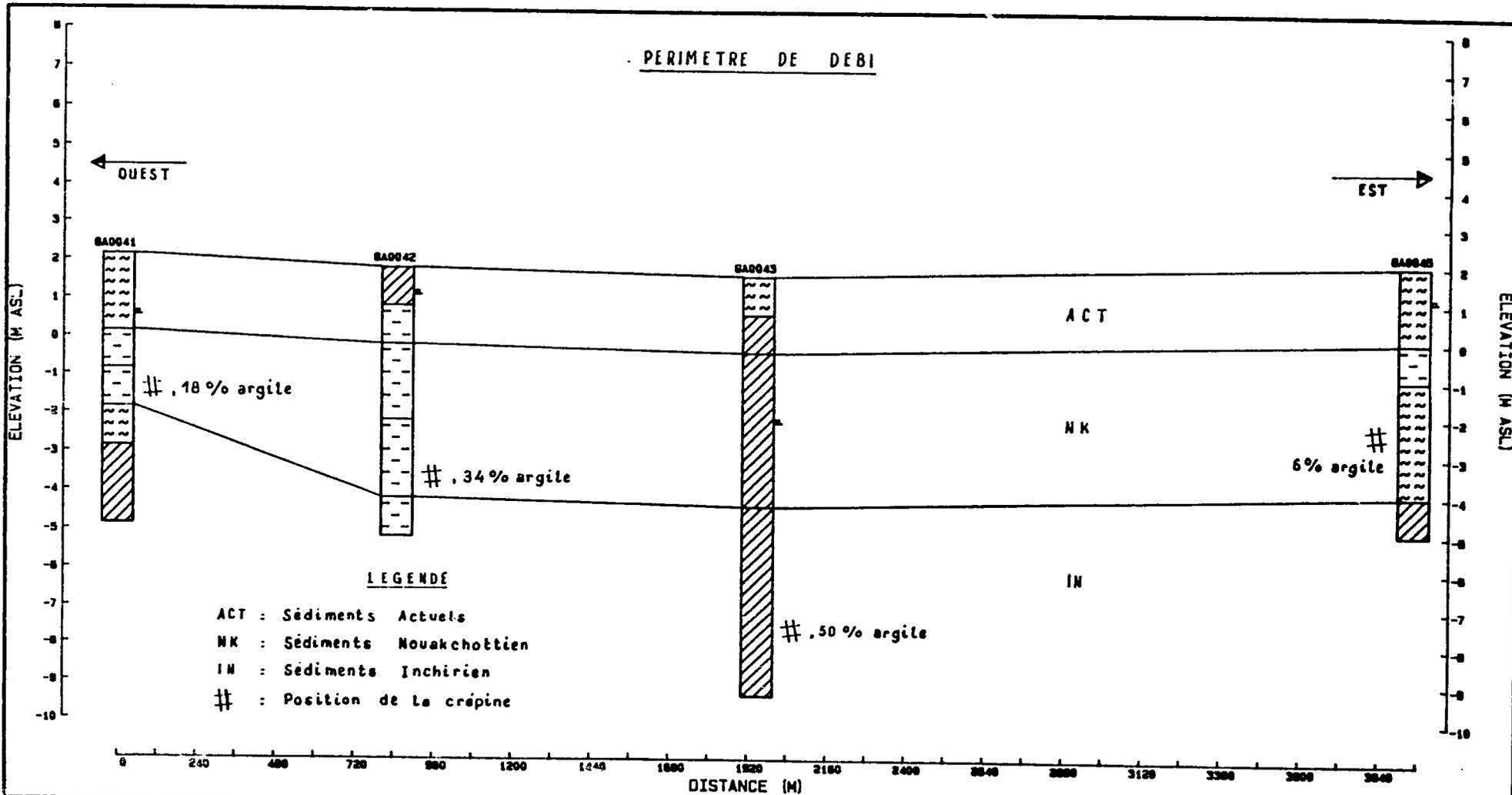
**FLEUVE SENEGAL
REGION DU DELTA**

RECEUIL DES SECTIONS GEOLOGIQUES

10 sections localisées dans les limites des périmètres hydroagricoles

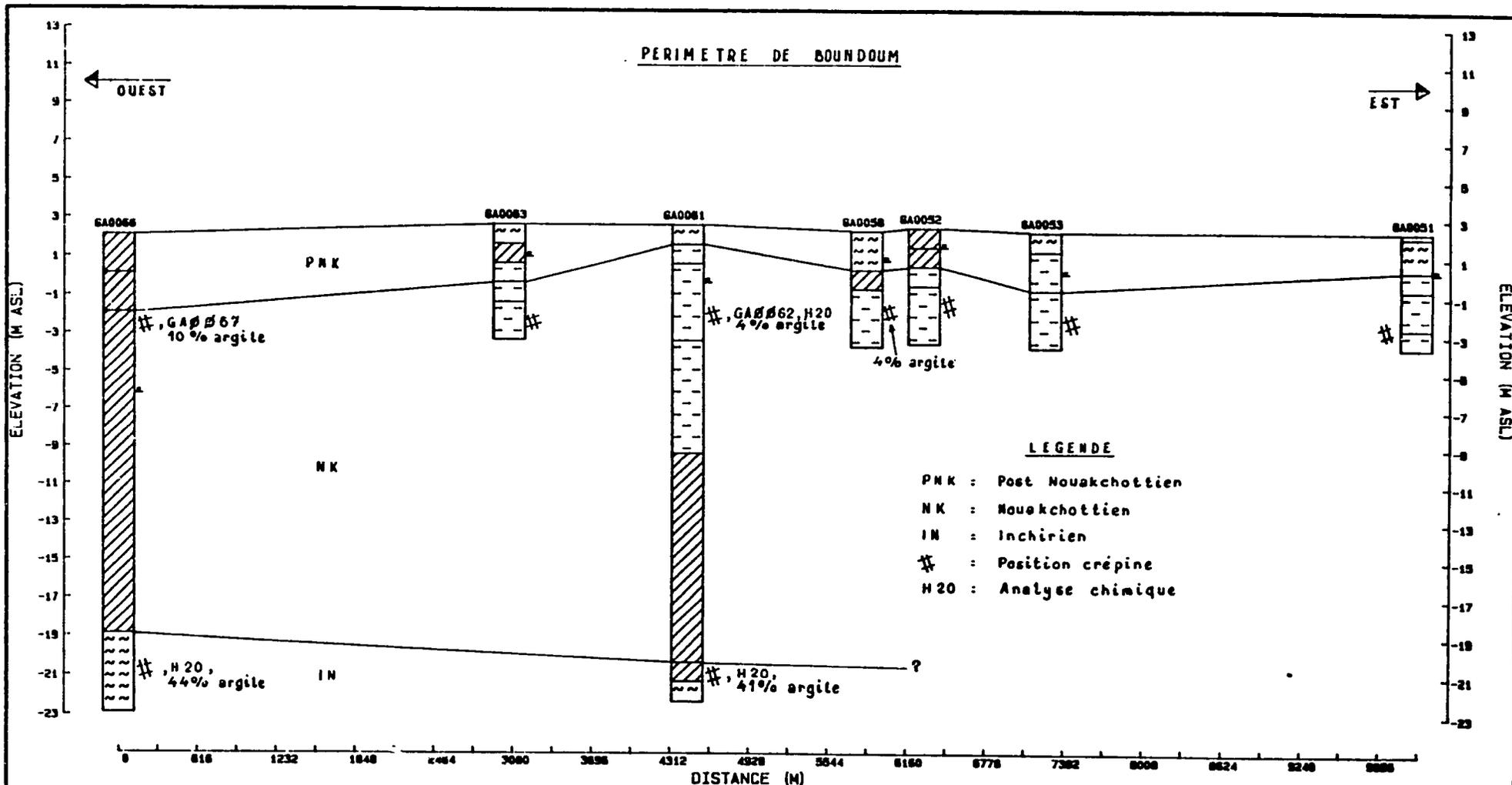
ANNEXE 4C

PERIMETRE DE DEBI



LEGEND		2 SWL : M.S./sol (20 Avril 87)		PROJECT: OMVS/USAID		FIGURE: GG062D	
	ARG./PLAST.		SA. MOY.		GRAV. GROS.		GRES/SA/CAL
	ARG./SABLE		SA. GROS.		SA. DUNAIRE		CALCAIRE
	SILT		GRAV. FIN		SA. GRAVIL.		GRES FER.
	SA. FIN		GRAV. MOY.		GRES/SABLE		SA. COQUIL.
	MARNE		SOL ORGAN.		LATERITE		SCHISTE
				LOCATION: ST LOUIS 2D		GEOLOGIC CROSS SECTION COUPE GEOLOGIQUE G-6'	
				USAID/DAKAR/SENEGAL			

162



LEGEND		▲ SWL : N.S. / Sol (Avril 87)	
	ARG./PLAST.		SA. MOY.
	ARG./SABLE		GRAV. GROS.
	SILT		SA. DUNAIRE
	SA. FIN		SA. GRAVIL.
	SA. MOY.		GRES/SABLE
	GRAV. FIN		GRES/SA/CAL
	GRAV. MOY.		CALCAIRE
	GRES/SABLE		GRES FER.
	SA. COQUIL.		SCHISTE
	MARNE		SOL ORGAN.
	LATERITE		

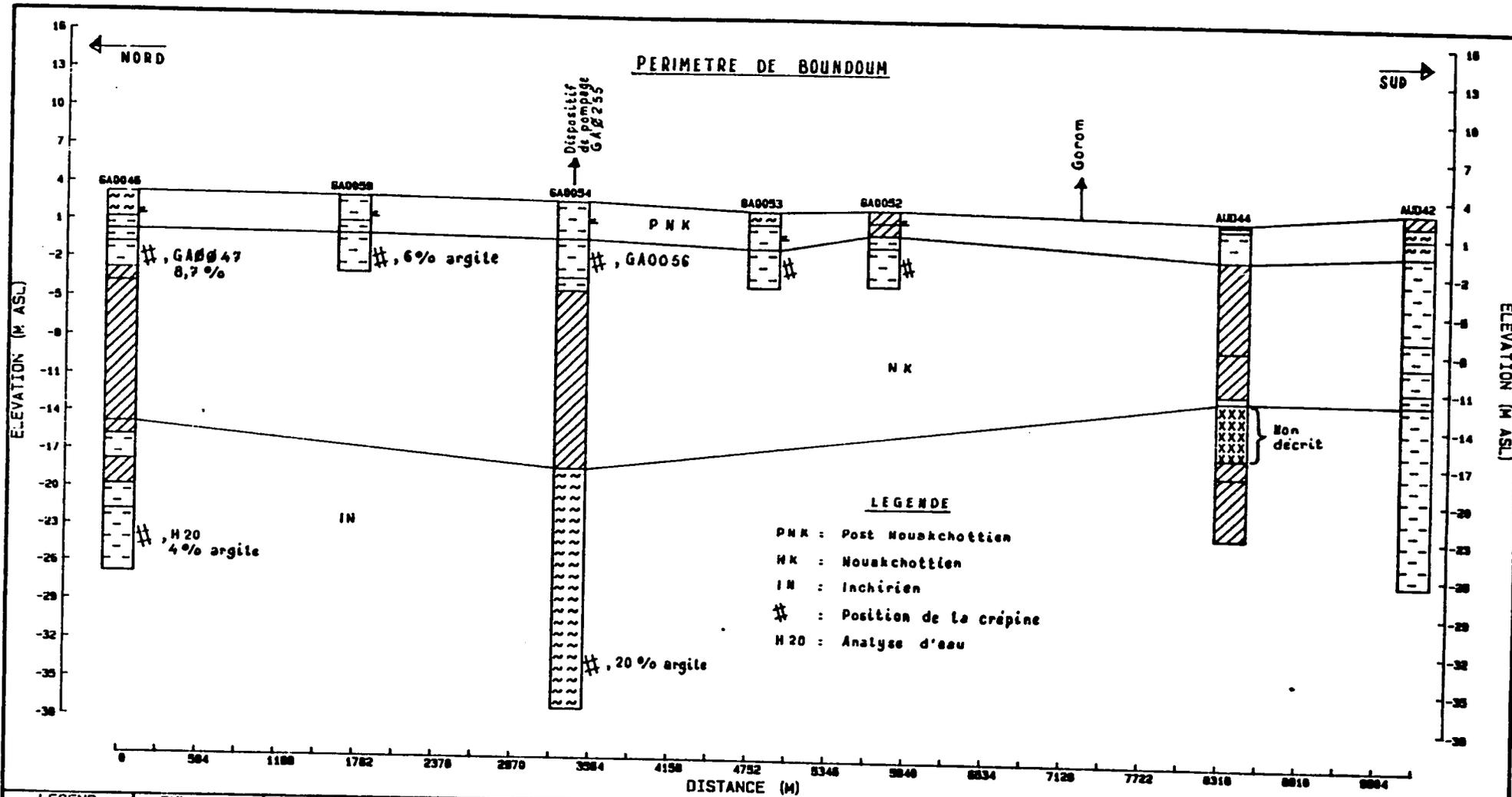
PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: ST LOUIS 20

FIGURE: CC0620
 GEOLOGIC CROSS SECTION
 COUPE GEOLOGIQUE C-C'

USAID/DAKAR/SENEGAL

163

PERIMETRE DE BOUNDIUM



LEGENDE
 P N K : Post Nouakchottien
 N K : Nouakchottien
 IN : Inchirien
 * : Position de la crépine
 H 20 : Analyse d'eau

LEGEND * SML : M.S./ Sol (Avril 87)

	ARG./PLAST.		SA. MOY.		GRAV. GROS.		GRES/SA/CAL		MARNE
	ARG./SABLE		SA. GROS.		SA. DUNAIRE		CALCAIRE		SOL ORGAN.
	SILT		GRAV. FIN		SA. GRAVIL.		GRES FER.		LATERITE
	SA. FIN		GRAV. MOY.		GRES/SABLE		SA. COQUIL.		SCHISTE

PROJECT: OMYS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: ST LOUIS 20

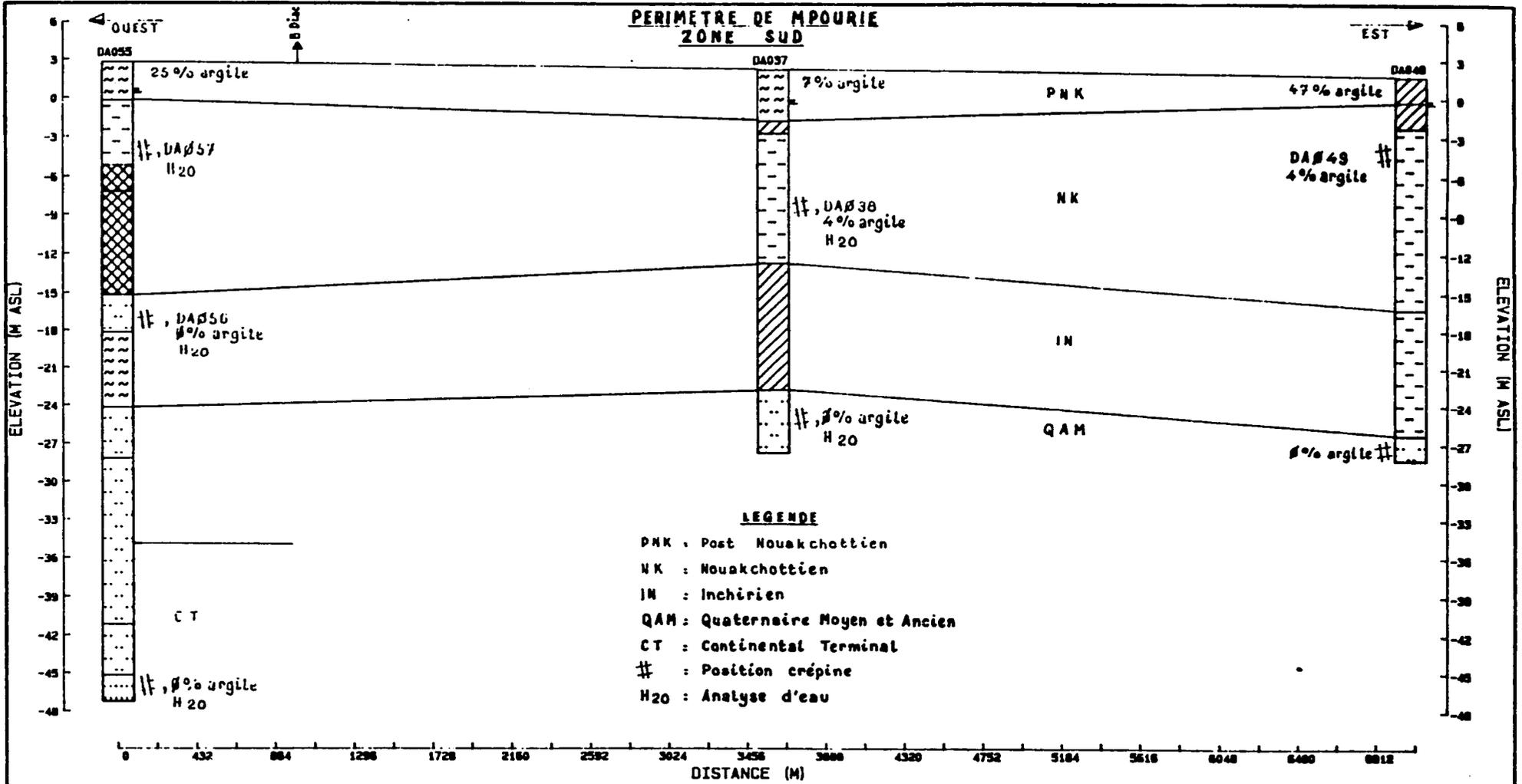
FIGURE: AA0620

GEOLOGIC CROSS SECTION
 COUPE GEOLOGIQUE A-A'

USAID/DAKAR/SENEGAL

164

PERIMETRE DE MPOURIE
ZONE SUD



LEGENDE

- PNK : Post Nouakchottien
- NK : Nouakchottien
- IN : Inchirien
- QAM : Quaternaire Moyen et Ancien
- CT : Continental Terminal
- # : Position crépine
- H2O : Analyse d'eau

LEGENDE ± SWL M.S./Sol début Mars 1987

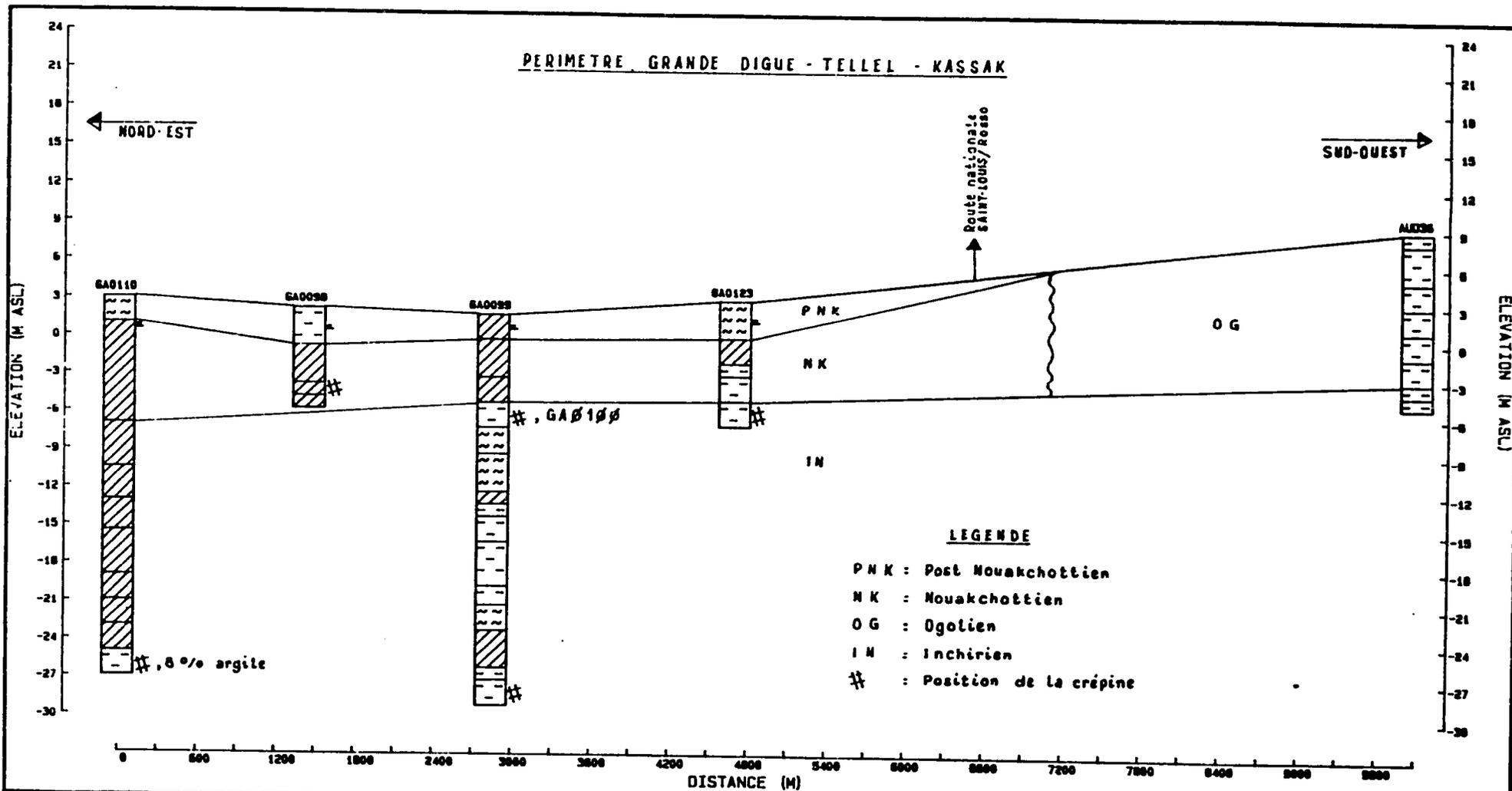
	ARG./PLAST.		SA. MOY.		GRAV. GROS.		GRES/SA/CAL		MARNE
	ARG./SABLE		SA. GROS.		SA. DUNAIRE		CALCAIRE		SOL ORGAN.
	SILT		GRAV. FIN		SA. GRAVIL.		GRES FER.		LATERITE
	SA. FIN		GRAV. MOY.		GRES/SABLE		SA. COQUIL.		SCHISTE

PROJECT: OMVS/USAID
FILE: 625-0958
LOCATION: DAGANA 3A

FIGURE: BB073A
GEOLOGIC CROSS SECTION
SECTION GEOLOGIQUE B-B

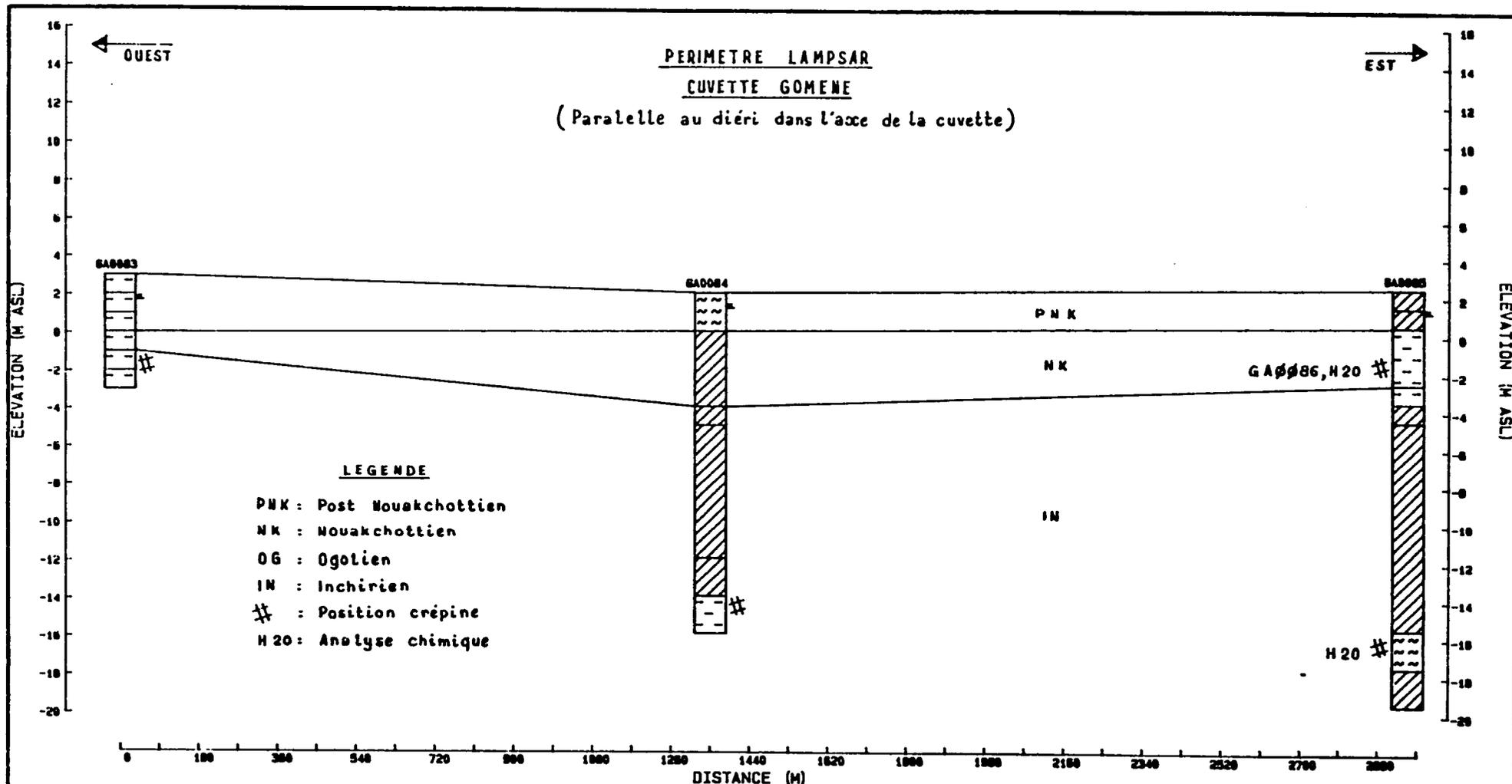
USAID/DAKAR/SENEGAL

165



LEGEND		▲ SML : N.S./ Sol (Avril 87)				
ARG./PLAST.	SA. MOY.	GRAV. GROS.	GRES/SA/CAL	MARNE	PROJECT: OMVS/USAID FILE: 625-0958 LOCATION: ST LOUIS 2D	FIGURE: BB062D GEOLOGIC CROSS SECTION COUPE GEOLGOSIQUE B-B'
ARG./SABLE	SA. GROS.	SA. DUNAIRE	CALCAIRE	SOL ORGAN.		
SILT	GRAV. FIN	SA. GRAVIL.	GRES FER.	LATERITE	USAID/DAKAR/SENEGAL	
SA. FIN	GRAV. MOY.	GRES/SABLE	SA. COQUIL.	SCHISTE		

166

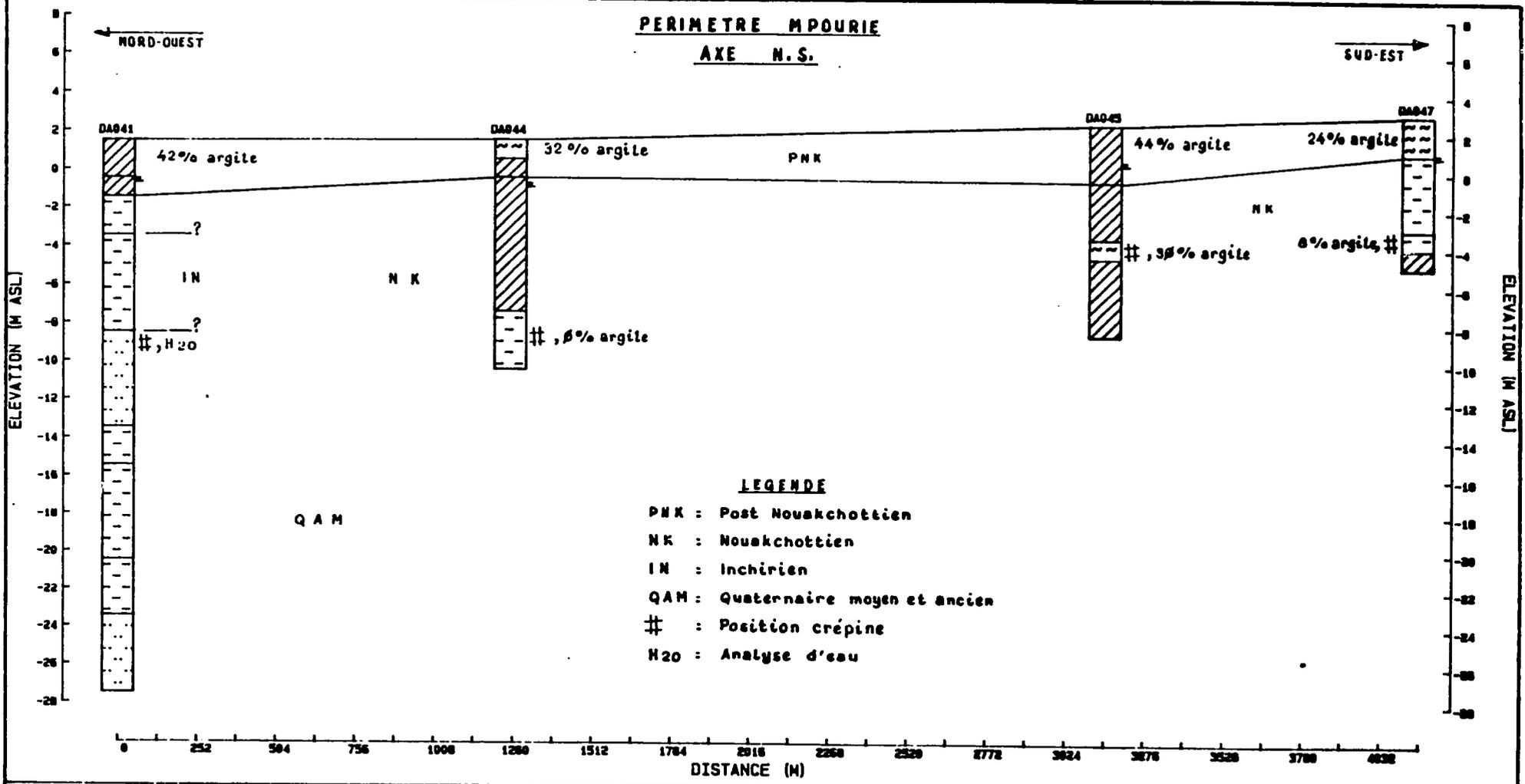


LEGEND a SWL : N.S./Sol (09 Mars 1987)					PROJECT: OMVS/USAID FILE: 625-0958 LOCATION: ST LOUIS 28	FIGURE: CC0628
ARG./PLAST.	SA. MOY.	GRAV. GROS.	GRES/SA/CAL	MARNE		GEOLOGIC CROSS SECTION COUPE GEOLOGIQUE C-C'
ARG./SABLE	SA. GROS.	SA. DUNAIRE	CALCAIRE	SOL ORGAN.	USAID/DAKAR/SENEGAL	
SILT	GRAV. FIN	SA. GRAVIL.	GRES FER.	LATERITE		
SA. FIN	GRAV. MOY.	GRES/SABLE	SA. COQUIL.	SCHISTE		

167

PERIMETRE MPOURIE

AXE N.S.



LEGEND a SWL N.S./Sol : mi-Mars 1987

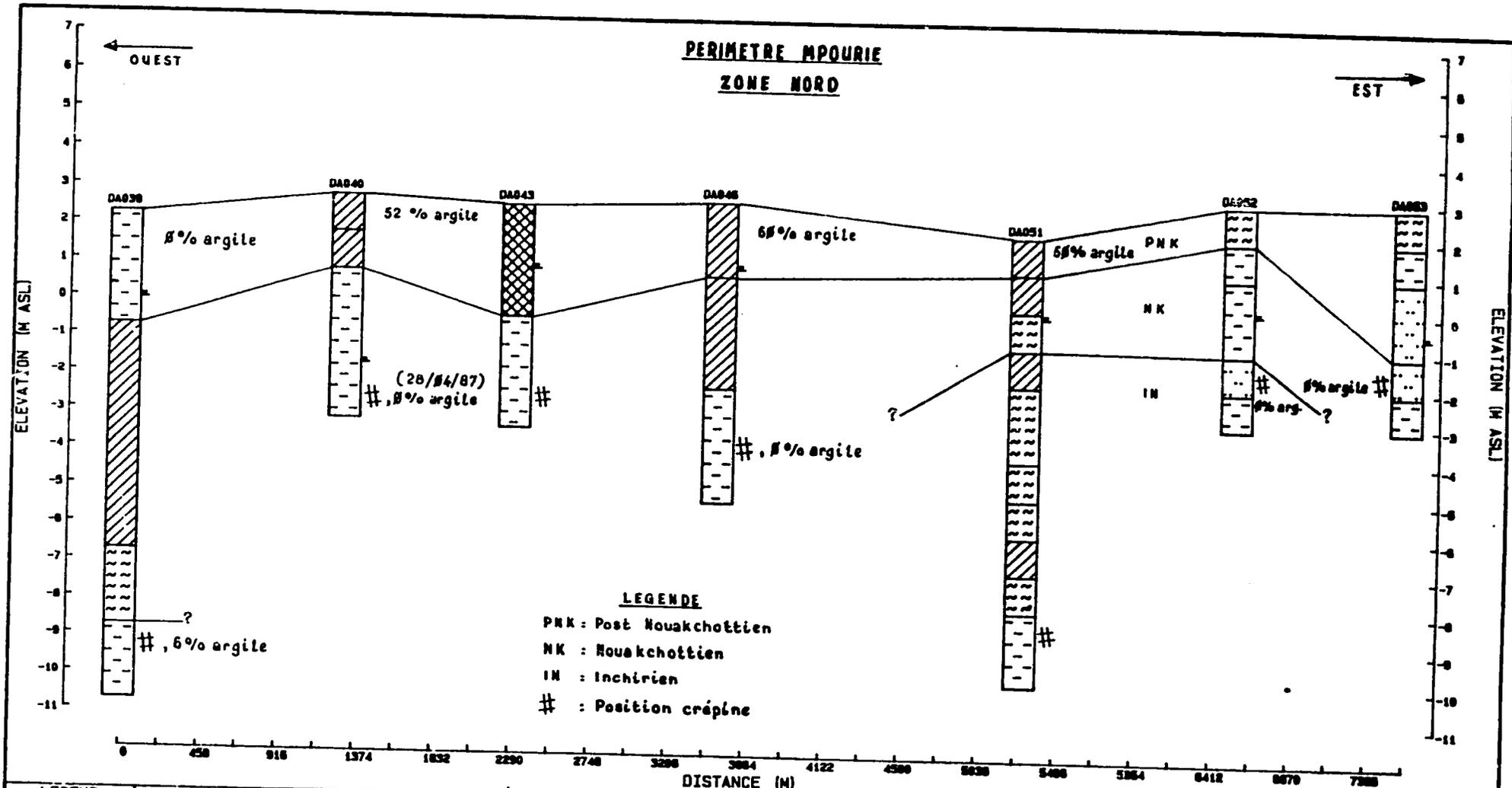
ARG./PLAST.	SA. MOY.	GRAV. GROS.	GRES/SA/CAL	MARNE
ARG./SABLE	SA. GROS.	SA. DUNAIRE	CALCAIRE	SOL ORGAN.
SILT	GRAV. FIN	SA. GRAVIL.	GRES FER.	LATERITE
SA. FIN	GRAV. MOY.	GRES/SABLE	SA. COQUIL.	SCHISTE

PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: DAGANA 3A

FIGURE: DD073A
 GEOLOGIC CROSS SECTION
 SECTION GEOLOGIQUE D-D

USAID/DAKAR/SENEGAL

1/84



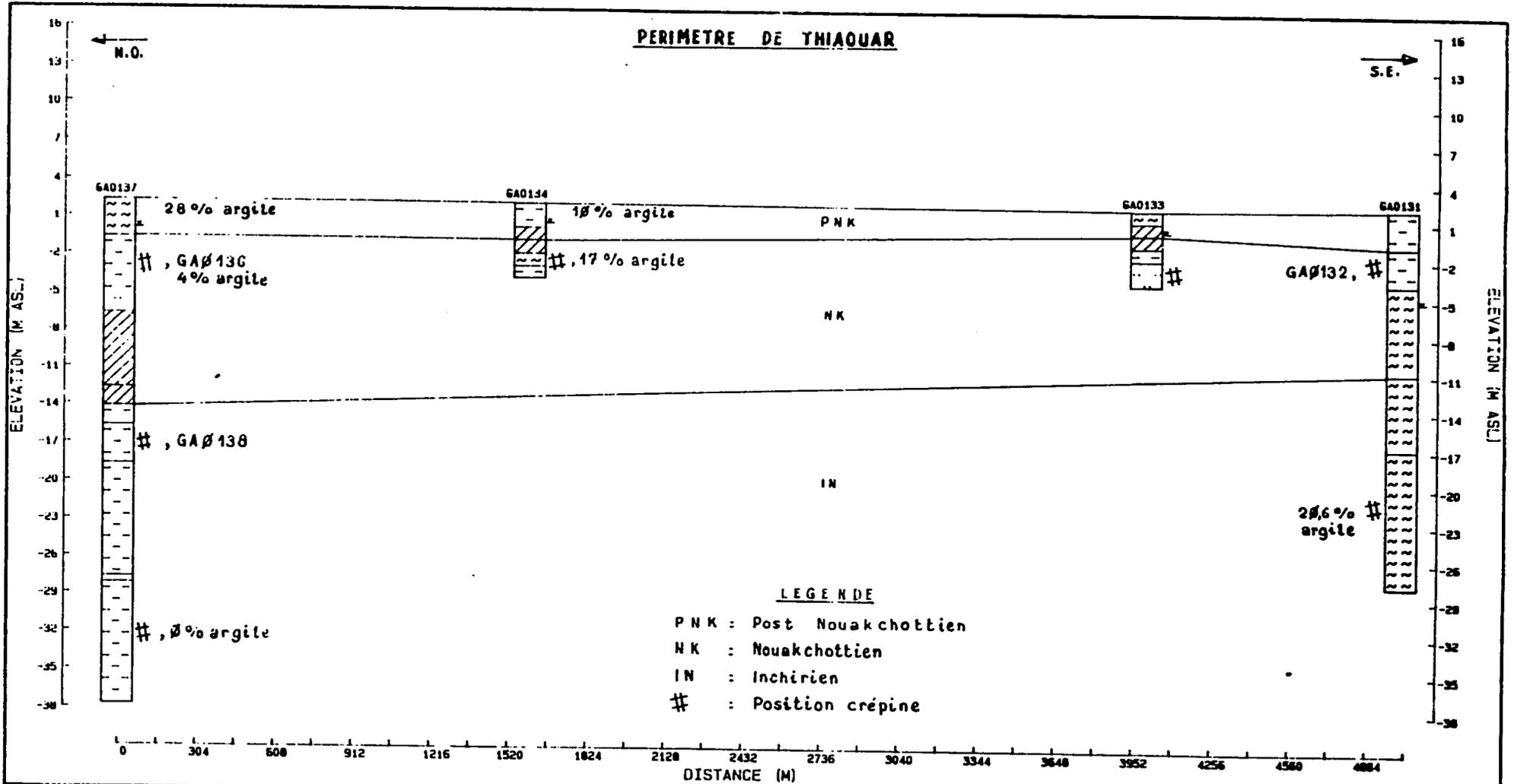
LEGEND a SWL N.S./Sol : mi Mars 1987 sauf DA040

ARG./PLAST.	SA. MOY.	GRAV. GROS.	GRES/SA/CAL	MARNE
ARG./SABLE	SA. GROS.	SA. DUNAIRE	CALCAIRE	SOL ORGAN.
SILT	GRAV. FIN	SA. GRAVIL.	GRES FER.	LATERITE
SA. FIN	GRAV. MOY.	GRES/SABLE	SA. COQUIL.	SCHISTE

PROJECT: OHVS/USAID	FIGURE: CC073A
FILE: 625-0958	
LOCATION: DAGANA 3A	GEOLOGIC CROSS SECTION SECTION GEOLOGIQUE C-C
USAID/DAKAR/SENEGAL	

170

PERIMETRE DE THIAOUAR



LEGEND		* SWL N.S./Sol : Fin Avril 1987		PROJECT: OMVS/USAID		FIGURE: BB071C	
ARG./PLAST.	SA. MOY.	GRAV. GROS.	GRES/SA/CAL	MARNE	FILE: 625-0958	GEOLOGIC CROSS SECTION SECTION GEOLOGIQUE B-B	
ARG./SABLE	SA. GROS.	SA. DUNAIRE	CALCAIRE	SOL ORGAN.	LOCATION: DAGANA 1C		
SILT	GHAV. FIN	SA. GRAVIL.	GRES FER.	LATERITE	USAID/DAKAR/SENEGAL		
SA. FIN	GRAV. MOY.	GRES/SABLE	SA. COQUIL.	SCHISTE			

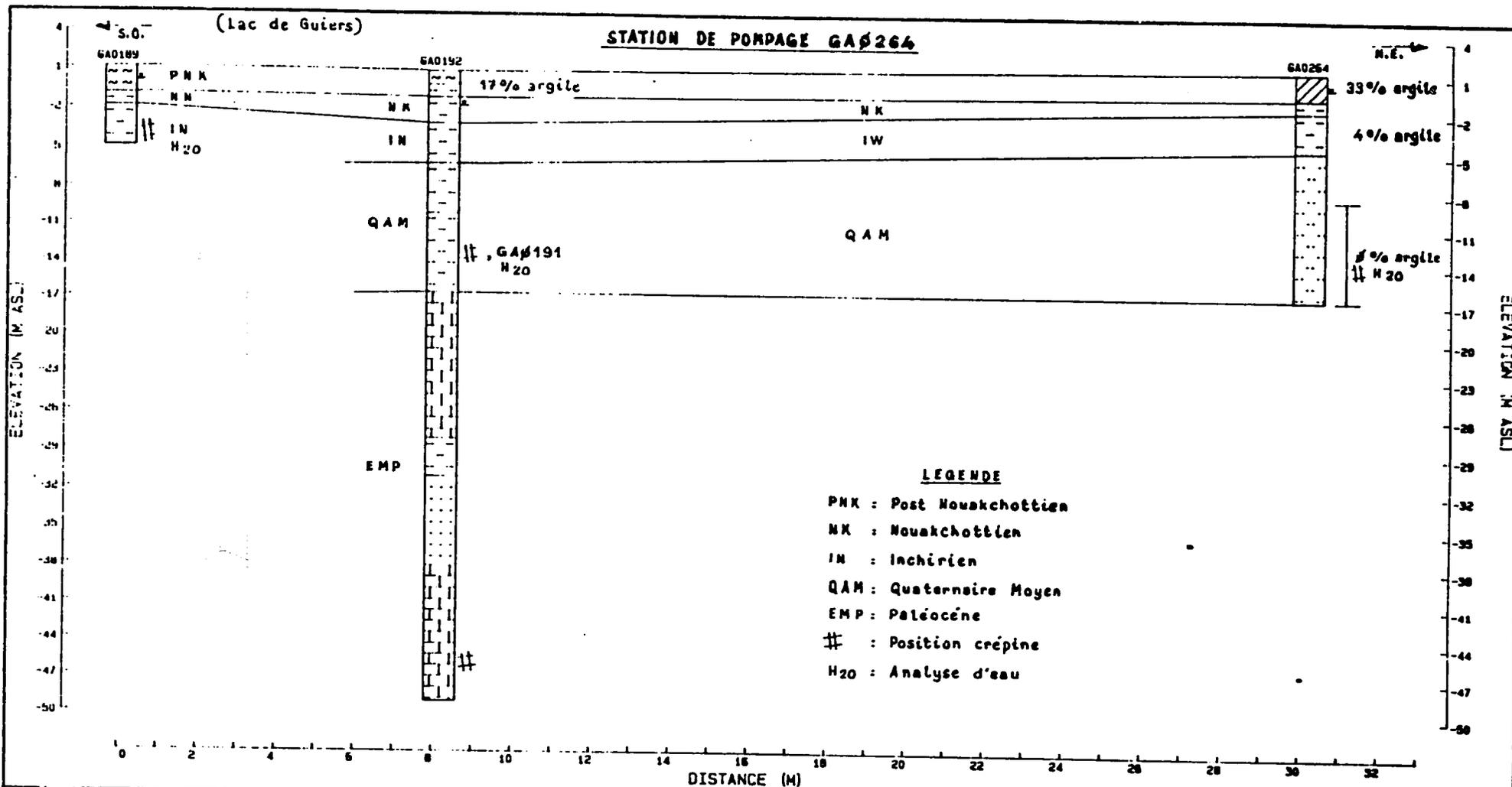
171

**FLEUVE SENEGAL
REGION DU DELTA**

RECEUIL DES SECTIONS GEOLOGIQUES

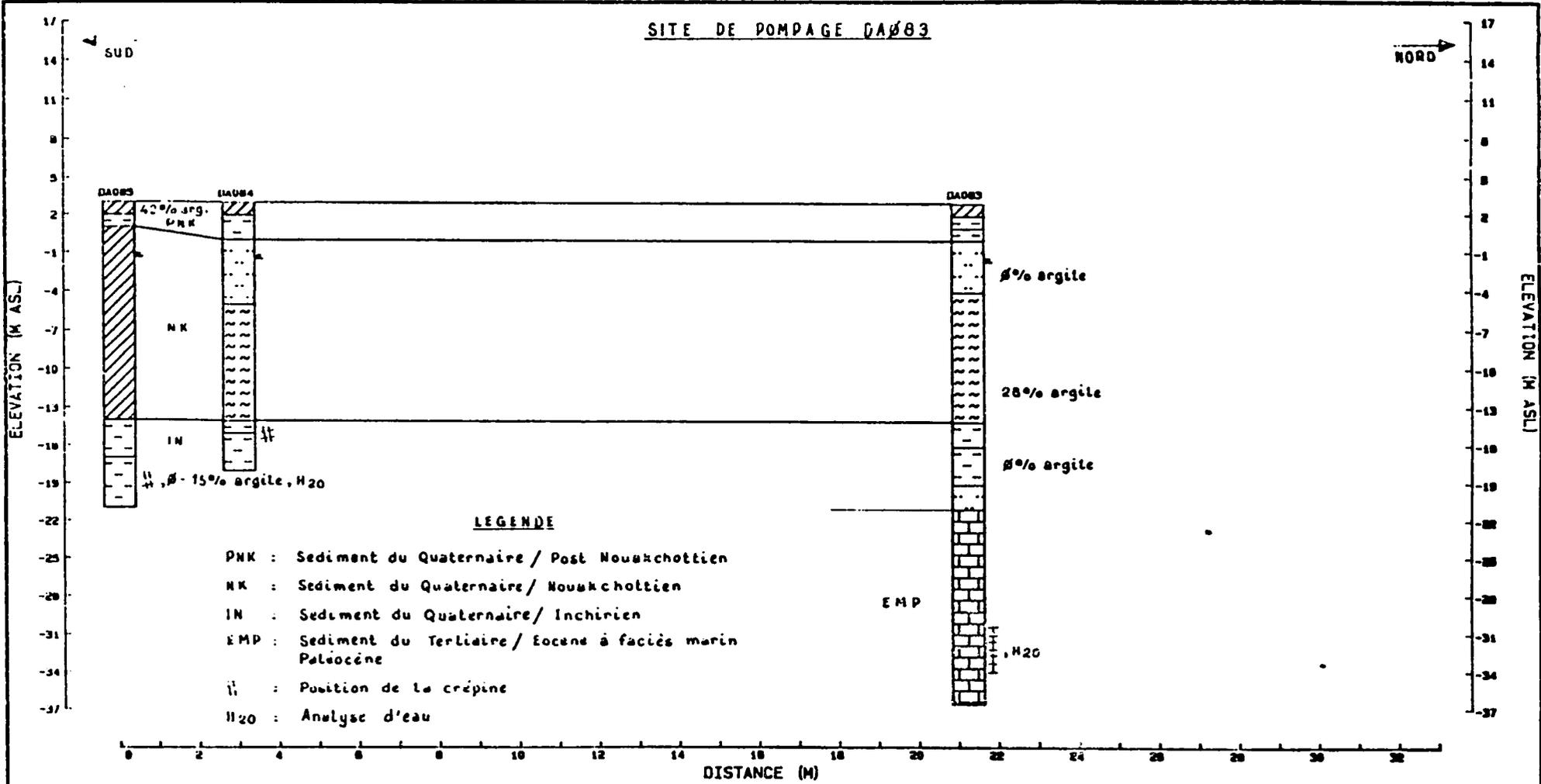
*** 6 sections décrivant les sites de pompages**

ANNEXE 4D



LEGEND		N.3./Sol : Fin Mai 1987		PROJECT: OMVS/USAID		FIGURE: PUMP07	
	ARG./PIAST.		SA. MOY.		GRAV. GHOS.		MARNE
	ARG./SABLE		SA. GROS.		SA. DUNAIE		SOL ORGAN.
	SILT		GHAV. FIN		SA. GHAVIL.		LATERITE
	SA. FIN		GHAV. MOY.		GRES/SABLE		SCHISTE
	GRES/SA/CAL		CALCAIRE		GRES FER.		SA. COQUIL.
LOCATION: DAGANA 1C						GEOLOGIC CROSS SECTION SECTION GEOLOGIQUE PUMP	
FILE: 625-0958						USAID/DAKAR/SENEGAL	

SITE DE POMPAGE DA083



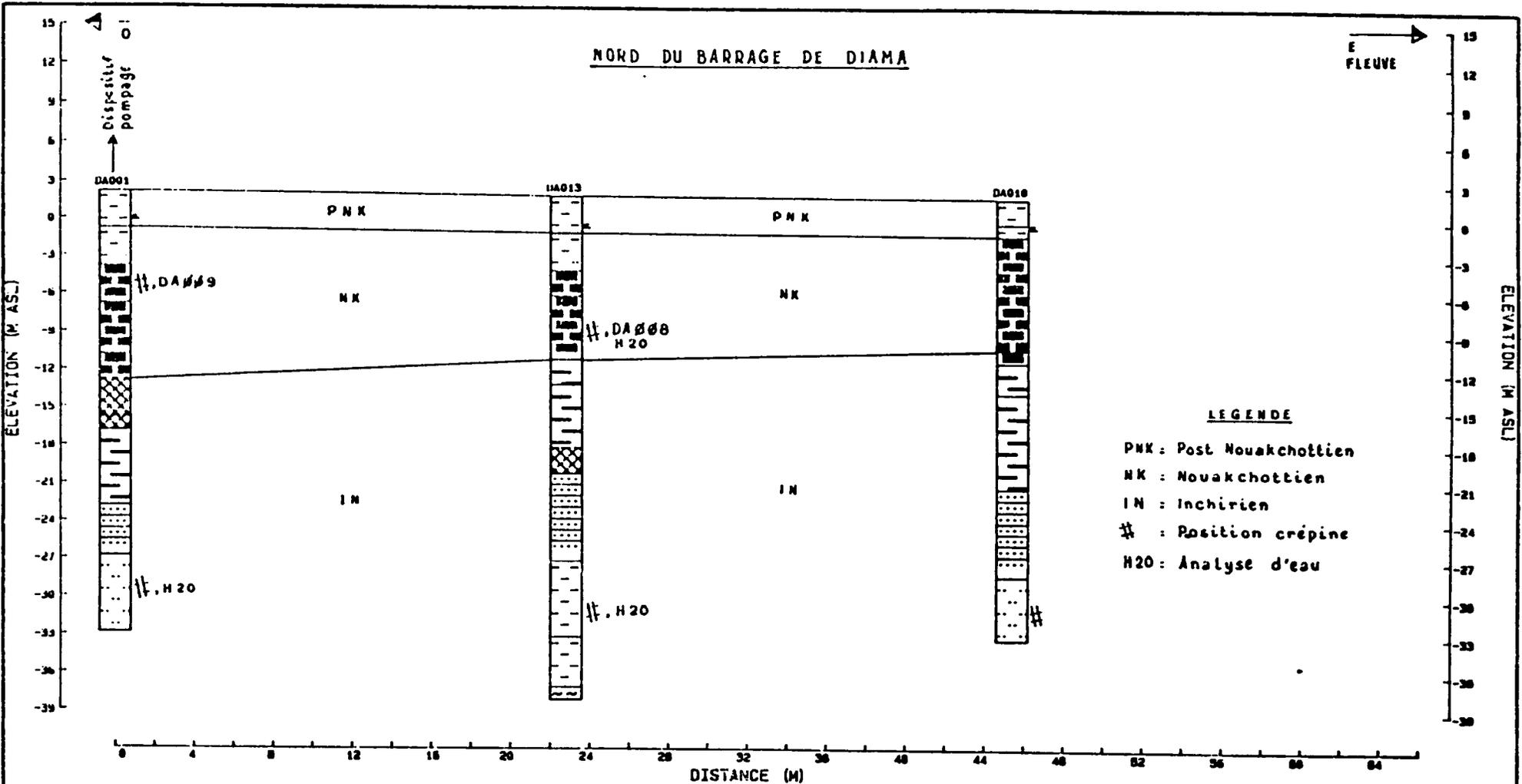
ARG./PLAST.	SA. MOY.	GRAY. GROS.	GRES/SA/CAL	MARNE
ARG./SABLE	SA. GROS.	SA. DUNAIRE	CALCAIRE	SOL ORGAN.
SILT	GRAY. FIN	SA. GHAVIL.	GRES FER.	LATERITE
SA. FIN	GRAY. MOY.	GRES/SABLE	SA. COQUIL.	SCHISTE

PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: DAGANA 10

FIGURE: DA083P
 GEOLOGIC CROSS SECTION
 SECTION GEOLOGIQUE

USAID/DAKAR/SENEGAL

174



LEGEND ▲ SWL : N.S. / Sol (24 Février 1987)

ARG./PLAST.	SA. MOY.	GRAV. GROS.	GRES/SA/CAL.	MARNE
ARG./SABLE	SA. GROS.	SA. DUNAIRE	CALCAIRE	SOL ORGAN.
SILT	GRAV. FIN	SA. GRAVIL.	GRES FER.	LATERITE
SA. FIN	GRAV. MOY.	GRES/SABLE	SA. COQUIL.	SCHISTE

PROJECT: DMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: ST LOUIS 2C

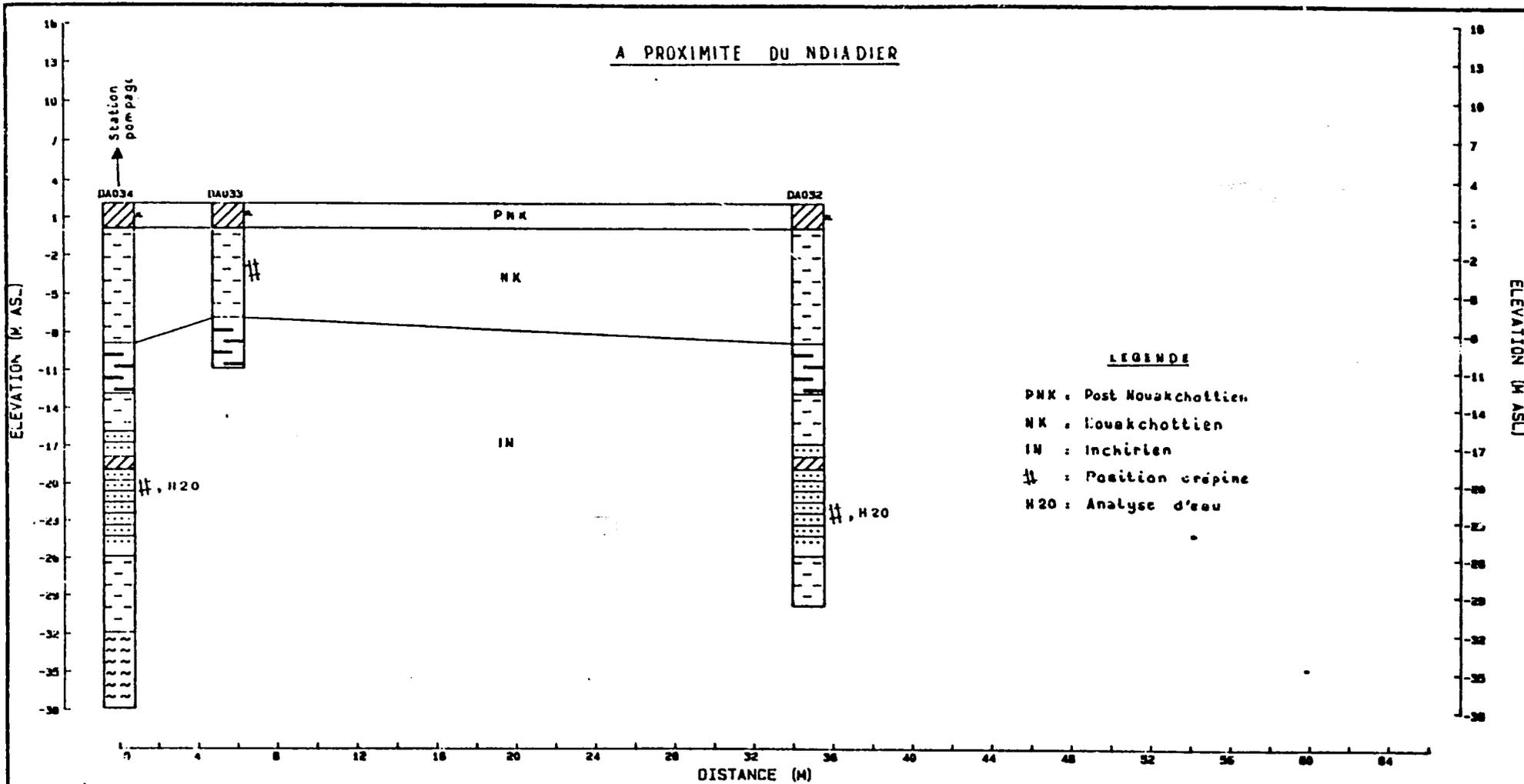
FIGURE: 062CPU

GEOLOGIC CROSS SECTION
 COUPE GEOLOGIQUE PUMP

USAID/DAKAR/SENEGAL

175

A PROXIMITE DU NDIADIER

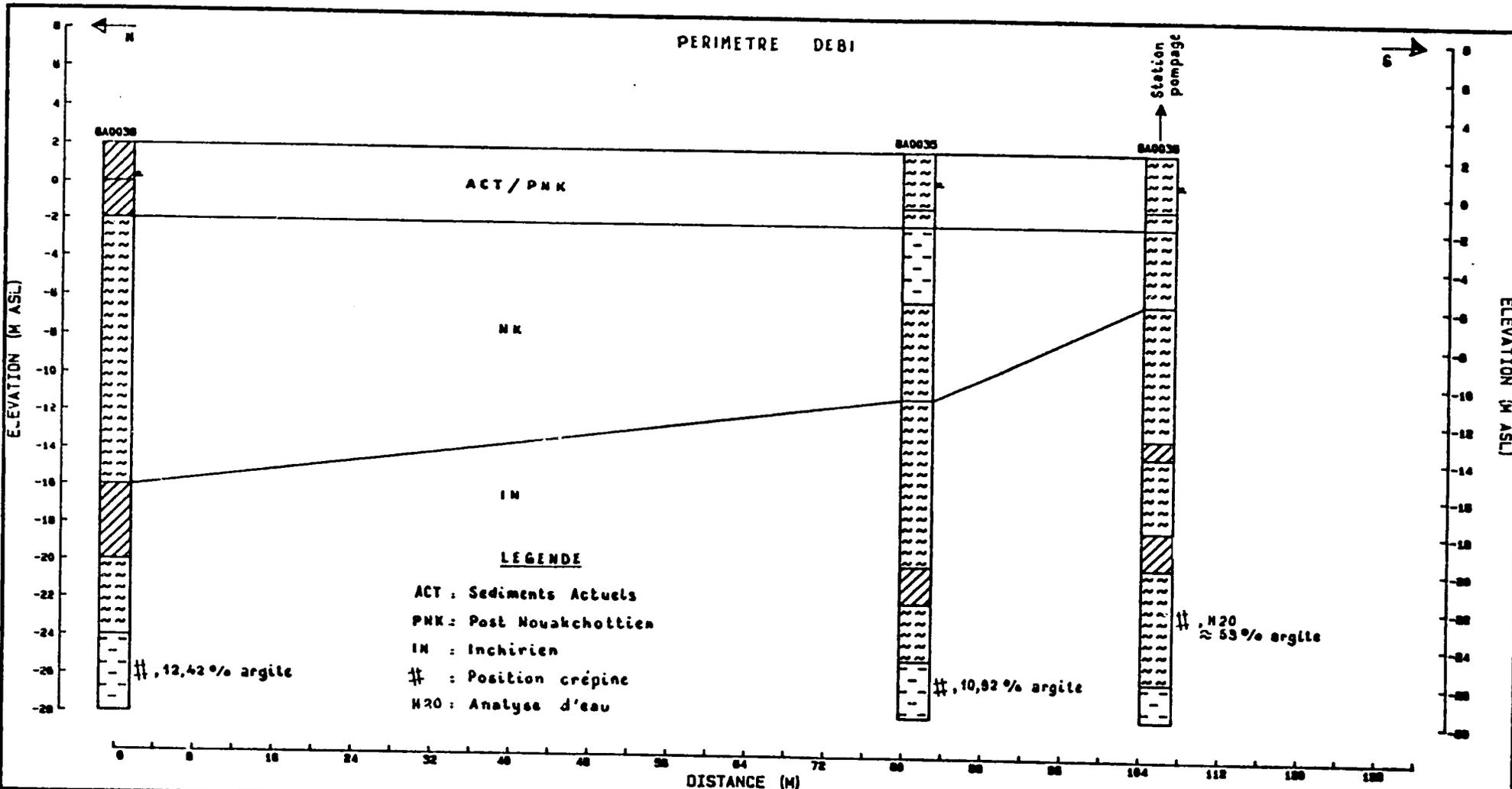


LEGENDE

PNK : Post Nouakchottien
 NK : Nouakchottien
 IN : Inchirien
 # : Position crépine
 H2O : Analyse d'eau

LEGEND		▲ SWL		PROJECT: OMVS/USAID		FIGURE: DA32PU	
	ARG./PLAST.		SA. MOY.		GRAV. GROS.		MARNE
	ARG./SAULE		SA. GROS.		SA. DUNAIRE		SOL ORGAN.
	SILT		GRAV. FIN		SA. GRAVIL.		LATERITE
	SA. FIN		GRAV. MOY.		GRES/SABLE		SCHISTE
	GRES/SA/CAL		CALCAIRE		GRES FER.		SA. COQUIL.
						LOCATION: ST LOUIS 4A	
						USAID/DAKAR/SENEGAL	
						GEOLOGIC CROSS SECTION COUPE GEOLOGIQUE PUMP	

176



LEGEND		SWL
	ARG./PLAST.	
	ARG./SABLE	
	SILT	
	SA. FIN	
	SA. MOY.	
	SA. GROS.	
	GRAV. FIN	
	GRAV. MOY.	
	GRAV. GROS.	
	SA. DUNAIRE	
	SA. GRAVIL.	
	GRES/SABLE	
	GRES/SA/CAL.	
	CALCAIRE	
	GRES FER.	
	SA. COQUIL.	
	MARNE	
	SOL ORGAN.	
	LATERITE	
	SCHISTE	

PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: ST LOUIS 4A

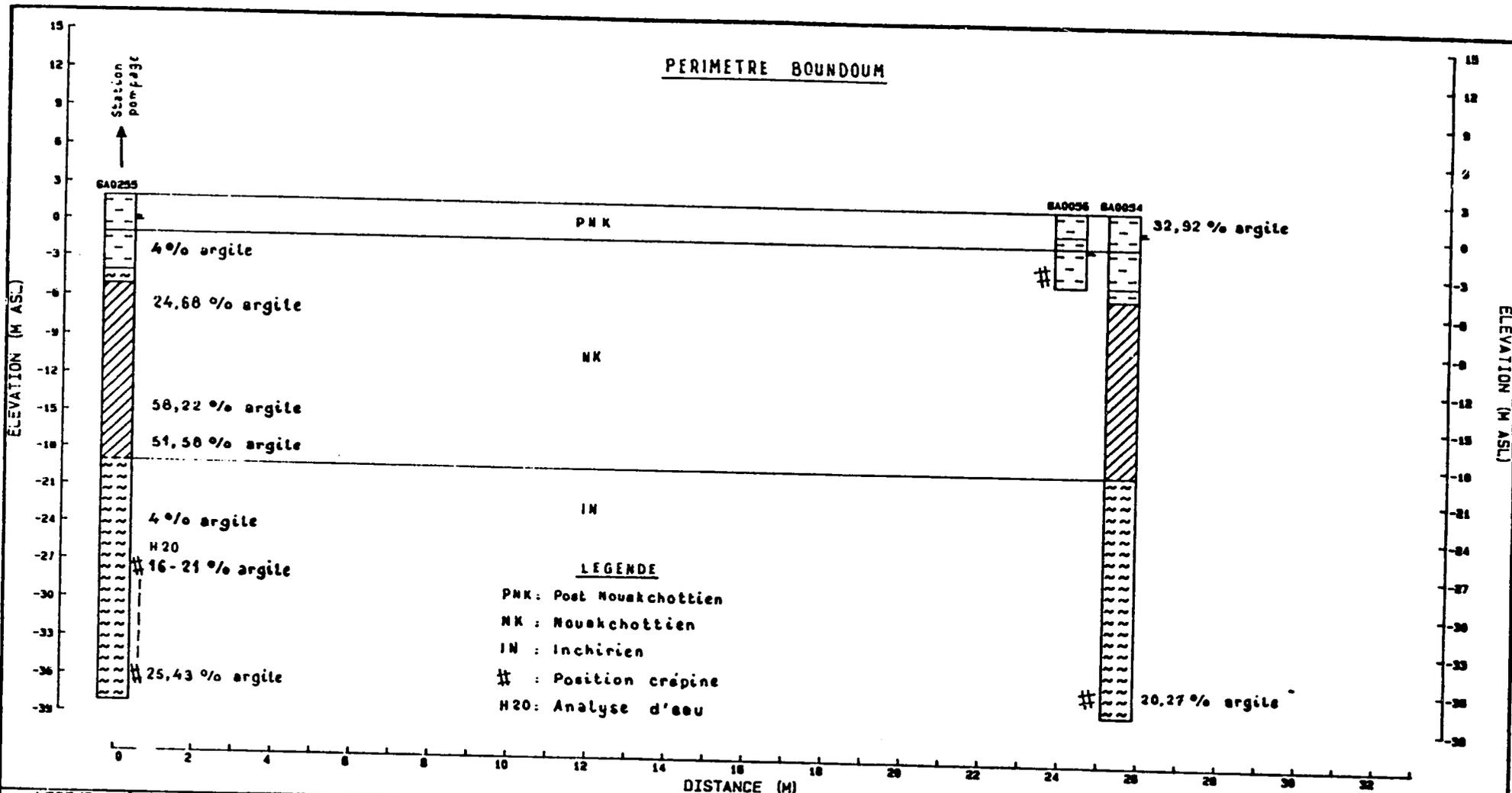
FIGURE: GA36PU

GEOLOGIC CROSS SECTION
 COUPE GEOLOGIQUE PUMP

USAID/DAKAR/SENEGAL

177

PERIMETRE BOUNDOM



I.FGFND Δ SWL : N.S. / Sol (23 Avril 1987)

	ARG./PLAST.		SA. MOY.		GRAV. GROS.		GRES/SA/CAL		MARNE
	ARG./SABLE		SA. GROS.		SA. DUNAIRE		CALCAIRE		SOL ORGAN.
	SILT		GRAV. FIN		SA. GRAVIL.		GRES FER.		LATERITE
	SA. FIN		GRAV. MOY.		GRES/SABLE		SA. COQUIL.		SCHISTE

PROJECT: OMVS/USAID
 FILE: 625-0958
 LOCATION: ST LOUIS 20

FIGURE: 0620PU

GEOLOGIC CROSS SECTION
 COUPE GEOLOGIQUE PUMP

USAID/DAKAR/SENEGAL

178

**FLEUVE SENEGAL
REGION DU DELTA**

**DISTRIBUTION DES VALEURS DE CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE
PAR FM GEOLOGIQUE
ET
PAR COMPARTIMENT SUPERIEUR ET INFERIEUR DE L'AQUIFERE**

N.B.: dans cette annexe, le terme "sommet aquifère" = compartiment supérieur de l'aquifère, et, "base aquifère = compartiment inférieur de l'aquifère.

1 DISTRIBUTION DES VALEURS DE LOG (KK - SOMMET AQUIFERE) - PAR CLASSE ET FORMATION GEOLOGIQUE

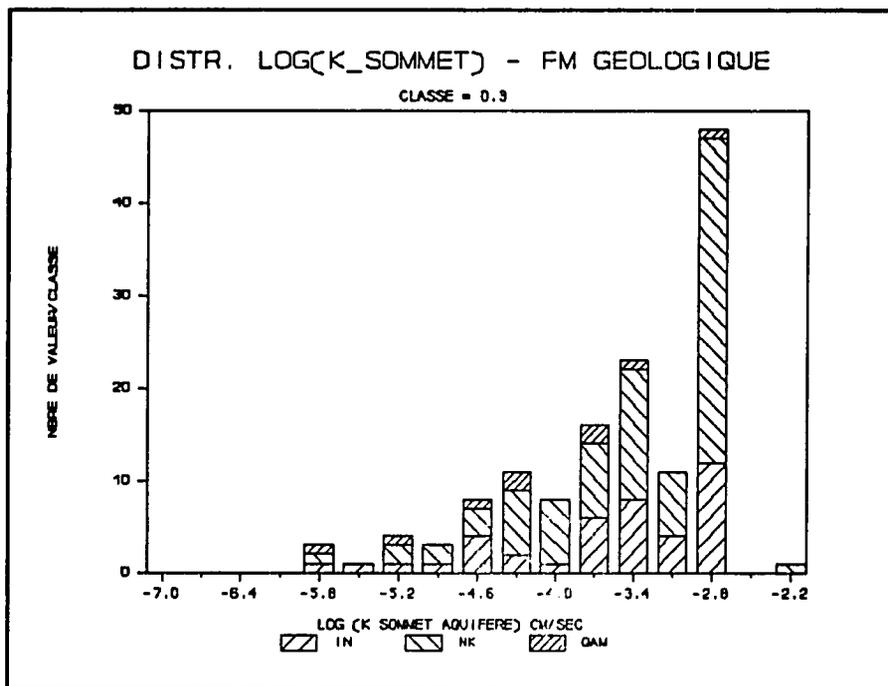


Figure 1 K1_FM.PIC

COMPARTIMENT SUPERIEUR AQUIFERE = PROF. CREPINE <13.0 M/SOL

STATISTIQUES	PROF. CREPINE M/SOL	K (CM/SEC)	LOG (KK)
NBRE.	137	137	137
MIN.	4.00	8.50E-07	-6.07
MAX.	13.00	3.40E-03	-2.47
MOYENNE	6.52	4.98E-04	-3.69
ECART TYPE	2.14	4.92E-04	0.77
MEDIANE	-	3.00E-4	-3.52

130

2 DISTRIBUTION DES VALEURS DE LOG (KK - BASE AQUIFERE) - PAR CLASSE ET FORMATION GEOLOGIQUE

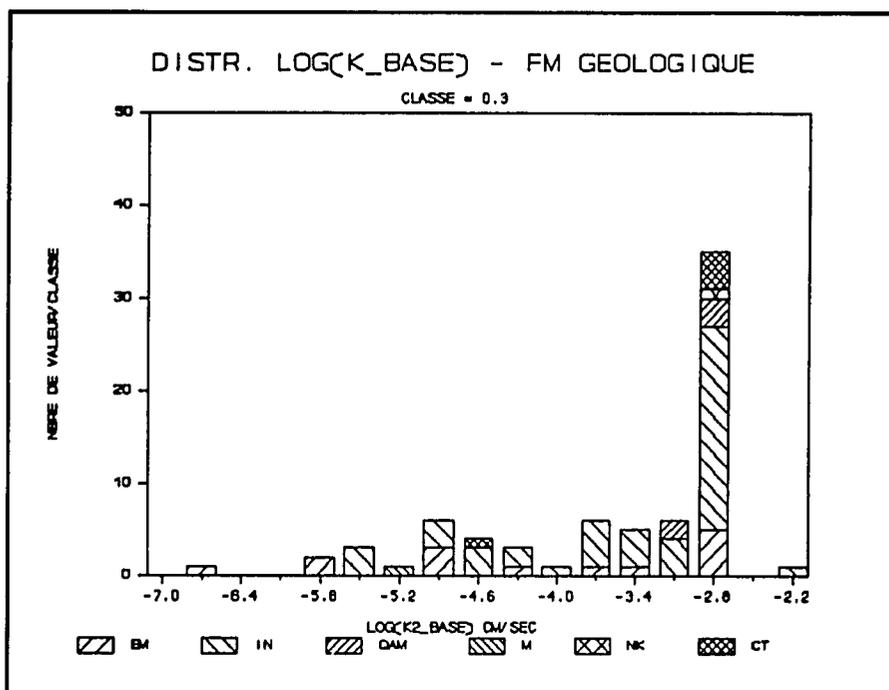


Figure 2 K2_FM.PIC

COMPARTIMENT INFERIEUR AQUIFERE = PROF. CREPINE > 13.0 M/SOL

STATISTIQUES	PROFB K	K (CM/SEC)	LOG (KK)
NBRE.	74	74	74
MIN.	13.0	1.8E-07	-6.74
MAX.	49.2	5.5E-03	-2.26
MOYENNE	26.5	6.3E-04	-3.71
ECART TYPE	9.5	7.2E-04	0.97
MEDIANE	-	6.9E-04	-3.15

181

LISTE DES VALEURS DE PERMEABILITE CARACTERISANT
LE COMPARTIMENT SUPERIEUR DE L'AQUIFERE/ FM GEOLOGIQUE

STATISTIQUES	PROF. CREPINE M/SOL	K (CM/SEC)	LOG (KK)
NBRE.	137	137	137
MIN.	4.00	8.50E-07	-6.07
MAX.	13.00	3.40E-03	-2.47
MOYENNE	6.52	4.98E-04	-3.69
ECART TYPE	2.14	4.92E-04	0.77
MEDIANE	-	3.00E-4	-3.52

PIEZO #	MTUX	MTUY	GEOL CODE	PROFBCRE M/SOL	K (CM/SEC)	LOG (KK)
GA0114	385.6	1807.4	IN	9.50	6.2E-04	-3.21
DA078	420.0	1829.2	IN	8.00	1.3E-04	-3.89
GA0115	385.8	1808.3	IN	11.00	6.2E-04	-3.21
GA0043	368.3	1824.1	IN	10.52	1.1E-06	-5.96
GA0006	353.9	1794.1	IN	13.00	6.2E-04	-3.21
GA0123	380.4	1802.3	IN	8.95	1.2E-03	-2.92
GA0045	370.3	1824.1	IN	5.86	3.5E-05	-4.46
GA0082	367.1	1794.5	IN	7.85	1.1E-03	-2.96
GA0080	363.8	1790.9	IN	5.05	3.5E-05	-4.46
GA0042	367.2	1824.2	IN	6.05	7.0E-06	-5.15
GA0078	362.0	1790.3	IN	6.88	4.0E-04	-3.40
GA0004	355.7	1792.4	IN	12.00	1.0E-03	-3.00
GA0010	361.8	1785.6	IN	10.47	3.9E-04	-3.41
DA039	406.2	1827.2	IN	12.00	1.0E-03	-3.00
GA0189	417.3	1807.3	IN	5.30	3.8E-04	-3.42
DA045	408.8	1826.2	IN	7.00	1.0E-03	-3.00
DA052	412.7	1827.8	IN	4.88	3.1E-04	-3.51
GA0021	351.7	1792.9	IN	13.00	1.0E-03	-3.00
GA0094	375.9	1799.3	IN	5.10	2.8E-04	-3.55
GA0102	382.9	1803.4	IN	6.90	2.5E-05	-4.60
GA0105	383.7	1802.7	IN	5.10	5.6E-05	-4.25
GA0079	363.6	1789.8	IN	4.87	1.0E-03	-3.00
GA0083	367.5	1794.3	IN	5.00	2.6E-04	-3.59
GA0197	413.2	1809.2	IN	5.20	2.6E-06	-5.59
GA0089	360.7	1798.6	IN	5.76	2.5E-04	-3.60
GA0023	351.7	1792.8	IN	13.00	1.1E-03	-2.96
GA0088	368.5	1798.2	IN	4.87	2.4E-04	-3.62
GA0116	387.0	1807.4	IN	4.90	1.3E-05	-4.89
GA0091	370.5	1799.6	IN	8.95	2.1E-04	-3.68
GA0097	361.3	1792.4	IN	9.87	2.0E-05	-4.70
GA0100	381.5	1803.9	IN	7.95	1.8E-04	-3.74
GA0096	360.9	1791.5	IN	5.05	1.0E-03	-3.00
GA0034	366.3	1826.3	IN	9.95	1.8E-04	-3.74
GA0072	358.2	1784.3	IN	11.10	4.1E-06	-5.39
GA0141	410.0	1815.3	IN	4.90	1.1E-04	-3.96
DA033	360.7	1831.0	IN	9.00	1.0E-03	-3.00
GA0104	384.1	1802.0	IN	10.00	1.1E-04	-3.96
GA0086	369.6	1796.4	IN	4.90	1.3E-03	-2.89
GA0108	385.5	1802.4	IN	6.50	2.4E-05	-4.62
DA073	405.9	1828.2	IN	12.00	1.0E-03	-3.00

PIEZO #	MTUX	MTUY	GEOL CODE	PROFBCRE M/SOL	K (CM/SEC)	LOG (KK)
GA0041	366.6	1824.2	IN	4.85	1.5E-04	-3.82
GA0128	406.9	1822.4	NK	6.02	3.0E-04	-3.52
GA0129	406.1	1822.4	NK	4.95	8.0E-04	-3.10
GA0062	382.9	1816.4	NK	5.10	8.6E-04	-3.07
GA0070	357.1	1783.9	NK	7.73	1.5E-04	-3.82
DA031	369.0	1834.8	NK	8.00	9.5E-04	-3.02
GA0149	415.0	1819.5	NK	5.10	7.5E-04	-3.12
GA0204	406.2	1814.6	NK	6.07	8.0E-04	-3.10
DA066	393.0	1829.7	NK	8.00	1.7E-04	-3.77
GA0053	385.7	1816.5	NK	5.10	1.3E-04	-3.89
GA0064	380.8	1816.6	NK	5.07	1.8E-04	-3.74
GA0095	360.2	1790.7	NK	5.05	1.3E-04	-3.89
GA0133	406.8	1820.3	NK	5.00	1.8E-04	-3.74
GA0059	386.7	1819.5	NK	5.08	1.2E-03	-2.92
GA0143	412.8	1818.1	NK	4.95	1.9E-04	-3.72
DA053	413.8	1827.9	NK	4.97	9.9E-04	-3.00
GA0139	404.4	1819.3	NK	4.95	2.2E-04	-3.66
GA0058	384.3	1816.9	NK	4.95	1.0E-03	-3.00
DA044	408.7	1828.2	NK	11.00	2.2E-04	-3.66
GA0144	413.0	1816.9	NK	5.10	1.0E-03	-3.00
GA0030	368.7	1825.3	NK	5.10	7.4E-05	-4.13
DA060	400.4	1825.9	NK	5.00	1.0E-03	-3.00
GA0032	368.7	1825.3	NK	4.90	7.2E-05	-4.14
DA068	393.1	1826.7	NK	7.00	1.0E-03	-3.00
DA043	408.5	1827.1	NK	5.00	2.7E-04	-3.57
GA0140	408.3	1814.6	NK	7.95	3.0E-05	-4.52
GA0126	408.0	1823.0	NK	6.01	3.4E-03	-2.47
GA0117	392.3	1809.5	NK	5.83	2.9E-05	-4.54
DA028	368.0	1830.9	NK	5.00	2.9E-04	-3.54
DA049	410.8	1826.2	NK	5.00	1.0E-03	-3.00
DA054	412.6	1825.6	NK	5.02	3.0E-04	-3.52
GA0075	360.4	1787.4	NK	5.00	1.0E-03	-3.00
DA074	406.2	1826.4	NK	7.08	1.3E-03	-2.89
GA0132	407.7	1819.9	NK	5.05	1.0E-03	-3.00
GA0124	408.0	1823.0	NK	6.07	3.1E-04	-3.51
DA020	350.3	1802.1	NK	6.86	1.0E-03	-3.00
GA0142	411.1	1817.0	NK	5.10	4.2E-05	-4.38
GA0012	357.9	1803.0	NK	5.15	2.1E-05	-4.63
GA0056	386.5	1817.7	NK	5.25	4.1E-05	-4.39
DA022	350.8	1802.0	NK	5.50	1.0E-03	-3.00
GA0002	357.6	1791.1	NK	9.00	4.2E-04	-3.38
GA0156	421.9	1816.1	NK	6.22	5.5E-06	-5.26
GA0134	404.6	1821.2	NK	4.98	4.5E-04	-3.35
DA050	411.4	1825.2	NK	6.00	1.0E-03	-3.00
GA0039	366.5	1825.7	NK	10.46	3.4E-05	-4.47
DA035	361.5	1831.7	NK	5.00	1.0E-03	-3.00
DA009	349.7	1799.3	NK	8.54	6.5E-04	-3.19
GA0068	360.2	1814.9	NK	4.95	1.7E-05	-4.77
DA021	350.5	1802.0	NK	7.00	1.1E-03	-2.96
DA036	362.1	1832.3	NK	5.00	1.0E-03	-3.00
GA0138	403.1	1821.6	NK	5.02	1.8E-04	-3.74
GA0037	366.2	1826.8	NK	7.95	1.0E-03	-3.00
GA0015	358.3	1803.1	NK	5.05	7.8E-05	-4.11
DA018	349.5	1796.2	NK	6.00	1.0E-03	-3.00
GA0048	388.0	1820.8	NK	4.85	2.3E-04	-3.64

PIEZO #	MTUX	MTUY	GEOL CODE	PROFBCRE M/SOL	K (CM/SEC)	LOG (KK)
GA0050	388.8	1818.8	NK	5.10	1.6E-05	-4.80
GA0063	381.5	1816.0	NK	5.10	6.5E-05	-4.19
GA0106	384.4	1803.8	NK	6.95	1.0E-05	-5.00
GA0017	357.5	1803.1	NK	4.99	2.9E-04	-3.54
DA015	348.8	1796.5	NK	5.00	1.0E-03	-3.00
DA019	350.1	1802.1	NK	7.02	3.1E-04	-3.51
DA046	409.7	1827.1	NK	7.00	1.0E-03	-3.00
GA0127	408.0	1823.0	NK	6.08	3.5E-04	-3.46
DA057	403.9	1826.4	NK	7.00	1.0E-03	-3.00
GA0052	384.8	1815.8	NK	4.85	4.1E-04	-3.39
DA027	368.0	1828.9	NK	4.00	1.0E-03	-3.00
GA0081	364.4	1790.9	NK	4.90	3.4E-05	-4.47
DA016	349.0	1796.4	NK	6.00	1.0E-03	-3.00
GA0049	388.0	1820.8	NK	5.10	6.6E-04	-3.18
DA061	400.7	1825.3	NK	5.00	1.0E-03	-3.00
GA0014	358.1	1803.0	NK	4.86	7.8E-05	-4.11
GA0098	382.2	1805.1	NK	6.90	9.5E-06	-5.02
GA0060	385.3	1819.7	NK	6.22	2.4E-04	-3.62
DA065	393.1	1830.7	NK	5.00	1.0E-03	-3.00
GA0044	369.8	1824.9	NK	6.46	8.5E-07	-6.07
GA0018	358.8	1803.2	NK	5.00	1.0E-03	-3.00
GA0065	378.9	1816.8	NK	5.06	4.2E-05	-4.38
DA059	400.6	1825.5	NK	5.00	1.0E-03	-3.00
GA0145	413.8	1816.1	NK	5.83	3.3E-06	-5.48
DA017	349.2	1796.3	NK	6.00	1.0E-03	-3.00
GA0047	388.0	1820.8	NK	5.05	2.2E-04	-3.66
DA067	393.1	1827.6	NK	4.50	1.0E-03	-3.00
GA0135	403.4	1820.2	NK	4.98	3.1E-04	-3.51
DA030	369.0	1832.8	NK	9.00	1.0E-03	-3.00
GA0130	407.7	1821.1	NK	5.10	1.0E-04	-4.00
DA047	409.6	1825.4	NK	7.00	4.4E-04	-3.36
GA0069	383.1	1814.9	NK	5.10	5.4E-05	-4.27
DA070	383.0	1828.8	NK	5.00	1.0E-03	-3.00
GA0200	413.1	1813.5	QAM	10.05	1.6E-04	-3.80
GA0159	421.9	1813.0	QAM	5.44	3.1E-05	-4.51
DA041	408.0	1829.3	QAM	11.03	1.0E-03	-3.00
GA0162	420.8	1812.5	QAM	5.03	9.0E-07	-6.05
GA0154	424.6	1816.6	QAM	4.93	1.9E-05	-4.72
GA0202	403.5	1812.7	QAM	8.12	5.5E-06	-5.26
GA0150	424.0	1817.7	QAM	6.05	1.6E-04	-3.80
GA0161	421.6	1812.2	QAM	4.98	4.6E-05	-4.34
GA0148	410.1	1813.8	QAM	7.25	2.8E-04	-3.55

184

LISTE DES VALEURS DE CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE CARACTERISANT
LE COMPARTIMENT INFERIEUR DE L'AQUIFERE

COMPARTIMENT INFERIEUR AQUIFERE = PROF. CREPINE > 13.0 M/SOL

STATISTIQUES	PROFBK	(KK) (CM/SEC)	LOG (KK)
NBRE.	74	74	74
MIN.	13.0	1.8E-07	-6.74
MAX.	49.2	5.5E-03	-2.26
MOYENNE	26.5	6.3E-04	-3.71
ECART TYPE	9.5	7.2E-04	0.97

PIEZO #	MTUX	MTUY	GEOL CODE	PROFBK M/SOL	KK (CM/SEC)	LOG (KK)
DA079	421.4	1826.6	CT	23.9	1.0E-03	-3.00
DA055	403.9	1826.4	CT	49.0	2.5E-05	-4.60
DA077	420.0	1829.2	CT	29.3	1.1E-03	-2.96
DA080	421.4	1826.6	CT	15.9	8.3E-04	-3.08
DA089	420.2	1830.8	CT	29.2	1.0E-03	-3.00
GA0199	413.1	1813.5	EM	29.1	7.4E-06	-5.13
GA0146	410.1	1813.8	EM	48.0	1.0E-03	-3.00
A0196	413.2	1809.2	EM	29.2	1.1E-05	-4.96
GA0103	384.1	1802.0	EM	38.9	1.0E-03	-3.00
A0192	417.5	1807.5	EM	48.3	1.4E-06	-5.85
GA0201	408.5	1812.7	EM	25.0	7.7E-06	-5.11
A0147	410.1	1812.8	EM	29.5	1.1E-06	-5.96
GA0119	390.3	1806.8	EM	28.8	1.0E-03	-3.00
A0198	413.1	1813.5	EM	47.5	2.7E-04	-3.57
GA0191	417.5	1807.5	EM	17.3	1.0E-03	-3.00
A0203	406.2	1814.6	EM	47.9	2.6E-05	-4.59
GA0151	424.0	1817.7	EMP	29.2	1.0E-03	-3.00
A0160	421.9	1813.0	EMP	19.0	1.8E-07	-6.74
GA0155	424.6	1816.6	EMP	19.1	1.2E-04	-3.92
A0025	351.3	1792.0	IN	21.0	6.5E-04	-3.19
GA0008	358.9	1788.7	IN	49.2	1.0E-03	-3.00
A0054	386.5	1817.7	IN	39.1	7.3E-05	-4.14
DA034	360.7	1831.0	IN	24.0	1.0E-03	-3.00
DA085	423.4	1822.2	IN	24.0	1.3E-04	-3.89
DA002	349.2	1797.6	IN	23.0	1.0E-03	-3.00
A0036	366.2	1826.6	IN	27.9	1.6E-04	-3.80
DA010	346.7	1799.3	IN	34.6	1.0E-03	-3.00
A0013	358.1	1803.1	IN	19.0	1.8E-04	-3.74
GA0009	361.8	1785.6	IN	24.9	1.0E-03	-3.00
A024	360.0	1827.4	IN	17.0	2.8E-04	-3.55
GA0125	408.6	1823.0	IN	29.5	1.0E-05	-5.00
A0071	358.2	1784.3	IN	19.2	3.1E-04	-3.51
DA058	400.6	1825.5	IN	18.0	1.0E-03	-3.00
A084	423.4	1822.2	IN	19.5	5.5E-03	-2.26
GA0131	407.7	1819.9	IN	28.6	6.8E-06	-5.17
A032	360.7	1831.0	IN	28.0	6.4E-04	-3.19
GA0092	375.0	1800.6	IN	27.4	1.0E-03	-3.00
GA0020	351.7	1792.9	IN	19.0	6.9E-04	-3.16
GA0099	381.5	1803.9	IN	30.0	1.0E-03	-3.00

185

PIEZO #	MTUX	MTUY	GEOL CODE	PROFBK M/SOL	KK (CM/SEC)	LOG (KK)
GA0084	367.9	1795.7	IN	16.7	2.1E-05	-4.68
GA0021	351.7	1792.9	IN	13.0	1.0E-03	-3.00
A056	403.9	1826.4	IN	22.0	1.0E-03	-3.00
DA081	422.2	1823.9	IN	21.8	1.0E-03	-3.00
A0076	362.1	1787.8	IN	19.0	1.0E-03	-3.00
DA013	346.7	1799.3	IN	34.8	1.0E-03	-3.00
A0090	370.5	1799.6	IN	19.1	1.0E-05	-5.00
GA0046	388.0	1820.8	IN	29.4	1.0E-03	-3.00
A0011	357.9	1803.0	IN	19.1	1.5E-04	-3.82
GA0085	369.6	1796.4	IN	19.3	2.9E-06	-5.54
A0110	382.8	1806.4	IN	29.0	2.9E-05	-4.54
DA023	367.9	1827.5	IN	49.0	1.0E-03	-3.00
A0003	355.7	1792.4	IN	19.0	3.8E-04	-3.42
GA0066	378.7	1815.6	IN	23.9	2.9E-06	-5.54
A0022	351.7	1792.8	IN	19.0	1.0E-03	-3.00
DA001	349.7	1799.3	IN	32.7	1.0E-03	-3.00
A0029	368.7	1825.3	IN	29.0	9.3E-04	-3.03
GA0038	366.2	1827.8	IN	29.5	2.8E-06	-5.55
A0019	359.2	1803.3	IN	17.0	3.7E-05	-4.43
DA062	400.8	1825.1	IN	14.0	1.0E-03	-3.00
A0026	351.3	1792.0	IN	14.0	3.1E-04	-3.51
GA0111	383.9	1806.2	IN	29.0	1.0E-03	-3.00
A0035	366.3	1826.3	IN	28.9	2.5E-05	-4.60
DA029	369.0	1832.8	IN	29.0	1.0E-03	-3.00
A0016	358.5	1803.1	IN	18.9	1.6E-04	-3.80
GA0101	382.3	1802.7	IN	13.5	2.0E-05	-4.70
A0006	353.9	1794.1	IN	13.0	6.2E-04	-3.21
GA0023	351.7	1792.8	IN	13.0	1.1E-03	-2.96
A0152	424.0	1817.7	M	41.3	3.4E-06	-5.47
DA069	383.0	1828.8	NK	29.0	1.0E-03	-3.00
A0194	419.0	1806.0	QAM	24.3	7.1E-04	-3.15
DA037	407.4	1826.1	QAM	28.0	1.0E-03	-3.00
A088	419.8	1830.1	QAM	19.9	1.0E-03	-3.00
DA048	410.8	1826.2	QAM	29.0	1.0E-03	-3.00
GA0107	385.5	1802.4	QAM	29.0	4.1E-04	-3.39

**FLEUVE SENEGAL
REGION DU DELTA**

**LISTE DES ECHANTILLONS D'EAU
SOUTERRAINE ET DE SURFACE**

**TABLEAUX DES RESULTATS
ET
REPRESENTATIONS GRAPHIQUES**

ANNEXE 6

1. Variation des chlorures en fonction de l'éloignement de l'échantillon d'eau au cours d'eau le plus près

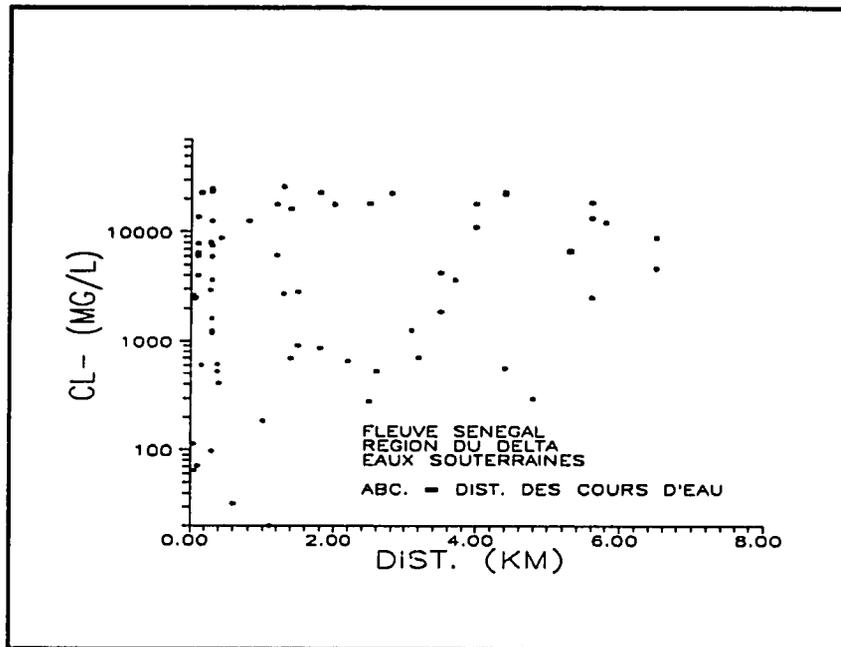


Figure 1 gw_dist.pic

2. Variation des chlorures en fonction de la profondeur de collecte de l'échantillon d'eau par rapport au sol

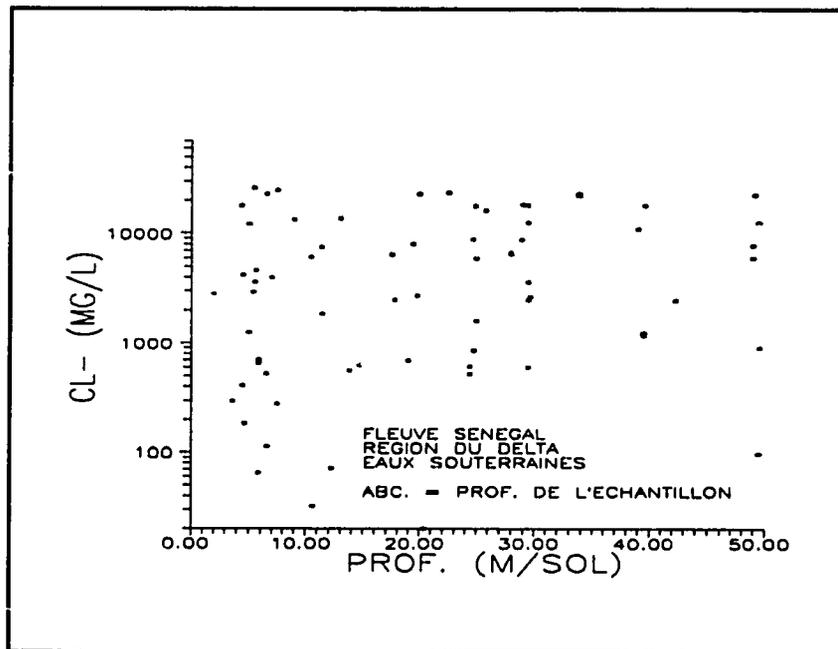


Figure 2 prof_cl.pic

3. Eau souterraine - Variation de S.A.R (coefficient d'absorption du sodium) en fonction de T.D.S (solides totaux dissous).

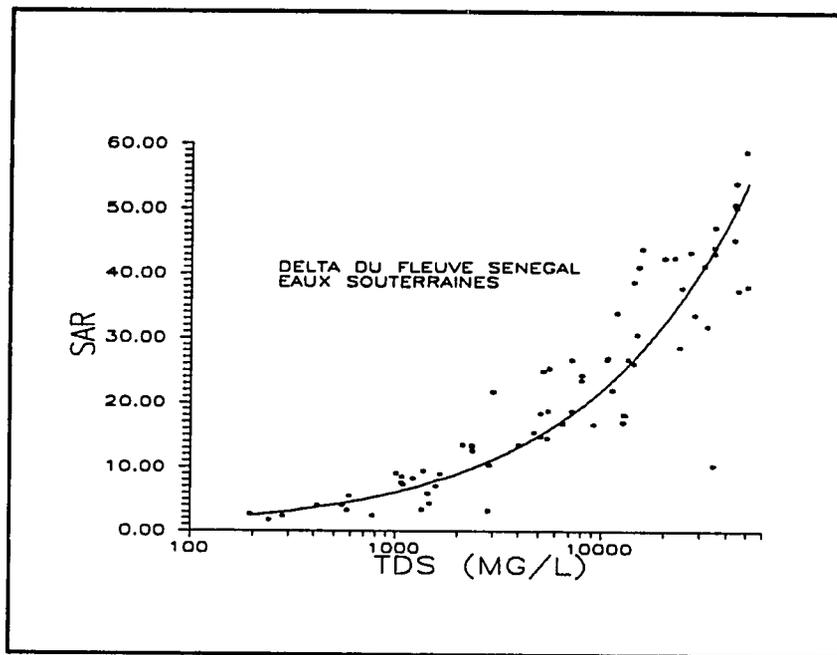


Figure 3 GW_SARTD.PIC

EQUATION MEILLEUR AJUSTEMENT CORELLATION
 S.A.R. = $(TDS^{0.55614}) * 0.130867$ BONNE

4. Eau de surface - Variation de S.A.R (coefficient d'absorption du sodium) en fonction de T.D.S (solides totaux dissous).

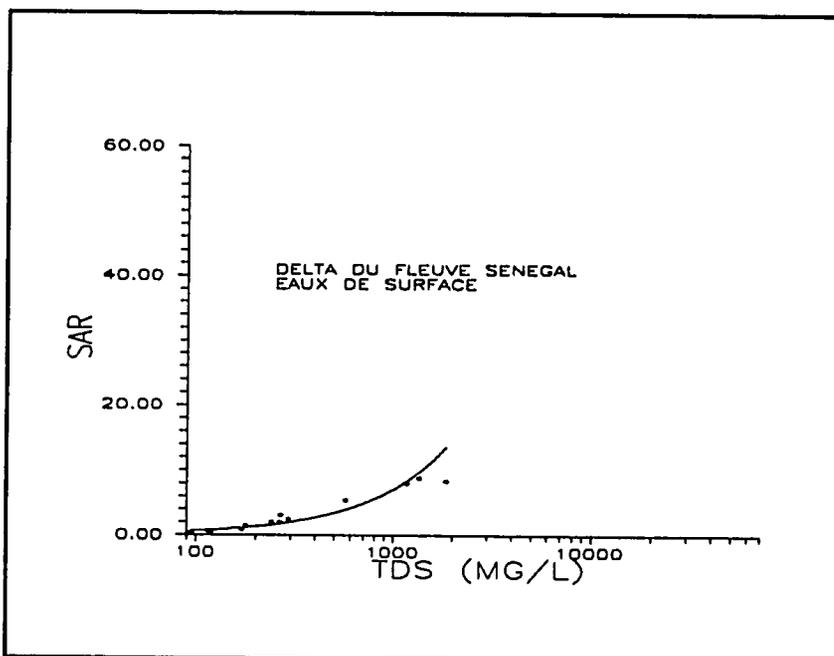


Figure 4 SW_SARTD.PIC

EQUATION MEILLEUR AJUSTEMENT CORELLATION
 S.A.R. = $(TDS^{1.03883}) * 0.005443$ EXCELLENTE

5. Eau souterraine - Variation de S.A.R (coefficient d'absorption du sodium) en fonction de CA++ (calcium)

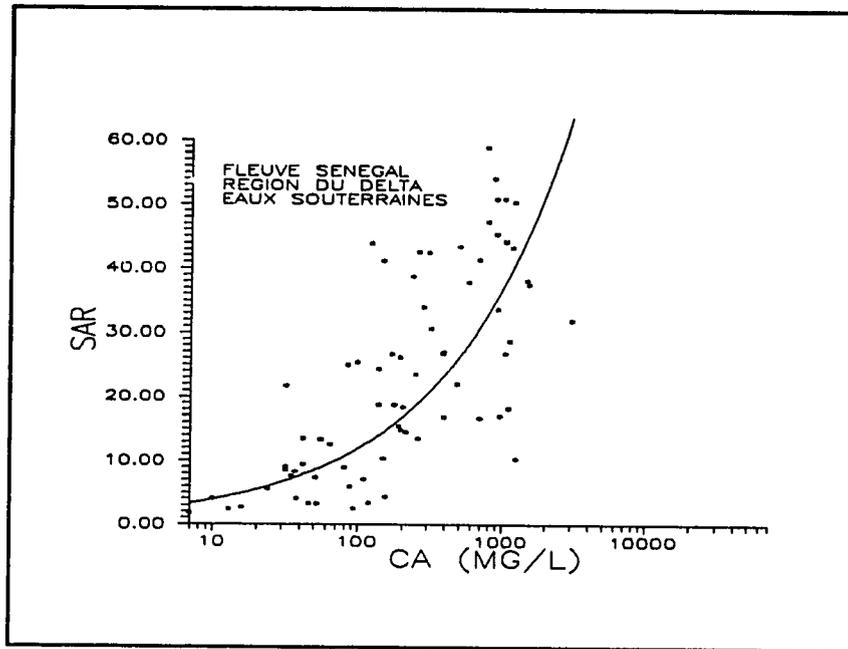


Figure 5 gw_sarca.pic

EQUATION MEILLEUR AJUSTEMENT CORELLATION
 S.A.R. = ((CA)^{0.488559}) * 1.26187 FAIBLE

6. Eau souterraine - Variation de S.A.R (coefficient d'absorption du sodium) en fonction de MG++ (magnésium)

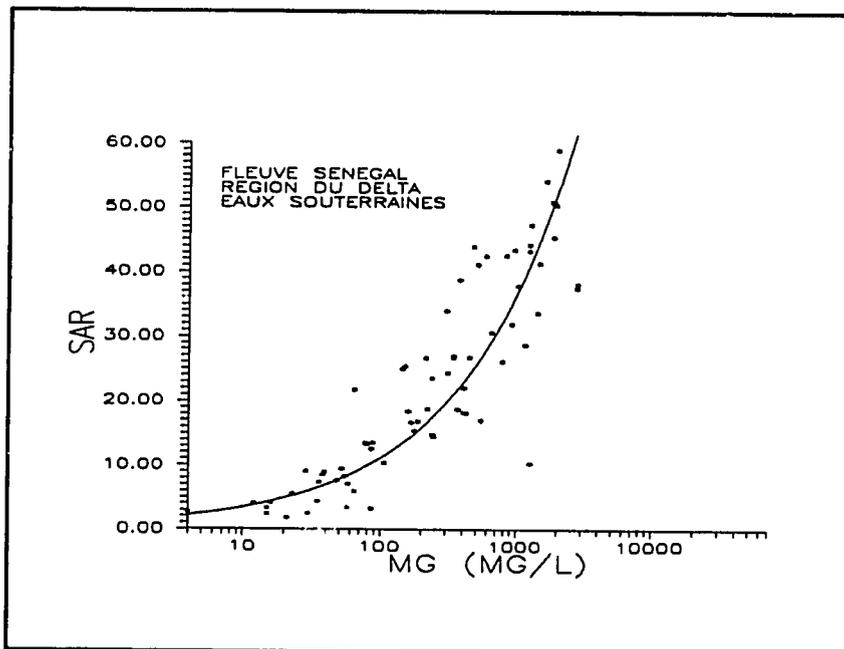


Figure 6 gw_sarmg.pic

EQUATION MEILLEUR AJUSTEMENT CORELLATION
 S.A.R. = ((MG)^{0.515016}) * 1.04045 MOYENNE

1970

7. Eau souterraine - Variation de S.A.R (coefficient d'absorption du sodium) en fonction de NA+ (sodium)

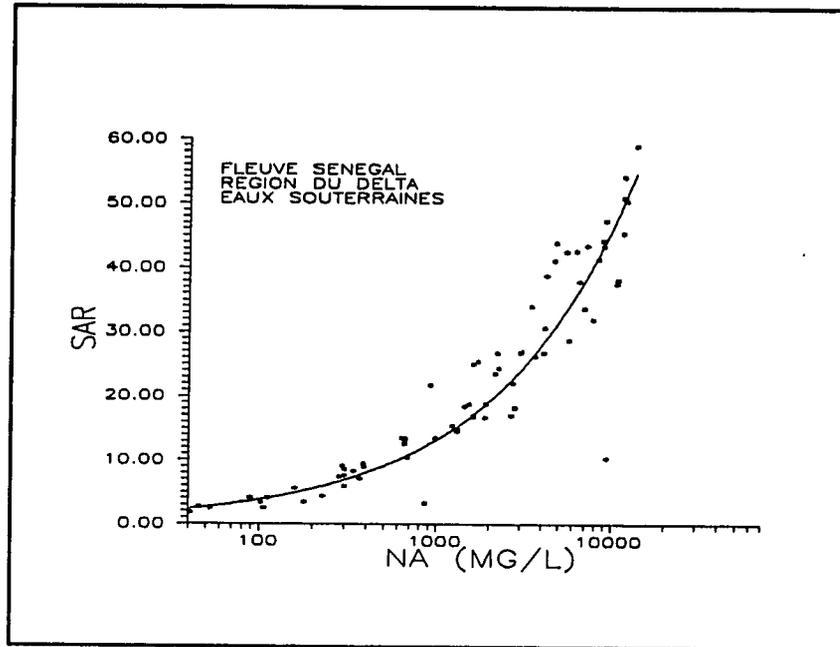


Figure 7 gw_sarna.pic

EQUATION MEILLEUR AJUSTEMENT CORELLATION
S.A.R. = ((NA)^{0.541698}) * 0.31298 BONNE

191

Les mêmes relations relatives aux eaux souterraines ont été recherchées entre les Solides Totaux Dissous (T.D.S.) et les différents éléments chimiques. Voici ci-dessous, les équations du meilleur ajustement trouvés:

DELTA DU FLEUVE SENEGAL
EAUX SOUTERRAINES
GRAPHIQUES LOG(TDS) = FCT(LOG(X))

GRAPHIQUES	EQ. MEILLEUR AJUSTEMENT	CORRELATION
LOG(TDS) = FCT(LOG(CA++))	$TDS = ((CA)^{0.978139}) * 34.6768$	BONNE
LOG(TDS) = FCT(LOG(MG++))	$TDS = ((MG)^{0.941925}) * 38.1685$	EXCELLENTE
LOG(TDS) = FCT(LOG(NA+))	$TDS = ((NA)^{0.946413}) * 5.777$	EXCELLENTE
LOG(TDS) = FCT(LOG(K+))	$TDS = ((K)^{1.085129}) * 42.4127$	BONNE
LOG(TDS) = FCT(LOG(CL-))	$TDS = ((CL)^{0.833718}) * 8.42727$	EXCELLENTE
LOG(TDS) = FCT(LOG(SO4--))	$TDS = ((SO4)^{0.450684}) * 450.962$	NULLE
LOG(TDS) = FCT(LOG(HCO3--))	$TDS = ((HCO3)^{1.02367}) * 27.7757$	NULLE

RESULTATS D'ANALYSE D'EAU
PROVENANT DU LABORATOIRE SONADER

MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L -----RAPPORTS CARACTERISTIQUES DE L'EAU D
CA++ MG++ NA+ K+ CL- SO4-- HCO3-- CO3-- CL-/SO4-- CL-/NA+ MG++/CA++ NA+/K+ (MA+K+)/C

EAU DE MER

416 1312 10929 391 19677 2726 145 0 7.2 1.0 1.2 20.0 6.6

ID	DATE	PNELEV.	PROF.	GEOLOG.	CODE	NOM	COORS	EN	MG/L	HYDROGEOCHIMIQUE	RAPPORTS CARACTERISTIQUES DES EAUX S														
											CA++	MG++	NA+	K+	CL-	SO4--	HCO3--	CO3--	CL-/SO4--	CL-/NA+	MG++/CA++	NA+/K+	(MA+K+)/C		
AV150	02.0	1217.7	00	08-May-07	6.55	GM	N'A	CANAL TAQOBY	0.04	4.02	549	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	30	12	111	13	113	110	116	0	1.0	1.0	0.1	0.5	2.5
AV152	42.0	1217.7	00	08-May-07	42.29	N	N'A	CANAL TAQOBY	0.04	24.92	5260	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	84	143	1610	90	2474	615	345	0	4.0	1.5	1.7	16.5	7.6
AV151	42.0	1217.7	00	08-May-07	29.65	ENI	N'A	CANAL TAQOBY	0.04	25.39	5612	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	90	150	1713	99	2630	640	340	0	4.1	1.5	1.5	17.3	7.3
AV007	423.1	1212.6	00	20-Apr-00	10.63	GT	X	CANAL TAQOBY	0.60	1.75	240	BICARBONATE CALCIQUE ET MAGNESIENNE	7	21	41	21	32	55	140	0	0.6	0.0	3.0	2.0	2.2
AV001	157.6	1751.1	00	24-Feb-07	20.00	IN	A	DJEUSS	1.00	50.02	43024	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	1026	1043	11764	616	23113	3612	330	0	6.4	2.0	1.8	19.1	4.3
AV023	167.9	1227.5	00	04-Mar-07	49.02	IN	A	PL. SENEGAL	0.10	30.77	14267	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	236	379	4237	221	7070	211	354	0	37.3	1.9	1.6	19.2	7.2
AV029	166.7	1225.1	00	16-Apr-07	29.40	IN	A	PL. SENEGAL	0.00	42.62	22436	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	260	830	6270	309	12592	10	1305	0	1259.2	2.0	1.2	20.3	6.0
AV020	168.0	1227.0	00	11-Mar-07	17.50	IN	A	PL. SENEGAL	0.10	34.00	11845	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	280	304	3450	156	6416	336	317	0	19.1	1.9	1.1	22.1	6.2
AV026	168.1	1222.1	00	12-Mar-07	4.63	IN	A	PL. SENEGAL	1.00	2.45	775	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	93	30	106	13	104	205	140	0	0.9	1.7	0.1	0.2	1.0
AV021	167.9	1227.5	00	11-Mar-07	49.02	IN	A	PL. SENEGAL	0.10	27.02	10723	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	309	343	3031	111	6026	451	159	0	13.4	2.0	0.9	27.3	4.3
AV01	605.0	1229.1	00	13-Mar-07	11.40	GM	A	PL. SENEGAL	3.50	14.09	5409	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	212	245	1306	82	1050	1503	201	0	1.2	1.4	1.2	15.9	1.0
AV010	167.2	1222.6	00	14-Apr-07	20.90	IN	E	PL. SENEGAL	0.41	41.93	15652	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	122	477	4007	205	0792	72	976	0	122.1	1.0	1.9	16.9	3.5
AV002	167.7	1222.9	00	12-Feb-07	13.00	IN	K	PL. SENEGAL	0.10	43.44	26700	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	497	964	7204	367	13604	1444	140	0	9.5	1.9	1.4	19.6	5.2
AV011	421.0	1222.2	00	12-Jan-00	39.50	ENP	N	PL. SENEGAL	0.30	13.30	2160	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	55	70	650	70	1241	50	210	0	24.0	1.9	1.4	9.4	5.5
AV000	421.0	1222.2	00	11-Jan-00	39.50	ENP	N	PL. SENEGAL	0.30	13.30	2375	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	55	81	663	63	1244	65	201	0	19.1	1.9	1.5	10.5	5.3
AV001	421.0	1222.2	00	15-Apr-07	19.50	ENP	N	PL. SENEGAL	0.30	13.45	2130	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	42	70	630	66	1104	22	109	0	53.0	1.9	1.9	9.7	5.9
AV005	421.0	1222.2	00	14-Mar-07	25.00	IN	N	PL. SENEGAL	0.30	3.21	2040	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	52	86	062	83	1602	30	260	0	42.2	1.9	1.7	10.4	6.0
AV005	421.0	1222.2	00	20-Mar-07	25.00	IN	N	PL. SENEGAL	0.30	26.01	10626	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	305	345	3006	111	5956	500	159	0	11.9	2.0	0.9	27.1	4.3
AV006	421.0	1222.2	00	20-Feb-07	39.50	ENP	N	PL. SENEGAL	0.30	12.50	2309	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	64	86	655	63	1104	150	214	0	7.9	1.0	1.1	10.4	4.0
AV057	401.9	1226.0	00	17-Feb-07	49.50	CY	N'	PL. SENEGAL	0.30	2.30	200	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	13	15	53	7	90	25	00	0	3.9	1.0	1.2	7.6	2.1
AV012	160.7	1211.0	00	23-Apr-07	20.00	IN	N'	PL. SENEGAL	5.30	26.79	13464	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	1042	445	4099	94	6721	1064	120	0	6.3	1.6	0.4	43.6	2.0
AV025	166.5	1217.7	00	17-Apr-07	39.03	IN	N'	PL. SENEGAL	4.00	42.51	20016	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	305	591	5520	246	11060	0	574	0	ERR	2.0	1.9	22.4	6.4
AV025	401.9	1226.0	00	19-Feb-07	49.50	CY	N'	PL. SENEGAL	0.30	37.00	24360	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	573	1010	6555	321	12620	2142	354	0	5.9	1.9	1.0	20.4	4.3
AV002	162.9	1216.0	00	26-Nov-07	5.60	IN	N'	PL. SENEGAL	6.50	24.31	8040	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	130	312	2254	102	4594	40	103	0	95.7	2.0	2.3	22.1	5.2
AV050	401.9	1226.0	00	26-Feb-07	22.50	IN	N'	PL. SENEGAL	0.30	37.50	45520	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	1523	2010	10695	411	23601	5203	190	0	4.5	2.2	1.9	26.0	2.6
AV012	160.7	1211.0	00	10-Feb-07	20.00	IN	N'	PL. SENEGAL	5.30	17.04	12740	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	962	544	2660	107	6500	1153	153	0	5.7	2.5	0.6	24.9	1.0
AV002	162.9	1216.0	00	26-Nov-07	24.70	IN	N'	PL. SENEGAL	6.50	41.12	15000	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	146	514	4706	199	8027	40	040	0	103.9	1.9	0.5	23.6	7.4
AV012	160.7	1211.0	00	06-Jan-00	20.00	IN	N'	PL. SENEGAL	5.30	10.26	12000	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	1112	406	2799	95	6700	947	159	0	7.1	2.4	0.4	29.5	1.9
AV057	401.9	1226.0	00	19-Feb-07	7.50	IN	N'	PL. SENEGAL	0.30	50.35	44040	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	1202	1960	12190	745	24015	2305	220	0	10.0	2.0	1.0	16.4	4.1
AV022	160.7	1211.0	00	07-Jan-00	20.00	IN	N'	PL. SENEGAL	5.30	18.12	13020	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	1102	421	2700	94	6721	900	160	0	6.9	2.4	0.4	29.7	1.9
AV012c	400.0	1223.0	00	22-Apr-07	6.51	IN	N'	PL. SENEGAL	0.15	30.14	50490	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	1403	2045	10079	444	22972	5523	314	0	4.2	2.1	1.9	24.5	2.6
AV010	407.0	1226.1	00	07-Mar-07	11.34	IN	N'A	PL. SENEGAL	0.30	26.16	14299	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	192	705	3662	195	7572	1067	213	0	7.1	2.1	4.1	10.0	3.9
AV017	407.0	1226.1	00	07-Mar-07	29.50	IN	N'A	PL. SENEGAL	0.30	16.05	6500	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	393	107	1620	106	3644	10	409	0	364.4	2.2	0.5	15.3	3.0
AV014	150.1	1203.0	00	20-Nov-07	5.16	IN	N'A	PL. SENEGAL	0.20	10.00	5525	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	130	222	1532	90	2920	461	116	0	6.4	1.9	1.6	17.0	4.0
AV011	152.1	1203.1	00	20-Nov-07	10.47	IN	N'A	PL. SENEGAL	0.20	30.63	14060	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	317	654	4154	100	0012	1249	140	0	6.4	1.9	2.1	22.1	4.5
AV001	160.7	1217.7	00	20-Jan-00	13.41	IN	P	PL. SENEGAL	4.40	45.36	43240	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	902	1003	11632	665	23233	4203	330	0	5.5	2.0	2.1	17.5	4.4
AV001	160.7	1217.7	00	20-Jan-00	13.41	IN	P	PL. SENEGAL	4.40	45.36	43240	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	1026	1043	11764	616	23113	3612	330	0	6.4	2.0	1.8	19.1	4.3

13

STATS D'ANALYSE D'EAU
PAR LE LABORATOIRE SCHADER

EAU DE MER

N°	MTH-X	MTH-Y	CM/SM	DATE	H/SOL	CODE	CODE	NOM	COOR	EN	MG/L		HYDROGEOCHIMIQUE	
											D'EAU	DIST.S.A.R.	SOLIDES	FACIES
16	155.9	1701.6	CM	12-Nov-87	12.21	IN	L	LAMPSAR		0.10	2.67	195	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
17	177.8	1796.5	CM	12-Nov-87	2.00	IN	L	LAMPSAR		1.50	16.71	9100	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
18	179.6	1796.4	CM	24-Nov-87	19.00	IN	N'	LAMPSAR		1.30	14.86	5110	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
19	165.5	1802.4	CM	25-Nov-87	29.50	QAM	N'	LAMPSAR		5.60	15.47	4755	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
20	179.6	1796.4	CM	05-Mar-87	5.40	IN	N'	LAMPSAR		1.30	50.90	49040	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
21	164.1	1802.0	CM	14-Mar-87	39.60	IN	N'	LAMPSAR		4.00	47.32	34060	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
22	161.9	1806.2	CM	25-Mar-87	7.50	IN	N'D	LAMPSAR		2.50	5.57	590	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
23	161.9	1806.2	CM	19-Mar-87	29.45	IN	N'D	LAMPSAR		2.50	43.33	34720	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
24	161.0	1760.0	CM	12-Nov-87	4.39	IN	Q	LAMPSAR		2.00	10.32	34500	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
25	160.9	1765.7	CM	27-Feb-87	49.10	IN	Q	LAMPSAR		2.00	54.06	44076	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
26	161.0	1765.6	CM	27-Feb-87	24.90	IN	R	LAMPSAR		1.20	44.19	34756	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
27	161.0	1765.6	CM	27-Feb-87	14.47	IN	R	LAMPSAR		1.20	22.05	11305	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
28	161.5	1767.6	CM	12-Nov-87	4.00	IN	R	LAMPSAR		0.40	5.96	1445	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
29	175.2	1765.0	CM	12-Nov-87	14.75	IN	X	LAMPSAR		0.40	4.32	1475	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
30	161.0	1810.1	CM	17-Mar-87	26.40	QAM	N	HARIGOT GABAR		1.10	4.06	415	SULFATE SODIQUE	
31	177.8	1810.0	CM	01-Mar-87	49.60	IT	N'	HARIGOT GABAR		1.50	21.60	2990	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
32	161.1	1826.7	CM	13-Feb-87	7.00	NR	N'	HARIGOT COVRE		0.10	10.77	7203	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
33	161.1	1810.7	CM	12-Feb-87	5.00	NR	N'	HARIGOT COVRE		3.10	10.39	2071	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
34	161.9	1826.7	CM	12-Feb-87	25.00	IN	N'	HARIGOT COVRE		1.40	41.37	31277	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
35	161.2	1814.7	CM	12-Nov-87	5.00	NR	R	HARIG. DIADIER		2.20	7.11	1505	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	
36	161.0	1771.2	CM	12-Nov-87	4.50	NC	P	MCALAN		3.50	23.53	7900	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	

MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L -----RAPPORTS CARACTERISTIQUES DE L'EAU DE MER-----
CA++ MG++ NA+ K+ CL- SO4-- HCO3-- CO3- CL-/SO4-- CL-/NA+ MG+/CA++ NA+/K+ (NA+K+)/((CA++MG++))

416 1312 10929 391 19677 2726 145 0 7.2 1.0 3.2 20.0 6.6

MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L -----RAPPORTS CARACTERISTIQUES DES EAUX SOUTERRAINES-----
CA++ MG++ NA+ K+ CL- SO4-- HCO3-- CO3- CL-/SO4-- CL-/NA+ MG+/CA++ NA+/K+ (NA+K+)/((CA++MG++))

16	4	46	7	71	34	43	0	2.1	1.5	0.3	6.6	2.7	
17	609	160	1006	391	2036	2670	350	0	1.1	1.5	0.2	4.0	2.7
18	196	240	1312	33	2700	394	103	0	6.9	2.1	1.2	39.0	3.1
19	100	176	1220	33	2496	200	122	0	0.7	2.0	0.9	37.2	3.5
20	770	2023	13720	690	26091	3609	476	0	7.1	1.9	2.6	19.7	5.2
21	705	1274	9228	479	17973	2113	470	0	0.5	1.9	1.6	19.3	4.7
22	24	23	159	11	270	40	55	0	5.0	1.7	1.0	14.5	3.6
23	1170	1245	8970	420	10150	1960	403	0	9.3	2.0	1.1	21.1	3.9
24	1242	1265	9430	410	17667	3775	241	0	4.7	1.9	1.0	23.0	3.9
25	866	1654	11764	639	22600	3074	342	0	7.4	1.9	1.9	10.4	4.9
26	1050	1240	8924	365	17923	2190	91	0	0.2	2.0	1.2	24.4	4.1
27	401	400	2719	130	6119	200	116	0	21.2	2.3	0.0	19.7	3.2
28	80	64	301	59	411	200	409	0	1.4	1.4	0.7	5.1	2.4
29	154	35	220	27	631	13	201	0	40.5	2.0	0.2	8.4	1.3
30	10	16	89	20	20	165	110	0	0.1	0.2	1.6	4.5	4.2
31	32	64	923	83	907	751	500	0	1.2	1.0	2.0	11.1	10.5
32	176	369	1909	117	3999	304	244	0	10.4	2.1	2.1	16.1	3.7
33	140	106	670	70	1240	567	70	0	2.2	1.0	0.7	6.7	1.0
34	601	1402	8395	461	16236	3266	305	0	5.0	1.9	2.2	10.2	4.1
35	110	50	370	39	659	102	250	0	3.6	1.0	0.5	9.5	2.4
36	240	230	2162	137	4197	259	336	0	16.2	1.9	1.0	15.0	4.7

74 ECHANTILLONS EAU SOUTERRAINE

1996

ESPECES D'ANALYSE D'EAU
 NOM DU LABORATOIRE SOMAIFR

EAU DE MER

MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L MG/L -----RAPPORTS CARACTERISTIQUES DE L'EAU DE MER--
 CA++ MG++ NA+ B- CL- SO4-- HCO3-- CO3-- CL-/SO4-- CL-/NA+ MG+/CA++ NA+/B- (NA+6B-)/(CA++6MG+)

416 1312 10929 391 19677 2726 145 0 7.2 1.8 3.2 28.0 6.6

STATION	DATE	N/SOL	CODE	CODE	NOM COMMS	IN	MG/L	HYDROGEOCHIMIQUE								RAPPORTS CARACTERISTIQUES DES EAUX SOUTERRAINES						
								CA++	MG++	NA+	B-	CL-	SO4--	HCO3--	CO3--	CL-/SO4--	CL-/NA+	MG+/CA++	NA+/B-	(NA+6B-)/(CA++6MG+)		
001	26-Feb-87	0.00	IN	A	DJEUSS	1.00	5.39	567	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	21	21	146	12	275	60	55	0	4.6	1.9	1.0	12.2	3.0
002	11-Apr-87	0.00	IN	A	FL. SENEGAL	0.00	0.36	1060	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	80	77	445	33	899	150	116	0	5.7	2.0	0.9	13.5	2.9
003	26-Feb-87	0.00	IN	B	FL. SENEGAL	0.10	5.39	567	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	21	21	146	12	275	60	55	0	4.6	1.9	1.0	12.2	3.0
004	27-Feb-87	0.00	ENP	M	FL. SENEGAL	0.30	0.84	171	BICARBONATE CALCIQUE ET MAGNESIENNE	15	12	10	5	27	6	101	0	4.5	1.5	0.0	3.6	0.9
005	11-Apr-87	0.00	IN	M'	FL. SENEGAL	1.10	3.11	267	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	0	0	52	7	99	0	67	0	ERR	1.9	1.0	7.4	3.7
006	10-Nov-87	0.00	CT	M'	FL. SENEGAL	0.70	0.63	115	BICARBONATE CALCIQUE ET MAGNESIENNE	6	2	7	2	10	4	24	0	2.5	1.4	0.3	3.5	1.1
007	16-Nov-87	0.00	IN	M'	FL. SENEGAL	5.70	0.62	120	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	6	6	9	2	14	21	27	0	0.7	1.6	1.0	4.5	0.9
008	24-Feb-87	0.00	NE	M'A	FL. SENEGAL	0.30	1.46	170	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	10	12	29	4	51	23	73	0	2.2	1.0	1.2	7.1	1.5
009	23-Feb-87	0.00	GM	M'A	FL. SENEGAL	0.30	1.97	263	SULFATE SODIQUE	13	11	40	12	11	125	37	0	0.1	0.3	0.0	1.1	2.2
010	16-Mar-87	0.00	NE	M'A	FL. SENEGAL	0.30	0.39	95	BICARBONATE CALCIQUE ET MAGNESIENNE	6	4	5	2	0	0	24	0	ERR	1.6	0.7	2.5	0.7
011	21-Apr-87	0.00	IN	M'D	GMON	0.30	7.97	1170	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	37	55	327	19	504	62	174	0	9.4	1.0	1.5	17.7	3.0
012	06-May-87	0.00	EN	B	LAC DE GUIERS	0.10	2.45	243	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	21	14	59	10	80	37	104	0	2.4	1.5	0.7	5.9	2.0
013	25-May-87	0.00	EN	B	LAC DE GUIERS	0.06	2.01	240	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	25	9	46	10	71	25	92	0	2.0	1.5	0.4	4.6	1.6
014	15-Mar-87	0.00	PH	M'	LAMPSAR	4.00	0.85	1356	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	60	36	351	33	504	92	226	0	6.3	1.7	0.6	10.6	4.0
015	16-Mar-87	0.00	IN	M'	LAMPSAR	4.00	0.85	1354	CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE	60	36	351	33	504	92	226	0	6.3	1.7	0.6	10.6	4.0

15 ECHANTILLONS D'EAU DE SURFACE

195

**FLEUVE SENEGAL
REGION DU DELTA**

**PESTICIDES ET HERBICIDES
UTILISES
PAR LA
CSS ET LA SAED**

**NATURE
ET
TAUX D'EPANDAGE**

ANNEXE 7

TABLEAU #1: ENGRAIS UTILISEES DANS LES LIMITES DE LA PLANTATION DE CANNES A SUCRE A RICHARD TOLL SUR PLUS DE 7000 ha.

ENGRAIS	PLANTATION KG/Ha	REPOUSSES Kg/Ha
UREE	275	275
TSP	300	100
KCL	125	125
<u>POIDS TOTAL</u>		
MELANGE	700	500

TABLEAU #2: CSS - LISTE DES HERBICIDES UTILISES DANS LES LIMITES DE LA PLANTATION DE CANNE A SUCRE

PRODUITS	UNITE
2-4-D AMINE	1
2-4-D ESTER	1
ACTRIL D.S	1
ASULOX	1
DALAPON	Kg
DIURON	Kg
GESAPAX 500 FW	1
GESAPAX 80 WP	Kg
GESAPRIM	1
GESAPRIM	Kg
GESAPAX COMBI 500 FW	1
GESAPAX COMBI 80 WP	1
ROUND-UP	1
SENCOR70 WP	Kg
VELPAR	Kg
WEEDAZOL TL	1
WEEDAZOL TS	Kg
MOUILLANT	1

197

TABLEAU #3: SAED - RELEVÉ DES POIDS TOTAUX ET TAUX MOYEN D'ÉPANDAGE DES ENGRAIS PAR PÉRIMÈTRE DANS LES LIMITES DU DELTA DU FLEUVE SENÉGAL

DELTA PÉRIMÈTRES ANNUAL CYCLE	UREE-----		PHOSPHATES D'AMMONIAC (18-46-0)		
	SURFACE CULTIVÉE (Ha)	TONNAGE (T) TOTAL (T total)	T moyen PAR HECTARE (Kg/Ha)	TONNAGE (T) TOTAL (T total)	T moyen PAR HECTARE (Kg/Ha)
LAMPSAR	2,188.30	334.45	153.00	72.56	33.00
GRANDE DIGUE/TK	2,050.00	180.15	88.00	100.50	49.00
DEBI-BOUNDUM	2,827.40	366.78	130.00	124.30	44.00
RICHARD-TOLL	2,452.22	301.10	123.00	83.45	34.00
NDOMBO-THIAGO	382.53	87.15	171.00	1.40	4.00
TOTAL 1984/1985	9,900.45	1269.63	128.24	382.21	38.60
LAMPSAR	1,799.57	276.63	154.00	198.10	110.00
GRANDE DIGUE/TK	1,884.75	268.10	142.00	130.35	69.00
DEBI-BOUNDUM	3,025.63	450.91	149.00	274.62	91.00
RICHARD-TOLL	2,292.15	287.55	125.00	137.10	60.00
NDOMBO-THIAGO	320.00	57.45	180.00	4.70	15.00
TOTAL 1985/1986	9,322.10	1340.64	143.81	744.87	79.90
LAMPSAR	2,063.640	353.61	171.00	213.85	107.00
GRANDE DIGUE/TK	1,086.800	267.40	148.00	161.51	89.00
DEBI-BOUNDUM	3,014.110	428.12	142.00	252.60	84.00
RICHARD-TOLL	2,421.410	420.63	174.00	102.20	42.00
NDOMBO-THIAGO	436.610	57.29	131.00	0.20	0.50
TOTAL 1986/1987	9,022.570	1527.05	169.25	730.36	80.95

TABLEAU #4: SAED - RELEVÉ SUR L'ENSEMBLE DE LA VALLÉE DU FLEUVE SENÉGAL DES QUANTITÉS TOTALES DES ENGRAIS ÉPANDUES PAR CAMPAGNE AGRICOLE - PÉRIODE 1980 - 1987.

TYPE ENGRAIS	UREE		PHOSPHATES D'AMMONIAQUE	PHOSPHATES D'AMMONIAQUE
	QTEE TOTALE (T totale)	CAMPAGNES QTEE moy./HECT. (T/Ha)	QTEE TOTALE (T totale)	QTEE moy./HECT. (T/Ha)
1980/81	1464.4	171	1253.5	139
1981/82	1804.6	206	144.5	14
1982/83	1970.3	160	1106.7	91
1983/84	2392.0	161	1331.6	90
1984/85	2374.8	140	725.0	43
1985/86	2416.1	148	1067.9	65
1986/87	2808.7	171	1266.6	77

1988

TABEAU #5: SAED - LISTE DES PRODUITS HERBICIDES UTILISES DANS LES LIMITES DE LEURS PERIMETRES

PRODUIT	COMMERCIAUX	CONTAT	AU STADE	ACTIVE g/L	RECOMMENDEE (n.a)	REMANANCE	A FAIRE
PROPANIL	STAM F54	MONCOTYLEDONES	2-3 FEUILLES	340			
2500F/L EN 87/88	ANELECT SURCOPUR	DICOTYLEDONES	DES ADVENTICES	360	3 A 4 Kg	NON	APRES DRAINAGE
MOLINATE	ORDAAM	GRAMINEES	LEVES DES ADVENTICES ET PRE- PLANTATION	750	3 A 4 Kg	7 A 19j	LAME D'EAU 3-9 cm
GLYPHOSATE		TOUT	PLEINE CROISSANCE	360	1 TO 2 Kg OU 2 X 2 Kg A 15 D'INTERV.	15j	APRES DRAINAGE
OXADIAZON	RONSTAR 5800/l 88/89	BEUCOUP D'ADVENTICES		120	0,8 TO 1,5 Kg	60j	DANS L'EAU
BENTAZONE	BASAGRAM	CYPERACEES					
BENTAZONE + PROPANIL	BASAGRAM	CYPERACEES GRAMINEES DICOTILEDONES	FEUILLES DES ADVENTICES	160 540	3 TO 5 Kg	60j	APRES DRAINAGE
PARAQUAT	GRAMOXONE	TOUT	POST LEVES DES ADVENTICES	200	1Kg	2j	APRES DRAINAGE
FENOPROD	WEEDONE	CYPERACEES	2-5 FEUILLES	400	0,7 TO 1Kg	NON	APRES DRAINAGE

**FLEUVE SENEGAL
REGION DU DELTA**

**PROFILS PIEZOMETRIQUES
OBSERVES
SUR LES
LIGNES PIEZOMETRIQUES
PERPENDICULAIRES
AUX ABORDS DU FLEUVE**

**CYCLES HYDROGEOLOGIQUES
1988 ET 1989**

**FIN DE LA SAISON SECHE (JUN)
ET
FIN DE LA SAISON DES PLUIES (OCTOBRE)**

ANNEXE 8

200

**DELTA DU FLEUVE SENEGAL
 PROFILS PIEZOMETRIQUES TRANVERSAUX**

PROFIL PIEZOMETRIQUE	CODE #	MTU - X	MTU - Y	OBSERVATIONS
RG_BAR_1	L1	351.5 351.5	1793.5 1793.5	BARRAGE DE DIAMA RIVE GAUCHE
RD_BAR_1	L2	348.5 352.5	1797.0 1794.5	BARRAGE DE DIAMA RIVE DROITE
RD_BAR_2	L3	349.5 354.0	1802.0 1802.0	BARRAGE DE DIAMA RIVE DROITE
RG_THIEN	L4	357.5 359.5	1803.0 1803.0	ILE DE N'THIENG RIVE GAUCHE
RG_DEBI	L5	366.0 367.0	1827.0 1823.5	PERIMETRE DE DEBI RIVE GAUCHE
RD_DIEUK	L7	401.0 400.0	1825.0 1827.0	VILLAGE DE DIEUK RIVE DROITE

201-

1. Rive Gauche - Ligne piézométrique transversale au fleuve au droit du barrage de Diama - année 1988 - 1989

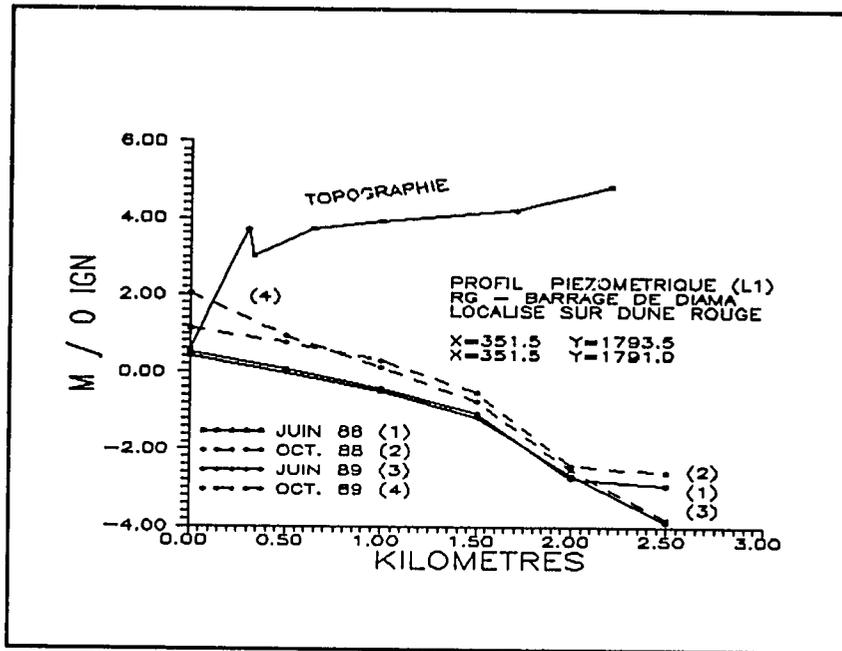


Figure 1 l1.pic

2. Rive Droite - profil piézométrique transversal au fleuve au droit du barrage de Diama - année 1988 - 1989

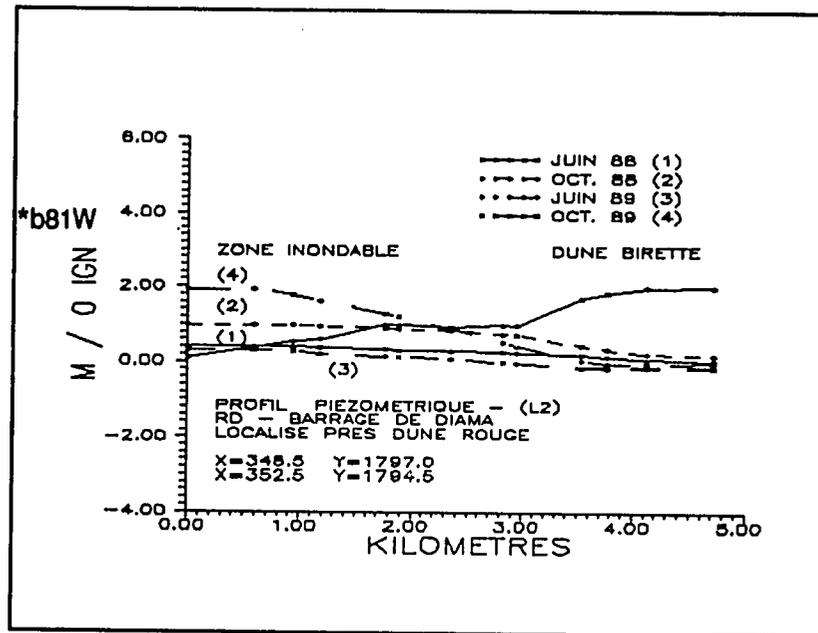


Figure 2 l2.pic

202

3. Rive Droite - profil piézométrique transversal au fleuve au droit du barrage de Diama - année 1988 - 1989

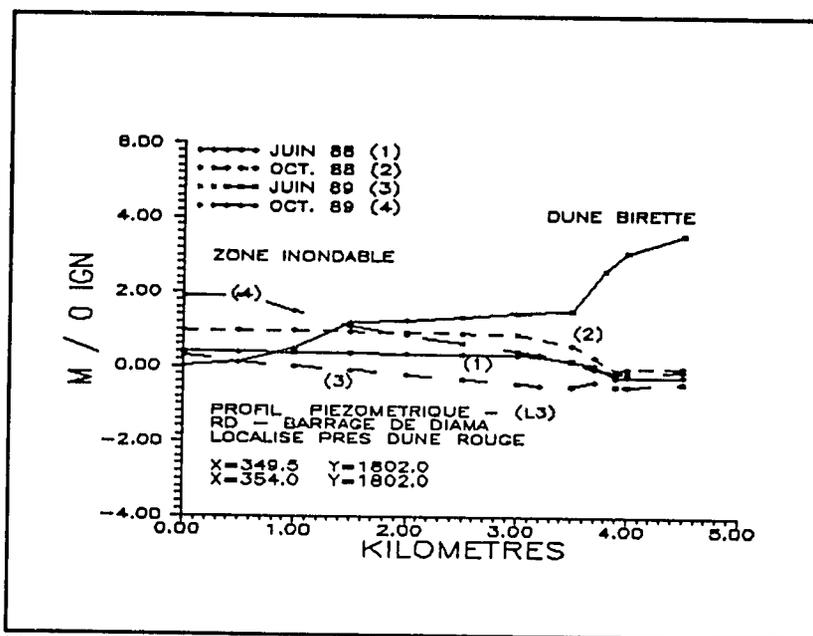


Figure 3 l3.pic

4. Rive Gauche - profil piézométrique transversal au fleuve de l'île de N'thieng - période 1988 - 1989.

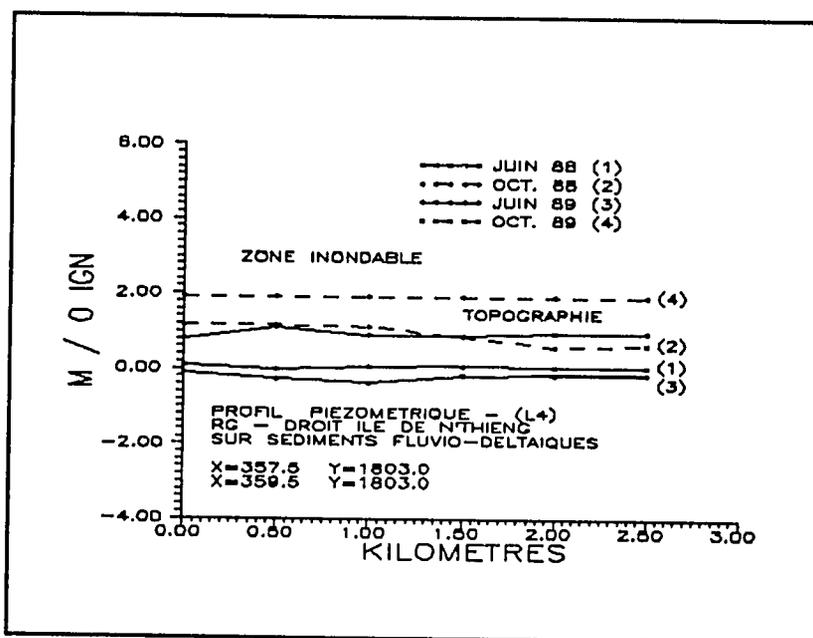


Figure 4 l4.pic

5. Rive Gauche - profil piézométrique transversal au fleuve et au périmètre de Debi - période 1988 - 1989.

203

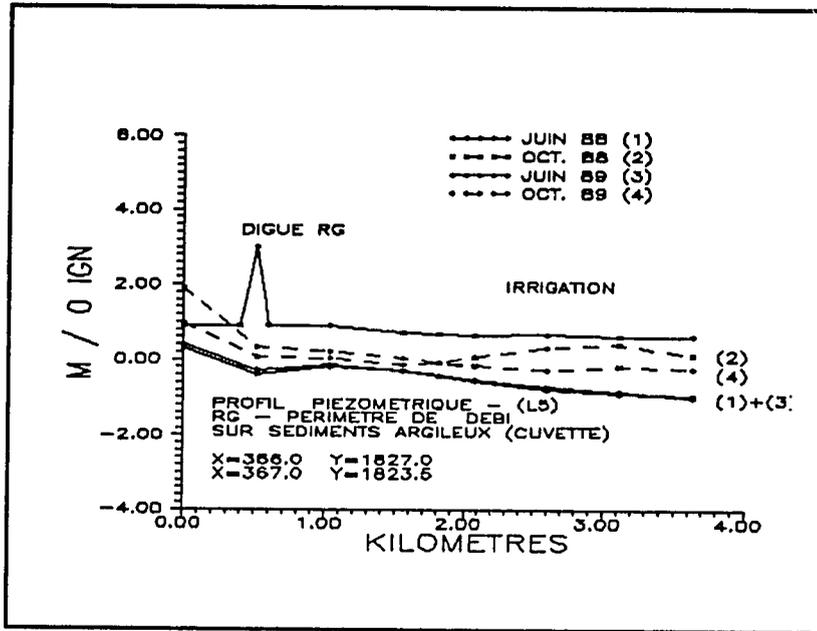


Figure 5 l5.pic

6. Rive droite - profil plézométrique transversal au fleuve à la hauteur du village de Dieuk - période 1988 - 1989

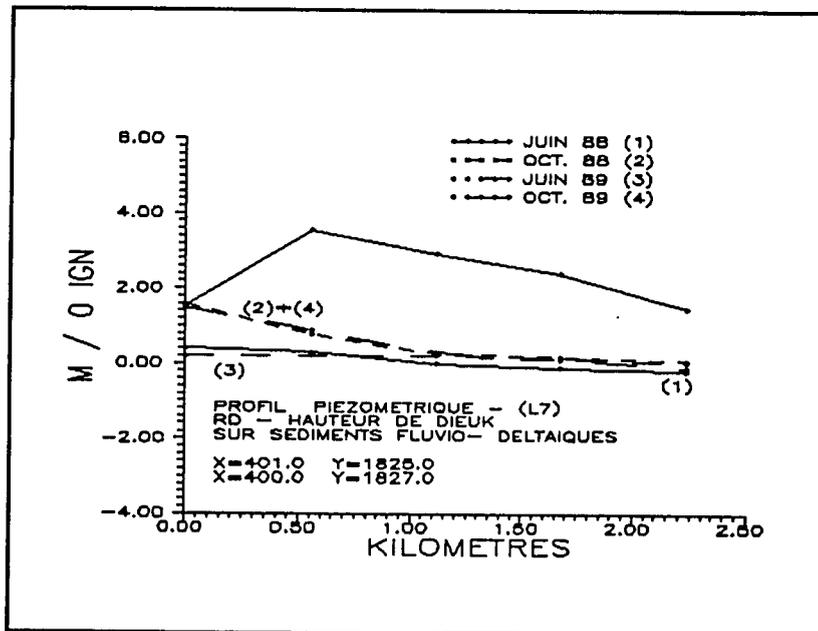


Figure 6 l7.pic

204

**FLEUVE SENEGAL
REGION DU DELTA**

PROFILS PIEZOMETRIQUES

**OBSERVES DANS LES
LIMITES DE CERTAINS GRANDS
PERIMETRES
HYDROAGRIQUES**

**CYCLES HYDROGEOLOGIQUES
1988 ET 1989**

**FIN DE LA SAISON SECHE (JUN)
ET
FIN DE LA SAISON DES PLUIES (OCTOBRE)**

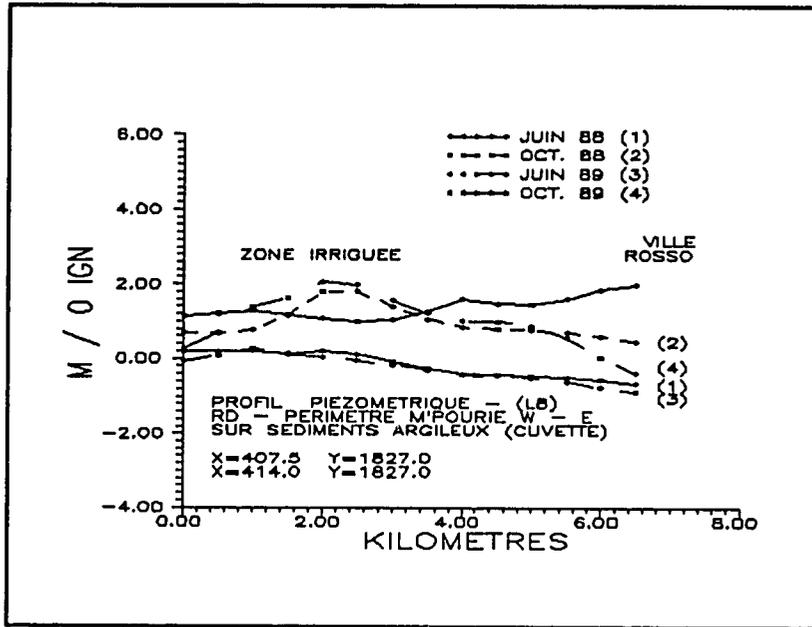
ANNEXE 9

205

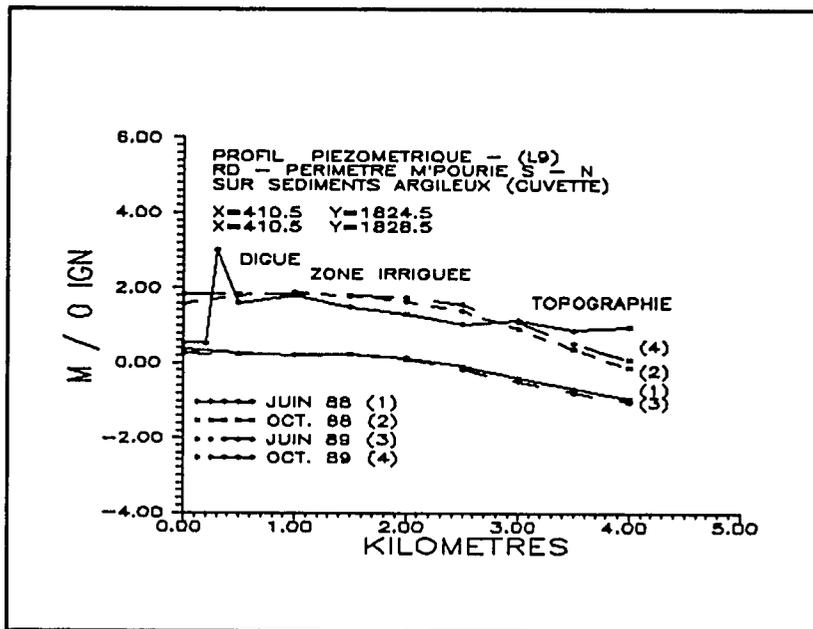
**DELTA DU FLEUVE SENEGAL
 PROFILS PIEZOMETRIQUES DANS LES LIMITES DES GRANDS PERIMETRES**

PROFIL PIEZOMETRIQUE	CODE #	MTU - X	MTU - Y	OBSERVATIONS
RD_MPOWE	L8	407.5 414.0	1827.0 1827.0	PERIMETRE DE M'POURIE SECTION OUEST-EST RIVE DROITE
RD_MPONS	L9	410.5 410.5	1824.5 1828.5	PERIMETRE DE M'POURIE SECTION SUD-NORD RIVE DROITE
RG_BOUWE	L10	378.0 386.0	1816.5 1816.5	PERIMETRE DE BOUNDOUN SECTION OUEST-EST RIVE GAUCHE
RG_BOUNS	L11	384.0 388.0	1815.0 1822.0	PERIMETRE DE BOUNDOUN SECTION SUD-NORD RIVE GAUCHE
RG_GDTK	L12	382.0	1807.5	PERIMETRE GRANDE DIGUE TELLEL KASSAK SECTION NO-SE RIVE GAUCHE

1. Rive droite - profil piézométrique orienté Ouest-Est dans les limites du périmètre de M'pourie, Rosso, RIM - période 1988 - 1989



2. Rive droite - profil piézométrique orienté Sud-Nord dans les limites du périmètre de M'pourie, Rosso, RIM - période 1988 - 1989



3. Rive gauche - profil piézométrique orienté Ouest-Est dans les limites du périmètre de Boundoum, Sénégal - période 1988 - 1989

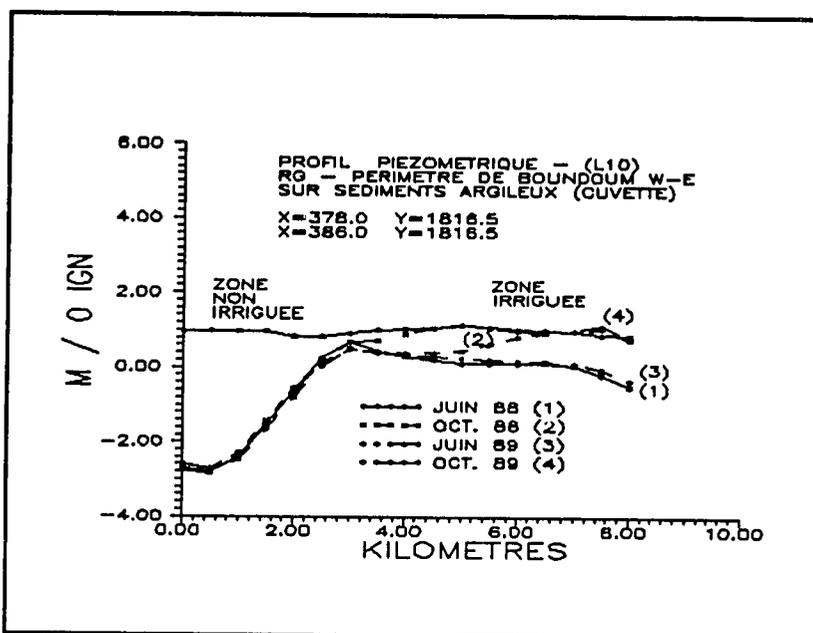


Figure 3 L10.PIC

4. Rive gauche - profil piézométrique orienté Sud-Nord dans les limites du périmètre de Boundoum, Sénégal - période 1988 - 1989

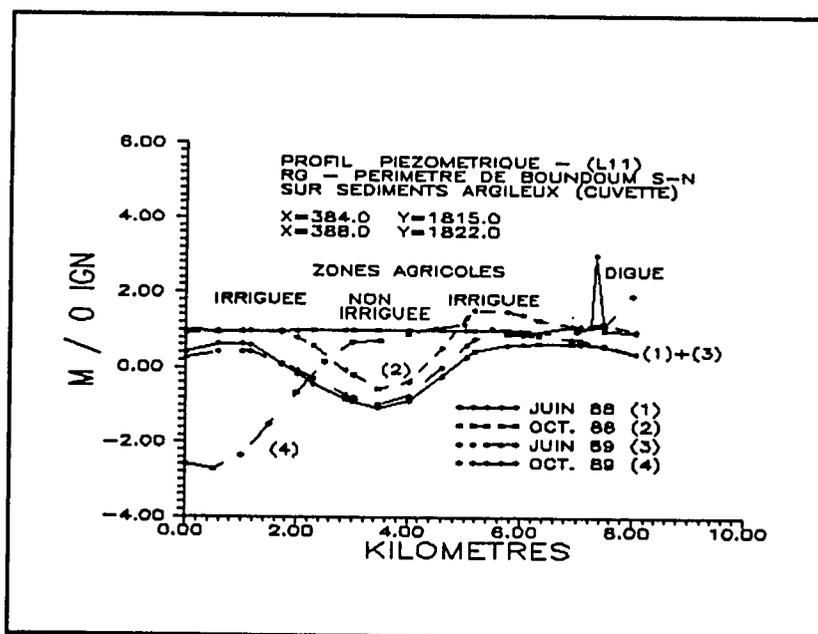


Figure 4 L11.PIC

5. Rive gauche - profil piézométrique orienté Sud-Nord dans les limites du périmètre de Boundoum, Sénégal
- période 1988 - 1989

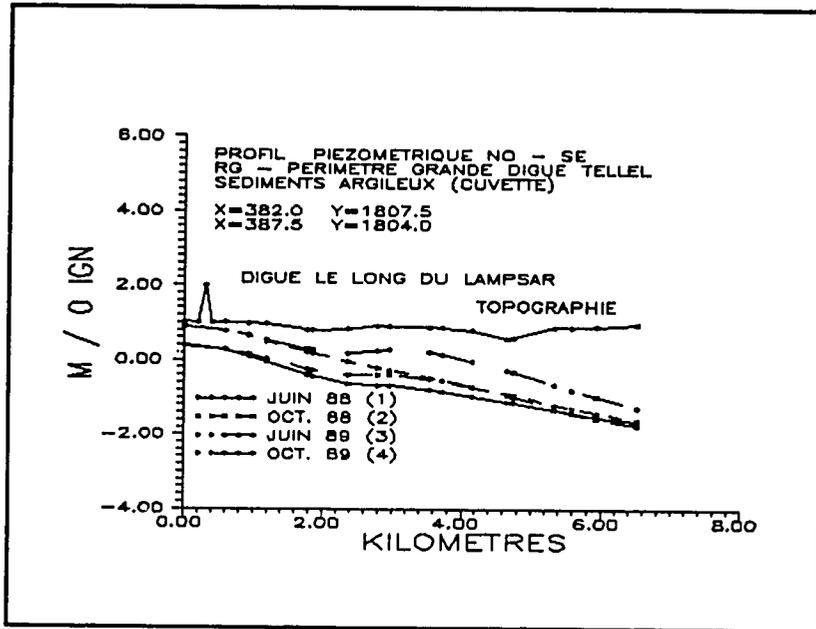


Figure 5 L122.PIC

201

**FLEUVE SENEGAL
REGION DU DELTA**

DONNEES CLIMATOLOGIQUES

**STATIONS METEOROLOGIQUES DE ST LOUIS
ET DE RICHARD TOLL**

PERIODE 1986 - 1989

ANNEXE 10

1 INTRODUCTION

Cette annexe est un extrait du chapitre 4 du "Paramètres Climatiques de la vallée du fleuve Sénégal observés sur la période 1986 - 1989" préparé pour USAID/OMVS, Projet Eaux Souterraines, par Thomas Piekutowski, Mai 1990.

2 LE DELTA

Les stations météorologiques principales du delta sont celles de St. Louis et de Richard Toll. Les conditions climatiques aux deux endroits sont assez différentes. St. Louis a un micro-climat plus frais et humide que celui de Richard Toll, grâce aux alizés maritimes, mais les vents y sont bien plus forts. L'analyse climatologique du delta bénéficiera des observations faites ailleurs dans le delta, notamment à la station météorologique de Ndiaye, maintenue par la SAED depuis quelques années (l'inclusion de ces données dans la présente analyse n'a pas été possible).

L'ASECNA (Direction de l'exploitation météorologique) a fourni des données climatiques, moyennes mensuelles, observées à l'aéroport de St. Louis (situé à six kilomètres de la côte) durant la période de Janvier 1986 à Décembre 1989. La CSS a fourni des données observées dans leurs champs près de Richard Toll (situé à 80 kilomètres de la côte) pour la même période. Les tableaux suivants indiquent les valeurs moyennes mensuelles pour toute la période.

METEO: ST. LOUIS LAT: 16.0°		SOURCE: ASECNA ALT: 4 METROS										ESTIMEE ESTIMATED		
MOIS/AN MON/YR	T MIN	T MAX	T MOY	T MAX-	HUM.REL	VENT	EVAP'N	EVAP'N	PLUIE	JOURS de	INSOLA-	INSOLA-	EVAPOTRANS-	EVAPO-
	moyen average	moyen average	moyen average	T MIN moyen average	REL.HUM. moyen average	WIND moyen average	Evapo- rometre PICHE	BAC "A" Class A Pan	totale RAIN FALL	pluie DAYS of rain	TION totale heures	TION PENMAN hres/jr	PIRATION PENMAN totale	RATION totale
JAN	14.7	29.7	22.2	15.1	50.2	4.3	181.5	*	0.4	0.3	217.9	7.0	178.2	191.9
FEB	17.2	31.3	24.2	14.1	56.5	4.5	141.9	274.0	5.1	1.0	200.8	7.1	172.9	190.2
MAR	18.2	33.0	25.6	14.9	57.5	4.8	178.8	267.0	0.1	0.3	266.3	8.6	225.7	251.6
APR	19.1	32.8	25.9	13.7	57.8	5.5	150.3	282.0	0.0	0.0	243.8	8.1	228.7	254.5
MAY	20.6	30.9	25.7	10.3	62.4	5.4	126.2	288.3	3.1	0.5	239.4	7.7	202.4	230.1
JUN	23.0	31.0	27.0	8.0	69.5	5.1	97.6	249.8	13.6	1.8	178.8	6.0	176.2	201.1
JUL	25.0	31.1	28.1	6.1	76.5	4.7	87.7	215.9	30.0	4.8	204.5	6.6	173.0	203.0
AUG	25.3	31.8	28.5	6.5	81.2	4.2	82.7	217.0	95.9	9.8	228.5	7.4	166.4	200.1
SEP	25.3	32.4	28.8	7.1	79.1	3.5	70.1	229.4	127.9	8.8	214.5	7.2	153.8	184.1
OCT	23.9	33.6	28.7	9.7	66.0	3.8	111.8	210.9	0.1	0.3	252.2	8.1	173.2	199.7
NOV	19.7	32.6	26.2	12.8	61.2	3.9	116.7	200.1	0.8	0.8	216.8	7.2	156.6	175.1
DEC	16.8	30.8	23.8	14.0	53.4	3.8	181.0	220.6	0.7	0.3	219.9	7.1	162.5	176.6
TOTAL							1526	*	277	28	2683		2170	2458

211

METEO: RICHARD TOLL
LAT: 16.5°

SOURCE: CSS
ALT: 4 METROS

ESTIMEE
ESTIMATED

MOIS/AN MON/YR	T MIN	T MAX	T MOY	T MAX-	HUM.REL	VENT	EVAP'N	EVAP'N	PLUIE	JOURS de	INSOLA-	INSOLA-	RADIA-	EVAPOTRANS-	EVAPO-
	moyen average	moyen average	moyen average	T MIN moyen average	REL.HUM. moyen average	WIND moyen average	Evapo- rometre PICHE	Class A Pan	totale RAIN	pluie DAYS of	total FALL	total heures	total hres/jr	SOLAIRE cal/cm2/jr	PENMAN total
	Cels.	Cels.	Cels.	Cels.	%	m/s	mm	mm	mm	Jrs/days	hours	hrs/day	cal/cm2/d	mm	mm
JAN	13.2	30.0	21.6	16.9	44.8	2.4	*	288.4	0.4	0.3	219.1	7.1	309.8	148.5	160.6
FEB	16.0	32.8	24.4	16.8	48.1	2.3	*	285.1	2.6	0.8	214.0	7.6	334.8	149.7	165.5
MAR	17.2	35.4	26.3	18.2	41.4	2.6	*	374.3	0.0	0.0	269.4	8.7	402.9	210.1	231.0
APR	19.7	38.6	29.2	18.9	46.0	3.0	*	393.6	0.0	0.0	252.9	8.4	422.7	234.3	257.4
MAY	21.7	39.3	30.5	17.5	53.9	3.3	*	410.4	0.0	0.0	248.3	8.0	400.9	241.6	268.0
JUN	22.9	38.4	30.7	15.5	63.3	3.0	*	341.4	4.1	1.3	217.5	7.2	399.0	206.1	232.6
JUL	24.2	35.6	29.9	11.5	74.2	2.8	*	289.5	23.1	3.8	238.9	7.7	414.7	175.0	207.5
AUG	24.4	34.6	29.5	10.2	75.7	2.2	*	250.0	90.6	6.8	242.6	7.8	423.6	165.2	198.4
SEP	24.5	34.9	29.7	10.4	80.4	1.7	*	223.2	69.2	6.8	238.6	8.0	401.3	147.8	180.8
OCT	22.6	37.3	29.9	14.7	65.0	1.4	*	273.2	4.9	1.3	261.5	8.4	387.7	157.8	184.8
NOV	18.5	34.1	26.3	15.7	55.5	1.3	*	238.5	1.1	0.8	218.5	7.3	320.5	125.2	141.9
DEC	14.9	31.3	23.1	16.4	49.4	1.7	*	266.3	0.2	0.3	199.1	6.4	295.9	125.1	136.6
TOTAL							*	3634	196	22	2820		4514	2086	2365

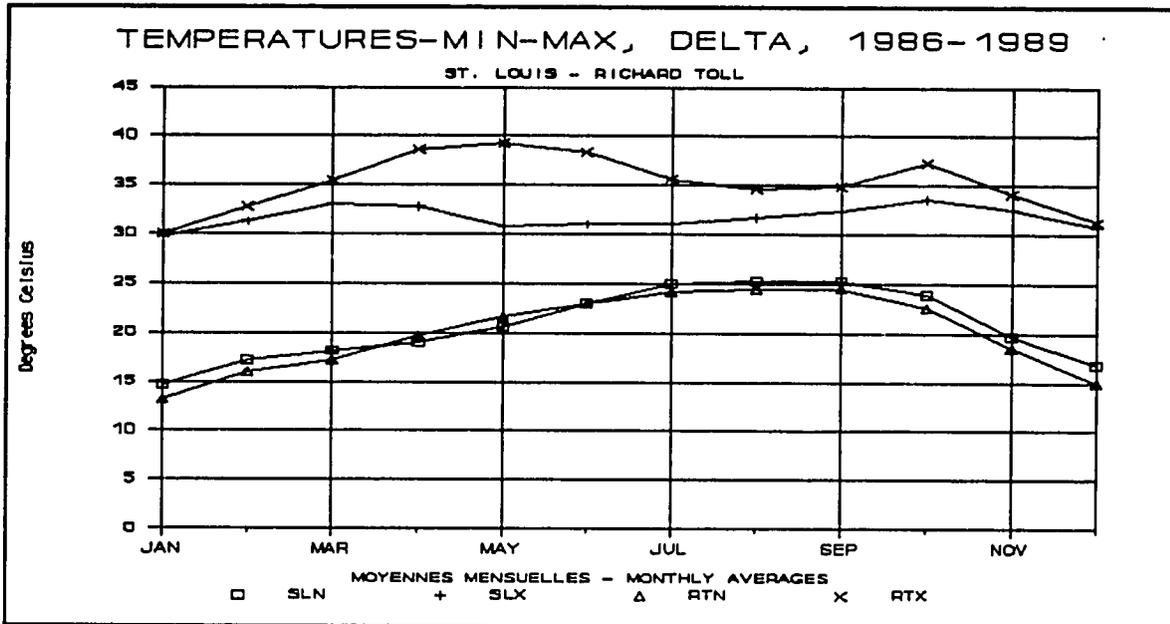
Il est à noter que:

- les observations au bac d'évaporation "Class A" à St. Louis n'existe que depuis Février 1989, donc les valeurs indiquées au tableau précédent ne sont pas des moyennes,
- les observations d'heures d'insolation à Richard Toll ont été disponibles seulement depuis Janvier 1989. La méthode de calcul d'évaporation et d'évapotranspiration utilisée ici nécessite une estimation d'heures d'insolation. Pour la période de Janvier 1986 à Décembre 1988, les valeurs utilisées sont les moyennes de celles enregistrées à Podor et à St. Louis.

2.1 Température de l'air

La figure suivante indique les températures minimum moyennes et maximum moyennes à St. Louis et à Richard Toll pour la période.

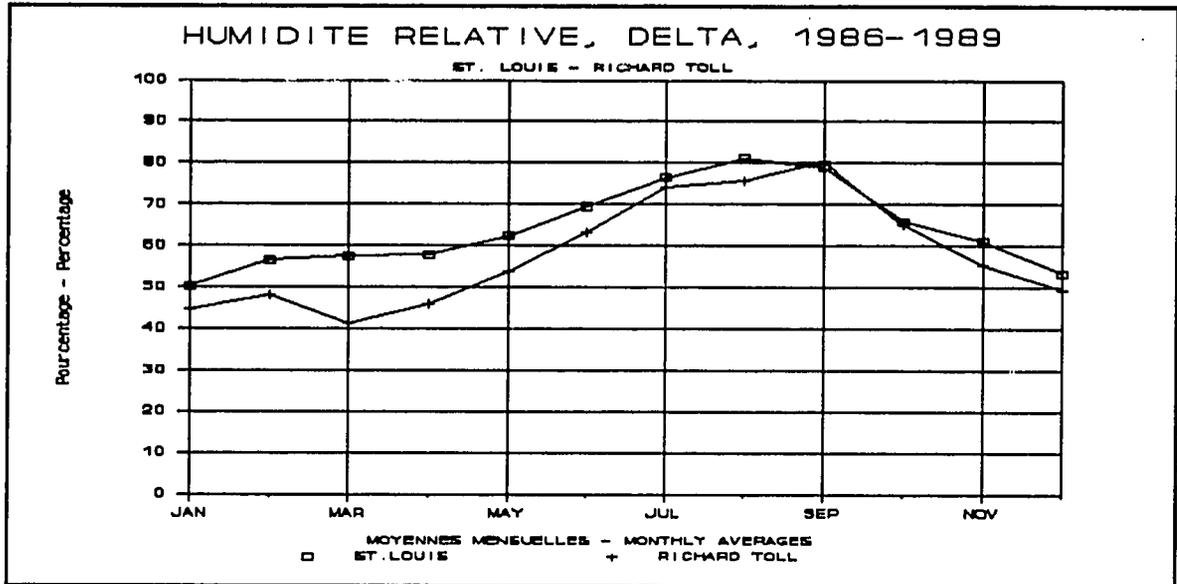
- 212 -



On remarque que les températures maximum moyennes sont bien plus élevées à Richard Toll qu'à St. Louis, or les températures minimum moyennes y sont légèrement plus basses. Par conséquent, la température moyenne est toujours plus élevée à Richard Toll. Mai et Juin y sont les mois les plus chauds de l'année, avec des températures moyennes au-dessus de 30° C (elles sont toutefois supérieures à 29° C d'Avril à Octobre). Les mois de Juillet à Octobre sont les plus chauds de l'année à St. Louis. Les températures maximum moyennes aux deux endroits sont élevées pendant la saison sèche et encore en Octobre après les pluies. Janvier est le mois le plus frais aux deux endroits. L'écart entre la température minimum moyenne et la température maximum moyenne est inversement lié à l'humidité relative de l'air. L'écart atteint son minimum pendant la saison des pluies. Les températures observées à St. Louis et à Richard Toll pendant la période 1986-1989 concordent bien avec celles analysées par la FAO pour St. Louis (1926-64) et Rosso (1939-64).

2.2 Humidité relative de l'air

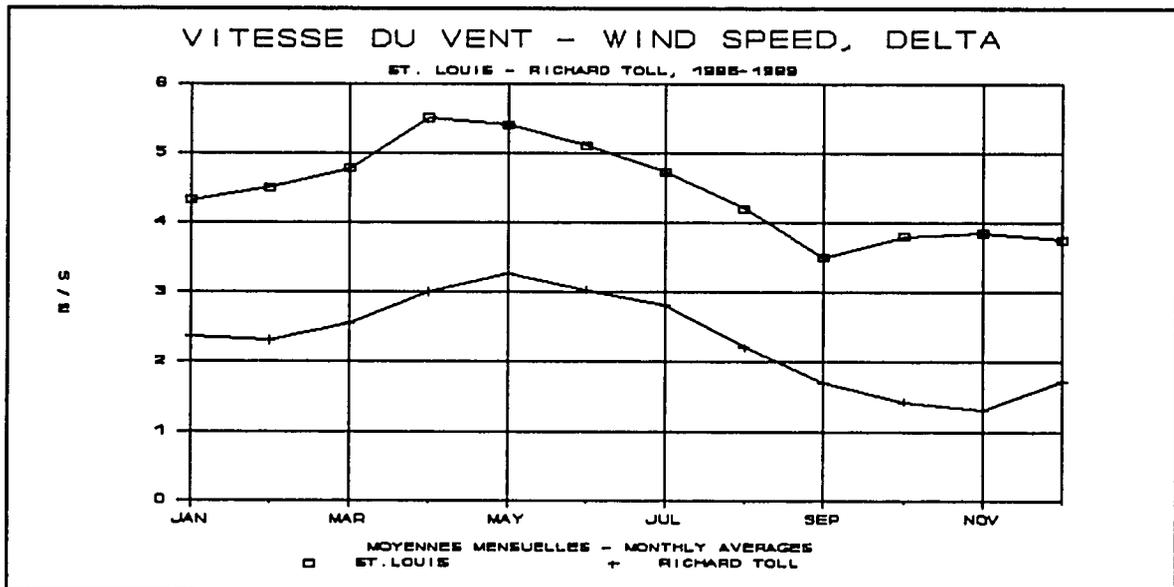
La figure suivante indique l'humidité relative pendant l'année. Elle est définie comme étant le rapport de la tension de vapeur dans l'air et de la tension de vapeur saturante à la même température.



L'humidité relative atteint son maximum pendant la saison des pluies et son minimum en Janvier. L'air est toujours plus humide à St. Louis qu'à Richard Toll, où on remarque une baisse d'humidité en Mars et Avril, effet de l'harmattan, vent d'Est chaud et desséchant. L'humidité relative observée à St. Louis pendant la période 1986-89 est légèrement plus basse que celle indiquée par la FAO. Par contre, l'humidité relative observée à Richard Toll est légèrement plus élevée.

2.3 Vitesse du vent

On remarque à la figure suivante que le vent à St. Louis est presque deux fois plus fort qu'à Richard Toll, toute l'année longue. La vitesse du vent augmente pendant la saison sèche et baisse pendant la saison des pluies.



2.4 Evaporation et évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle, ETP, (culture de référence: gazon) et l'évaporation d'une surface d'eau libre, estimées selon la méthode de calcul Penman, sont indiquées dans les figures suivantes. Durant

toute l'année l'évaporation d'une surface d'eau libre est légèrement plus élevée que l'ETP. Grâce aux vents forts, le taux d'évaporation à St. Louis est supérieure à celui de Richard Toll, sauf pendant la période d'Avril à Juillet, quand les températures sont bien plus élevées à Richard Toll. Il est à noter que les valeurs de radiation solaire, mesurées à Richard Toll, n'ont pas été utilisées pour les calculs d'évaporation et d'ETP. Le rayonnement global à Richard Toll a été calculé avec la formule d'Angstrom, comme pour les autres stations de la vallée.

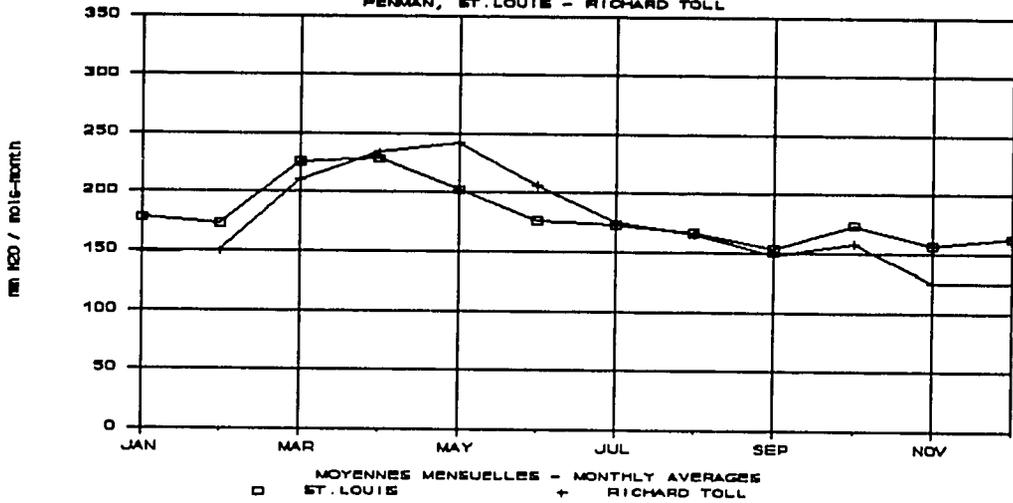
Les ETPs calculées pour St. Louis et Richard Toll sont les plus élevées pendant les mois de Mars à Mai quand la température, le vent et l'insolation sont près de leur maximum et l'humidité relative près de son minimum.

L'évaporation moyenne calculée pour la période Janvier 1986 à Décembre 1989 est de 2458 mm par année à St. Louis et de 2365 mm par année à Richard Toll. Ces valeurs concordent bien avec celle établie par la FAO pour l'ensemble de la vallée, 2400 mm par année. Les valeurs mensuelles sont proportionnellement semblables.

La valeur d'évaporation mesurée à l'appareil Piche à St. Louis est inférieure à l'ETP calculée toute l'année. L'évaporation moyenne annuelle, mesurée à l'appareil Piche, observée à St. Louis pendant la période 1986-89, est à peu près la moitié de celle citée par la FAO pour St. Louis (aucune explication est avancée).

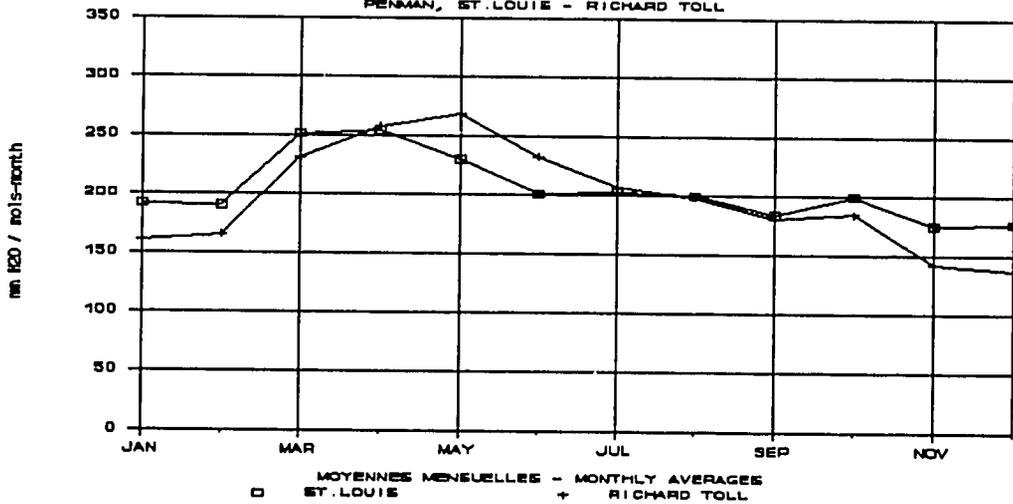
EVAPOTRANSPIRATION, DELTA, 1986-1989

PENMAN, ST. LOUIS - RICHARD TOLL



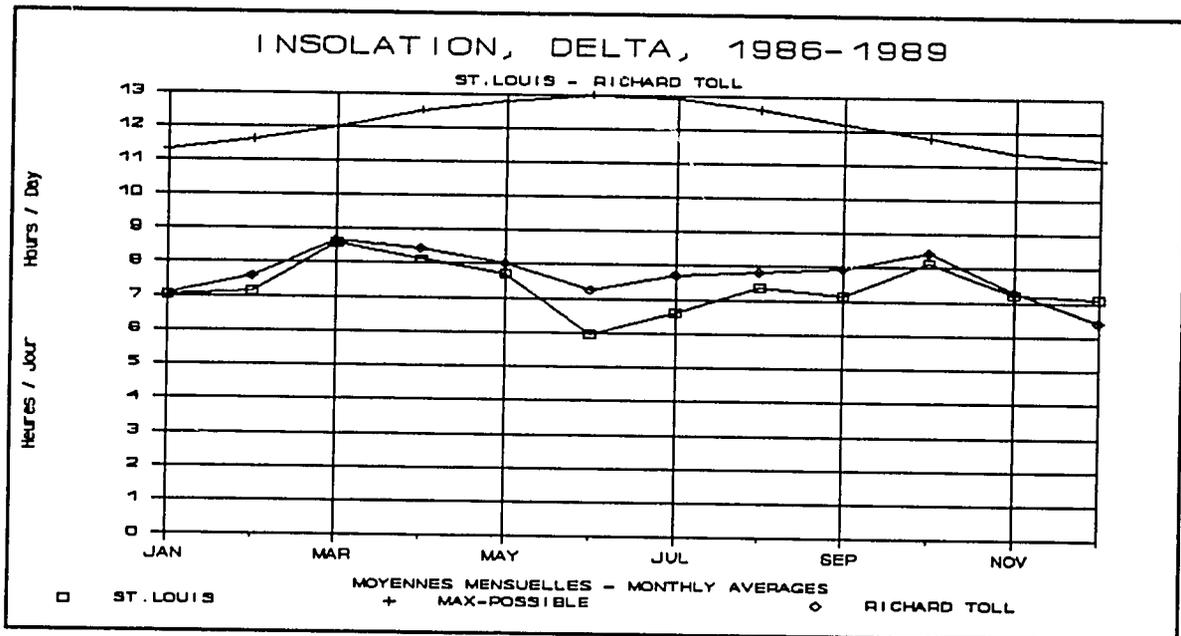
EVAPORATION, DELTA, 1986-1989

PENMAN, ST. LOUIS - RICHARD TOLL



2.5 Insolation

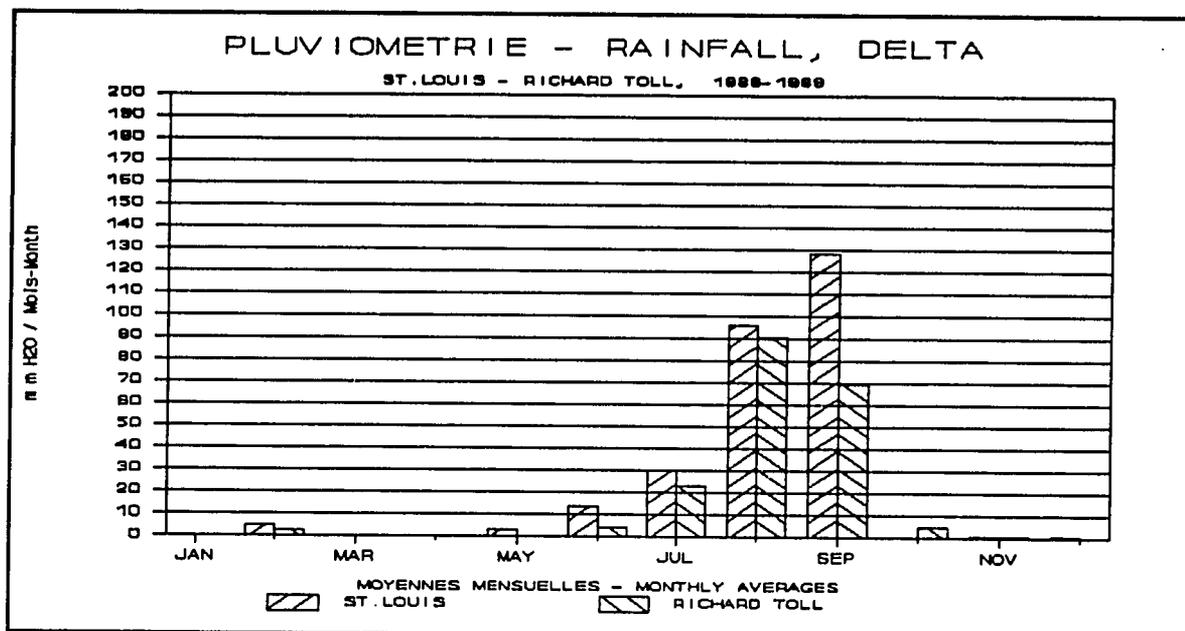
La figure suivante montre que la durée d'insolation est assez constante pendant l'année, ce qui est normale pour la latitude. Avant et pendant la saison des pluies, à cause des nuages, l'insolation journalière réellement reçue atteint son minimum malgré que la durée astronomiquement possible est près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



L'insolation moyenne calculée pour la période 1986-89 est de 2638 heures par année à St. Louis. Ce chiffre est inférieur à celui calculé par la FAO (2889 heures par année) sur une période de 12 ans.

2.6 Pluviométrie

La pluviométrie moyenne mensuelle pour la période 1986-89 est indiquée par la figure suivante. La saison des pluies commence au mois de Mai ou Juin et finit, pratiquement, au mois de Septembre pour une durée effective de quatre mois. La pluviométrie moyenne annuelle à St. Louis s'élève à 277 mm. A Richard Toll elle s'élève à 196 mm. Ces valeurs sont inférieures à celles indiquées par la FAO (St. Louis: 355 mm, Rosso: 306 mm).



3 CONCLUSIONS

L'analyse faite sur les données climatiques provenant de six stations météorologiques dans la vallée du fleuve Sénégal, pour la période de Janvier 1986 à Décembre 1989, démontre que:

- le taux d'évaporation d'une surface d'eau libre (estimé avec la méthode de calcul Penman) a été d'environ 2400 mm par an dans le delta et d'environ 2600 par an pour le reste de la vallée. Le taux moyen pour l'ensemble de la vallée a été de 2575 mm par an. Ce taux est supérieure à celui calculé par la FAO¹ (2400 mm par an),
- le taux d'évapotranspiration potentielle (estimé avec la méthode de calcul Penman) a été d'environ 2100 mm par an dans le delta et d'environ 2400 mm par an dans le reste de la vallée,
- les températures observées pendant la période ont été à peu près égales à celles rapportées par la FAO sur la période d'observation 1939-1964,
- l'humidité relative de l'air a été légèrement inférieure à celle rapportée par la FAO,
- l'insolation a été inférieure à celle rapportée par la FAO,
- la pluviométrie a été inférieure à celle rapportée par la FAO.

¹ Etude hydro-agricole du bassin du fleuve Sénégal, Rapport de synthèse, pour l'OMVS par le FAO, Rome 1977.

FLEUVE SENEGAL
REGION DU DELTA

DONNEES LIMNIMETRIQUES

ECHELLES LIMNIMETRIQUES
DE DIAMA AMONT
DIAMA AVAL
ROSSO
LAC DE GUIERS
DAKAR BANGO

PERIODE 1986 - 1989

ANNEXE 11

1 INTRODUCTION

Cette annexe est un extrait du chapitre 3 du "Paramètres Hydrologiques du fleuve Sénégal observés sur la période 1986 - 1989" préparé pour USAID/OMVS, Projet Eaux Souterraines, par Thomas Piekutowski, Mai 1990.

2 DELTA

2.1 Données

2.1.1 Stations limnimétriques

Les différents niveaux d'eau dans la retenue de Diama, en aval du barrage de Diama, dans le lac de Guiers et dans le marigot le Djeuss (bief aval) sont décrits dans ce rapport. Les côtes ont été enregistrées aux stations limnimétriques suivantes par différents organismes:

- Rosso, Sénégal au Point Kilométrique 133 sur le fleuve, par le Ministère de l'Hydraulique du Sénégal.
- Barrage de Diama, amont et aval, par l'OMVS.
- Le lac de Guiers:
 - à Richard Toll par la Compagnie Sucrière Sénégalaise
 - à Sanente par le Ministère de l'Hydraulique du Sénégal
 - à Gnit par la SONEES (Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal)
- Le marigot le Djeuss (bief aval) à Dakar Bongo, par la SONEES

2.1.2 Périodes de collecte et d'analyse

Les données limnimétriques analysées sont celles recueillies par l'équipe du projet Eaux Souterraines puis entrées dans la base de données GES. A l'exception des stations de Rosso et de Diama en amont du barrage, le consultant n'a pas recherché les données manquantes. Les tableaux en annexe indiquent toutes les côtes journalières analysées.

- Les données pour la station de Rosso sont complètes du 1 Janvier 1986 au 31 Décembre 1989.
- Les données pour la station de Diama, en amont du barrage, sont complètes du 19 Mai 1986 (inauguration du barrage) au 31 Décembre 1989.
- Les données pour la station de Diama, en aval du barrage, sont inexistantes avant le 1 Juillet 1987 et incomplètes après.
- Les données pour le lac de Guiers sont incomplètes du 1 Janvier 1986 au 31 Décembre 1989. Ces données proviennent surtout de la station de Richard Toll mais certaines proviennent des stations de Sanente et de Gnit (notamment du 1 Janvier 1986 au 30 Avril 1986, enregistrées à Gnit). En général, les côtes enregistrées aux trois stations sur le lac sont à peu près semblables; celles de Gnit sont inférieures aux autres de 5 à 15 cm; celles de Richard Toll sont supérieures à celles de Sanente pendant la crue et inférieures pendant les périodes de pompage par le CSS.
- Les données pour le Djeuss sont très fragmentaires du 1 Janvier 1986 au 21 Mai 1988 et incomplètes après.

2.2 Côtes

Les côtes des eaux dans le delta changent doucement et les rapports entre les différents points d'eau sont à peu près les mêmes d'une année à l'autre. Les valeurs moyennes mensuelles sur les quatre années permettent de voir ces rapports facilement.

1986-1989 MOYENNES MENSUELLES - MONTHLY AVERAGES

MOIS MONTHS	ROSSO PK 133 zero = -.23 m COTE LEVEL (m ASL)	DIAMA PK 26 RETENUE RESERVOIR COTE LEVEL (m ASL)	DIAMA PK 26 AVAL DOWNSTREAM (m ASL)	LAC DE GUIERS ASL (m)	DJEUSS ASL (m)
JAN	0.85	0.87	0.00	1.14	0.57
FEB	0.80	0.81	-0.05	1.03	0.55
MAR	0.70	0.71	-0.05	0.84	0.29
APR	0.39	0.43	-0.08	0.61	-0.34
MAY	0.12	0.14	-0.03	0.34	-0.35
JUN	0.14	0.12	0.06	0.16	-0.43
JUL	0.42	0.39	0.14	0.37	-0.27
AUG	1.04	0.92	0.33	0.88	
SEP	1.77	1.22	0.75	1.60	0.54
OCT	1.63	1.11	0.77	1.64	0.58
NOV	0.95	0.91	0.22	1.47	0.37
DEC	0.73	0.75	0.06	1.29	0.24

2.2.1 Retenue de Diama

La retenue de Diama peut s'étendre au delà de Podor sur le Sénégal et jusqu'à Ngoul sur le Doué, mais la partie dans le delta se limite un peu en amont de Rosso.

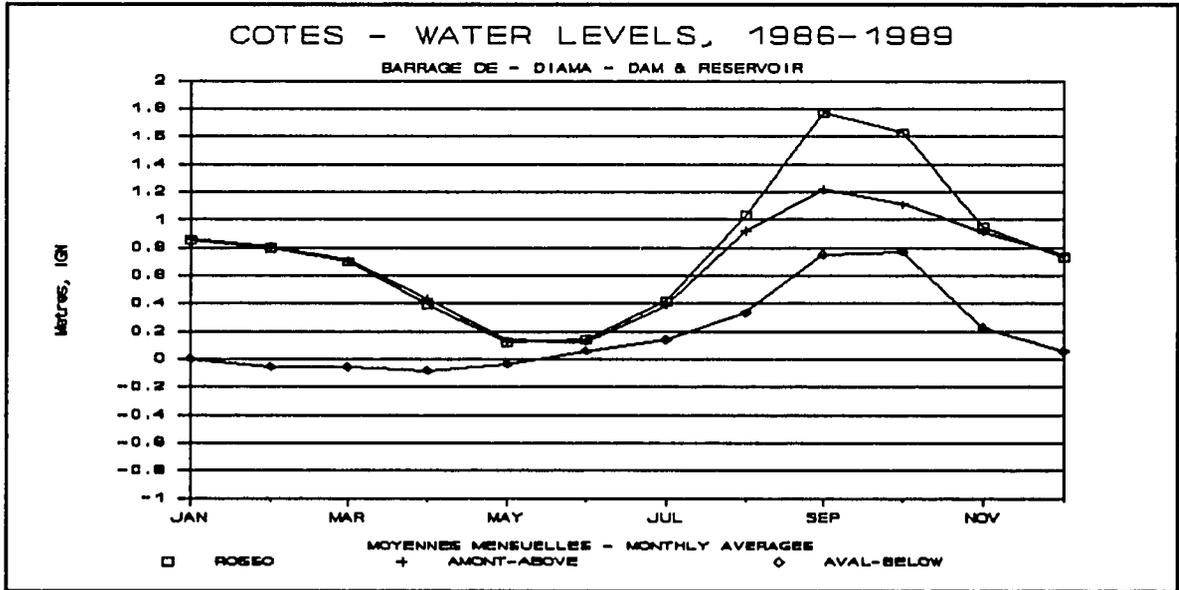


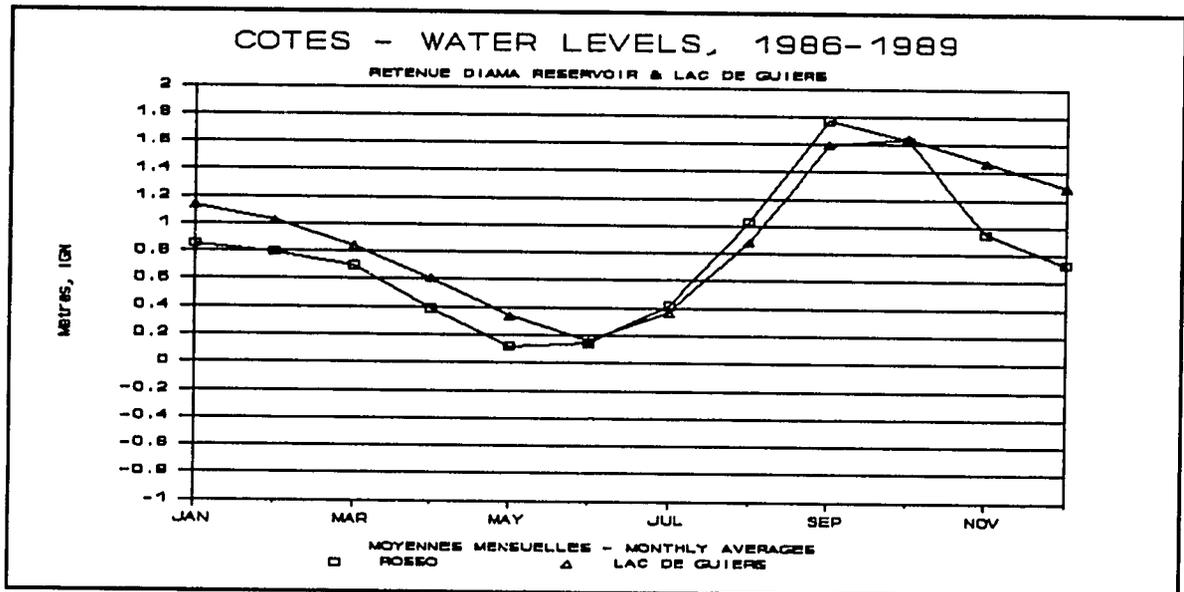
Figure 1

Comme on remarque à la figure précédente, la côte à Rosso est la même que celle de Diama en amont du barrage sauf pendant la crue annuelle, de Juillet à Octobre. La côte en aval du barrage monte au dessus du niveau de la mer à cause des lachures du barrage.

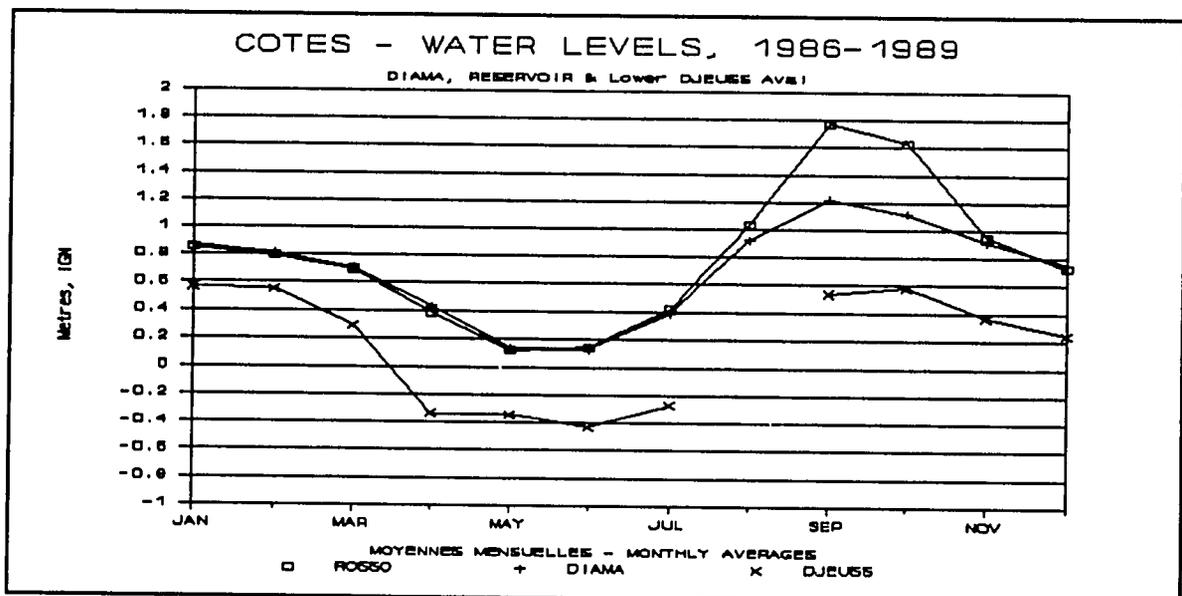
221

2.2.2 Lac de Guiers

Le lac est alimenté surtout par le fleuve, l'apport pluvial étant peu important¹. Les deux barrages sur la Taoué sont ouverts quand la côte du fleuve est supérieure à celle du lac, de Juin ou Juillet à Octobre. La côte du lac est supérieure à celle de la retenue de Diama pour les autres mois de l'année. Les eaux du lac diminuent surtout par évaporation.



2.2.3 Le Djeuss



Le marigot Djeuss (bief aval) est la source d'eau douce pour la ville de St. Louis. Il est alimenté par gravité par les marigots Djeuss et Lampsar quand la côte du fleuve est élevée. Une fois rempli, le bief aval est coupé du bief amont par un petit barrage. On remarque à la figure précédente que la côte du marigot descend en dessous du niveau de la mer vers la fin de son cycle hydrologique

¹ Cogels, F.X.; Gac, J.Y., (1982). Le lac de Guiers: fonctionnement, bilans hydriques. Evolution d'une nappe d'eau libre en zone sahélienne - Cahier ORSTOM, sér. Géol.

- 222

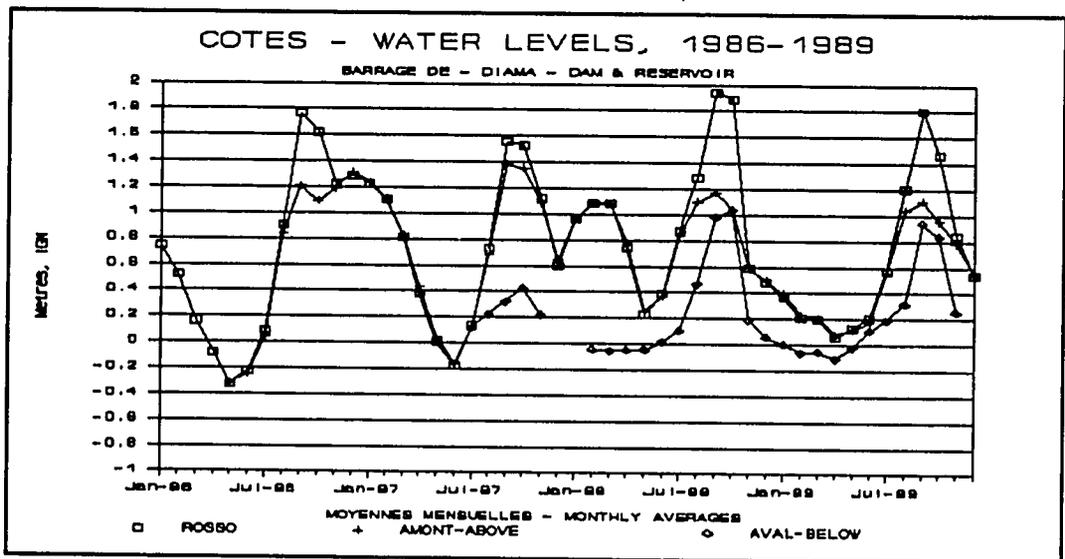
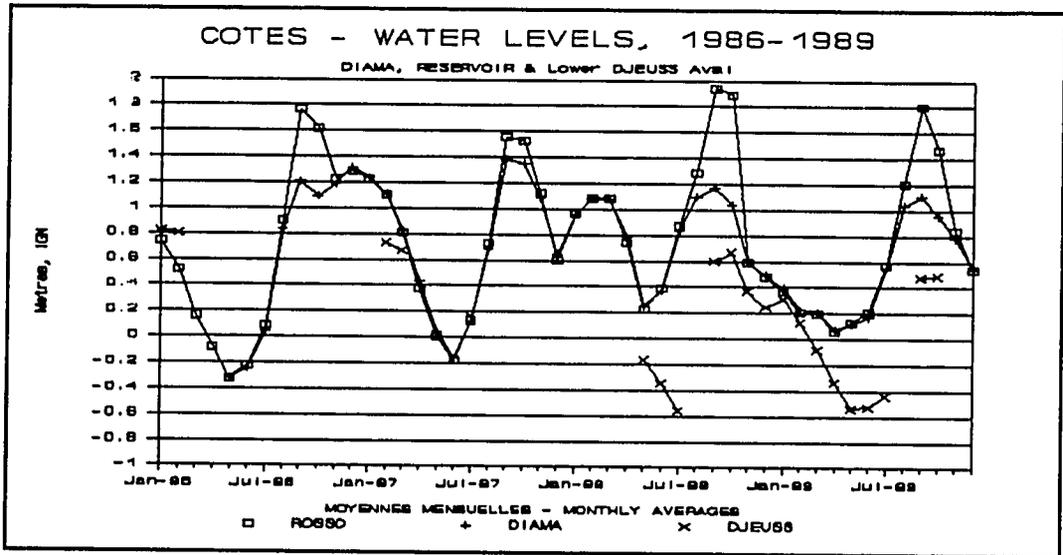
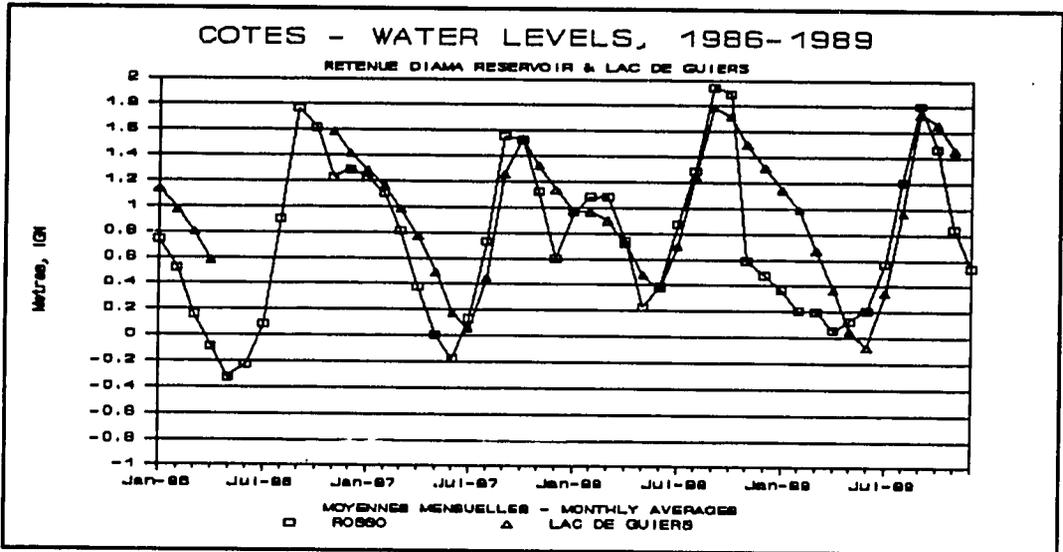
annuel.

Le tableau et les graphiques suivants indiquent les côtes moyennes mensuelles pour toute la période de 48 mois. On y remarque les phénomènes sus-mentionnés, nuancés par les conditions spécifiques de chaque cycle hydrologique.

2.2.4 Valeurs moyennes mensuelles pour toute la période

Le tableau et les graphiques suivants indiquent les côtes moyennes mensuelles pour toute la période de 48 mois. On y remarque les phénomènes sus-mentionnés, nuancés par les conditions spécifiques de chaque cycle hydrologique.

1986-1989	MOYENNES MENSUELLES - MONTHLY AVERAGES				DJEUSS
	ROSSO PK 133 zero = -.23 m COTE LEVEL (m ASL)	DIAMA PK 26 RETENUE RESERVOIR COTE LEVEL (m ASL)	DIAMA PK 26 AVAL DOWNSTREAM (m ASL)	LAC DE GUIERS ASL (m)	ASL (m)
MOIS MONTHS					
Jan-86	0.74			1.14	0.82
Feb-86	0.52			0.98	0.81
Mar-86	0.16			0.80	
Apr-86	-0.08			0.58	
May-86	-0.33	-0.32			
Jun-86	-0.22	-0.25			
Jul-86	0.09	0.04			
Aug-86	0.91	0.84			
Sep-86	1.77	1.21			
Oct-86	1.62	1.09			
Nov-86	1.23	1.19		1.59	
Dec-86	1.29	1.31		1.42	
Jan-87	1.22	1.24		1.29	
Feb-87	1.11	1.11		1.16	0.73
Mar-87	0.81	0.83		0.98	0.67
Apr-87	0.38	0.43		0.77	
May-87	0.00	0.04		0.49	
Jun-87	-0.18	-0.16		0.18	
Jul-87	0.13	0.12	0.12	0.05	0.17
Aug-87	0.73	0.69	0.22	0.45	
Sep-87	1.56	1.39	0.32	1.26	
Oct-87	1.53	1.35	0.43	1.53	
Nov-87	1.13	1.09	0.22	1.32	
Dec-87	0.61	0.65		1.14	
Jan-88	0.97	0.97		0.97	
Feb-88	1.08	1.09	-0.05	0.97	
Mar-88	1.09	1.08	-0.05	0.90	
Apr-88	0.74	0.79	-0.05	0.72	
May-88	0.23	0.25	-0.05	0.48	-0.16
Jun-88	0.39	0.37	0.02	0.37	-0.34
Jul-88	0.87	0.83	0.11	0.70	-0.56
Aug-88	1.29	1.10	0.46	1.24	
Sep-88	1.94	1.17	0.98	1.79	0.60
Oct-88	1.89	1.04	1.04	1.72	0.67
Nov-88	0.59	0.59	0.19	1.50	0.37
Dec-88	0.48	0.50	0.06	1.31	0.24
Jan-89	0.37	0.40	0.00	1.15	0.31
Feb-89	0.20	0.23	-0.06	1.00	0.13
Mar-89	0.20	0.21	-0.06	0.67	-0.08
Apr-89	0.06	0.08	-0.11	0.37	-0.34
May-89	0.13	0.12	-0.02	0.05	-0.53
Jun-89	0.21	0.17	0.10	-0.07	-0.52
Jul-89	0.57	0.56	0.19	0.34	-0.43
Aug-89	1.21	1.04	0.32	0.96	
Sep-89	1.81	1.12	0.94	1.74	0.48
Oct-89	1.47	0.96	0.84	1.66	0.49
Nov-89	0.85	0.79	0.26	1.46	
Dec-89	0.54	0.54			



-225-