UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

DEPARTEMENT DE GEOLOGIE



D.E.A. DE GEOLOGIE APPLIQUEE

MENTION : HYDROGEOLOGIE

APPLICATION DE LA GEOPHYSIQUE (ELECTRIQUE) A L'ETUDE DES AQUIFERES ALLUVIAUX DE LA VALLEE DU FLEUVE SENEGAL (Nord-Guiers, Dagana, Bas-Ferlo)

Présenté par YOUSSOUF KOUSSOUBE

Le 29 mai 1992 devant le jury:

MM.

O. DIA: PRESIDENT - Université Dakar

C.B. GAYE: RAPPORTEUR - Université Dakar J.L. SAOS: RAPPORTEUR - O.R.S.T.O.M.

P. MOURGUES: EXAMINATEUR - O.R.S.T.O.M.
A. FAYE: EXAMINATEUR - Université Dakar

M. DESCLOITRES: EXAMINATEUR - O.R.S.T.O.M.

DEDICACES

A mon Père in memorium,

A tous mes parents qui m'ont encouragé et soutenu,

A mes amis et camarades qui ont toujours été présents à mes côtés,

Au SENEGAL,

A mon pays, le BURKINA FASO,

A tous ceux qui luttent contre la misère et l'exploitation...,

Je dédie ce modeste travail.

AVANT-PROPOS

Ce travail n'aurait pu arriver à son terme sans la contribution de plusieurs personnes que je tiens ici à remercier.

- -Tous les membres du jury :
- * J.L. SAOS, Chargé de Recherches à l'ORSTOM à qui je dois tout. Depuis mon acceptation en stage jusqu'à travaux de terrain et de laboratoire, toutes les conditions ont été mises à ma disposition pour mon initiation à la recherche.
- * P. MOURGUES, Directeur de Recherches à l'ORSTOM : son dévouement et toute son attention particulière à ma formation me font témoigner en lui beaucoup de reconnaissance et de sympathie.
- * M. DESCLOITRES, du Département de Géophysique de l'ORSTOM dont la participation à la finalisation de ce travail a été déterminante.
 - * O. DIA, qui a accepté mon inscription en DEA et pour avoir présidé ce jury.
- * C.B. GAYE, Responsable du 3ème Cycle: les enseignements reçus m'ont permis de parfaire ma formation théorique en hydrogéologie; il a beaucoup contribué à la mise en forme définitive de ce travail.
 - * A. FAYE, qui a bien voulu juger ce travail.
 - J.P. THIEBAUX, pour sa disponibilité permanente lors des travaux sur le terrain.
 - M. RITZ, J. VASSAL du Département de géophysique de l'ORSTOM
 - Tout le personnel enseignant du Département de Géologie.
 - Tout le personnel de l'ORSTOM-Hann.
- Tous mes collègues du Laboratoire d'Hydrogéologie de l'ORSTOM : Raymond, Amadou, S. Malick, Martine.
 - Grégoire Sissokho pour ses conseils et son soutien constant.
- Tous mes Camarades de l'Association des Scolaires Burkinabè à Dakar, mes compagnons de tous les jours.
 - Tous mes amis (es).

SOMMAIRE

	Pages
DEDICACES	
AVANT-PROPOS	
LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX	
INTRODUCTION GENERALE	1
1ère partie : donnees geologiques et hydrogeologiques	
Chap.1 - Cadre physique	2
Chap.2 - Aperçu sur la géologie du Sénégal	2
2-1 Les formations sédimentaires du Bassin sénégalais	2
2-2 Structures néotectoniques dans le Bassin sédimentaire sén	
lais	
2-2.1 Généralités	
2-2.2 Les déformations souples	
2-2.3 Les déformations fragiles	11
-les failles volcanisées	
-les failles sèches	
2-2.4 Interprétation de l'analyse photo-satellitaire	1 /
2 2 5 Dide entializate de Cuiene	15
2-2.5 Ride anticlinale de Guiers	15
2-3 Géologie locale	15
2-3.1 Lithostratigraphie	21
2-3.2 Caractères lithologiques des alluvions	23
2-3.2-1 Secteur Nord-Guiers	
2-3.2-2 Secteur de Dagana	
2-3.2-3 Secteur du Bas-Ferlo	
Conclusion	
Chap.3 - Hydrogéologie	31
3-1 Différents types de nappes d'eaux souterraines	31
3-2 Aquifères superficiels dans la vallée du Fleuve Séné- gal	3.2
3-2.1 Généralités	
3-2.2 Secteur Nord-Guiers	
3-2.2-1 Caractérisation de l'aquifère alluvial	
3-2.2-2 Caractérisation hydrogéologique	
3-2.3 Secteur de Dagana	
3-2.3-1 Caractérisation de l'aquifère	34
3-2.3-2 Hydrogéologie	25
3-2.4 Secteur de la cuvette de Keur Momar Sarr (Bas-Ferlo)	33
3.3.4.1 Tog amifbace	35
3-2.4-1 Les aquifères	36

3-2.4-2 Hydrogéologie	
2 ^{ème} partie : applications de l'electrique et de l'amt à l'etude hydrogeologique des aquiferes superficiels	3
Chap.1: - Techniques géophysiques applicables à l'hydrogéologie	38
1-1 Méthodes électriques et électromagnétiques	38
1-2 Méthodes gravimétriques	38
1-3 Méthodes magnétiques	38
1-4 Méthodes sismiques	39
1-5 Choix de l'Electrique et de l'Audio-Magnéto-Tellurie	40
Chap.2 - Les méthodes géophysiques utilisées	41
2-1 L'Electrique	41 41
2-2 L'AMT	45 45
Chap.3 - Les applications	47
3-1 Rappels des buts	47
3-2 Travaux antérieurs	47
3-2.1 par la Compagnie Générale de Géophysique	48
Chap.4 - Résultats des méthodes géophysiques utilisées	49
4-1 Interprétations des sondages électriques	49
4-1.1 Les sondages électriques	50 57
4-1.2 Les coupes des sondages électriques	62 62 62

4-3 Résistivités des eaux et résistivités des terrains	67
4-2 - Interprétation des sondages AMT	69
Chap.5 - Avantages et limites de ces deux méthodes géophysiques	69
CONCLUSIONS GENERALES	71
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	72
ANNEXES I	
ANNEYES IT	

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

- fig. 1 : Carte de situation des secteurs d'étude.
- fig. 2: Carte de situation des forages.
- fig. 3: Pluviométrie moyenne annuelle à Dagana (J.L. SAOS, 1990).
- fig. 4: La vallée alluviale du Sénégal (P. MICHEL, 1985).
- fig. 5 : Esquisse géomorphologique de la Basse Vallée du Sénégal (S.M. DIAO, 1992).
- fig. 6 : Croquis géomorphologique du Ferlo (M. DIOP, 1984).
- fig. 7: Carte du toit du Maastrichtien (J. LE PRIOL, 1985).
- fig. 8 : Carte du toit de l'Eocène/Paléocène.
- fig. 9: Profil de sismique réfraction dans la région de Mouk Mouk (J.F. PONSARD, 1985).
- fig. 10: Carte tectonique photo-interprétative du Sénégal (J. LE PRIOL, 1985).
- fig. 11: Influence de la fracturation dans le secteur de Matam.
- fig. 12 : Coupe géologique dans le horst de Guiers.
- fig. 13 : Coupe géologique dans le horst de Thilogne-Boki Diavé.
- fig. 14 : Coupe géologique dans la zone de Matam
- fig. 15: Evolution structurale du dôme de Guiers (J.Y. TRENOUS et P. MICHEL, 1971).
- fig. 16: Echelle stratigraphique d'après C. MONCIARDINI
- fig. 17 : Carte de situation des piézomètres
- fig. 18 : Esquisse géologique de la Basse vallée du Sénégal (M. AUDIBERT, 1970).
- fig. 19: Coupe lithologique 1-1' dans le secteur Nord-Guiers.
- fig. 20: Coupe lithologique 2-2' dans le secteur Nord-Guiers.
- fig. 21 : Coupe lithologique 3-3'dans le secteur de Dagana.
- fig. 22 : Coupe lithologique 4-4'dans le secteur de Dagana.
- fig. 23 : Coupe lithologique 5-5' dans le secteur de Dagana.
- tab. 1 : Caractéristiques techniques des piézomètres du secteur Nord-Guiers.
- fig. 24 : Dôme piézométrique dans le secteur Nord-Guiers.
- fig. 25: Evolution piézométrique dans le méandre de Dagana (Ouallo).
- fig. 26: Evolution piézométrique dans le secteur de Dagana (Ouallo/Diéri).
- tab. 2: Caractéristiques hydrochimiques (Secteur Nord-Guiers).
- tab. 3 : Méthodes de prospection électromagnétique.
- fig. 27 : Schéma d'un dipôle électrique Schlumberger.
- tab. 4 : Caractéristiques géométriques des sondages électriques.
- tab. 5 : Modèles des sondages électriques.
- fig. 28 : Lignes de courant et équipotentielles.
- fig. 29: Synoptique d'une station d'enregistrement AMT.
- tab. 6: Résistivités des eaux et résistivités des roches (ASTIER, 1971).
- tab. 7: Résultats de la géophysique (ILLY, 1973).
- fig. 30 : Localisation des sondages géophysiques dans le secteur Nord-Guiers.
- fig. 31 : Localisation des sondages géophysiques dans le secteur de Dagana.
- fig. 32 : Localisation des sondages géophysiques dans le secteur du Bas-Ferlo.
- fig. 33 : Courbes des Sondages électriques T1 et T2.
- fig. 34 : Courbes des Sondages électriques T3 et T4.
- fig. 35: Courbes des Sondages électriques D1 et D2.
- fig. 36 : Courbes des sondages électriques D3 et D4.
- fig. 37 : Courbes des Sondages électriques F1 et F2.
- fig. 38 : Coupe AA' des sondages électriques du secteur Nord-Guiers (4 premières couches).
- fig. 39 : Coupe AA' à l'échelle des sondages électriques dans le secteur Nord-Guiers.
- fig. 40 : Coupe BB' des sondages électriques dans le secteur de Dagana (Ouallo). fig. 41 : Coupe CC' des sondages électriques dans le secteur de Dagana (Diéri).
- fig. 42 : Coupe DD' des sondages électriques dans le secteur du Bas-Ferlo.
- tab. 8a : Résistivités données par l'AMT.
- tab. 8b: Profondeurs d'investigation de l'AMT.
- fig. 43 : Relation théorique entre résistivités des eaux et résistivité des terrains (KELLER,
- tab. 9 : Relation expérimentale entre résistivités des eaux et résistivités des terrains.

Figures et tableaux en annnexe

Annexe I:

A1-1: Tableau des caractéristiques techniques et physicochimiques des ouvrages.

A1-2: Log de carottage près d la digue de Keur Momar Sarr (SAOS, Inédit).

A1-3: Comparaison entre niveau statique au GA201 et niveau du Lac de Guiers (SAOS, 1990).

A1-4a: Mesures de gradient de conductivités, 5/90. A1-4b: Mesures de gradient de conductivités, 5/91.

A1-5: Variations de conductivités en fonction de la profondeur (SAOS, 1990).

A1-6: Cartes d'isoconductivités (Oct. et Juin 1989).

Annexe II:

A2-1: Carte de situation des sondages électriques dans le Ferlo (TOGUYENI, 1986).

A2-2: Description du résistivimètre SYSCAL R1.

A2-3(a, b, c): Abaques utilisées.

A2-4: Coupes des sondages électriques dans le Ferlo (TOGUYENI, 1986): a) coupes 1&2 b) coupe 3.

A2-5a: Feuille de terrain de la 1ère mission. A2-5b: Feuille de terrain de la 2ème mission.

RESUME

Dans le cadre du projet *EQUESEN, une application des techniques géophysiques à

l'étude des nappes alluviales du Sénégal à été entreprise.

Les sondages électriques et les sondages A.M.T.(Audio-Magnéto-Tellurie) ont été effectués dans trois secteurs : le secteur Nord-Guiers, le secteur du méandre de Dagana, le secteur de la vallée du Ferlo.

L'Electrique avait pour but de rechercher l'épaisseur des alluvions et la nature de leur substratum, la pollution saline et les structures du substratum.

L'A.M.T. devait compléter les données de l'Electrique et offrir une meilleure connaissance des discontinuités profondes (failles).

Les coupes géologiques qui ont été établies à partir de logs de forages et piézomètres ont montré l'existence de failles verticales (Pliocène, Pléistocène) déterminant les zones effondrées adjacentes aux horsts de Guiers et de Thilogne-Boki Diavé, confirmant ainsi les données anciennes (TRENOUS, 1970; LE PRIOL, 1985).

Les résultats des sondages électriques réalisés ont permis définir les formations alluviales suivantes :

-des silts (9 à 12 Ohm m),

-des sables fins nouakchottiens et inchirien (40 à 45 Ohm m),

-des argiles salifères (0,5 à 0,8 Ohm m) du Nouakchottien),

-des argiles sableuses (4 à 6 Ohm m).

L'hétérogénéité latérale des formations alluvionnaires est remarquable dans ces zones : chenaux de matériels sableux fins au argilo-sableux.

Les nappes salées subsistent encore et sont très étendues dans la basse vallée alluviale du Sénégal.

L'étude géophysique et les données hydrogéologiques ont permis de définir un système de nappes à aquifères multi-couche dans les secteurs d'étude. La communication entre tous les aquifères n'est vérifiée que dans le secteur Nord-Güiers.

Le toit du substratum est généralement situé entre 12 et 80 mètres de profondeur. Les formations constituant le substratum des alluvions qui ont été mises en évidence comprennent :

-des marnes argileuses (1,5 à 6 Ohm m),

-des calcaires marneux et calcaires fissurés (70 à 90 Ohm m).

Une vallée fossile du Ferlo d'environ 80 m de profondeur a été mise en évidence au Sud-Est de la digue de Keur Momar Sarr.

^{*}EQUESEN: Environnement et Qualité des Eaux Souterraines du Sénégal - Programme C.E.E.

MOTS CLES: Electrique, Audio-Magnéto-Tellurie, alluvions quaternaires, aquifère multicouches, nappes salées, substratum éocène, vallée fossile, Fleuve Sénégal.

PREMIERE PARTIE:

DONNEES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES

CHAP.1 - CADRE PHYSIOUE

Les secteurs géographiques concernés par la présente étude appartiennent aux régions du Fleuve (Saint-Louis) et de Louga dans la partie septentrionale du Sénégal

Notre zone d'étude comprend :

-d'une part, les secteurs du Nord du Lac de Guiers, de Dagana, et du Bas Ferlo où des sondages géophysiques ont été effectués (fig. 1) et;

-d'autre part, le secteur de Matam d'autre part où nous avons étudié la lithologie à l'aide des logs des forages d'eau (fig. 2).

Hormis les hauts plateaux cuirassés et les massifs granitiques du Sénégal-Oriental, la grande partie du bassin sédimentaire a un relief plat et uniforme; cette monotonie du relief disparaît dans la presqu'île du Cap-Vert (par les falaises de Thiès et Bargny), et au Nord et au Sud-Ouest (dunes d'origine éolienne)- MICHEL, 1973.

Sur le pian climatique, on distingue deux zones : une zone sahélienne au Nord et une zone soudano-guinéenne au Sud du pays. Le climat est marqué par deux saisons contrastées (humide et sèche). Dans le Delta du Fleuve, 200 mm de pluies en moyenne ont été enregistrées en 1990 (DIAO, 1992). Les historiques dans la vallée montrent une période de sécheresse depuis 1970 (MICHEL, 1985) avec une légère tendance vers une pluviométrie plus abondante en fin 1990 (SAOS, 1990) : la moyenne annuelle qui était au plus bas en 1984 remonte sensiblement (fig. 3).

La répartition géographique des espèces végétales se fait suivant le climat. Ainsi, on passe du Nord au Sud du pays, d'une végétation clairsemée à épineux dominants, à un peuplement végétal plus dense avec de grands arbres bien diversifiés. Dans les vallées alluviales (fig. 4), vivent des peuplements végétaux azonaux qui marquent une rupture avec le paysage généralement uniforme du reste du pays. La bordure du fleuve Sénégal est occupée par une steppe arbustive ou arborée, ou une steppe à halophytes dans la zone du delta. Sur les dunes littorales, on rencontre des halophytes et psammophytes adaptés aux conditions écologiques particulières de ces milieux (MICHEL, 1973).

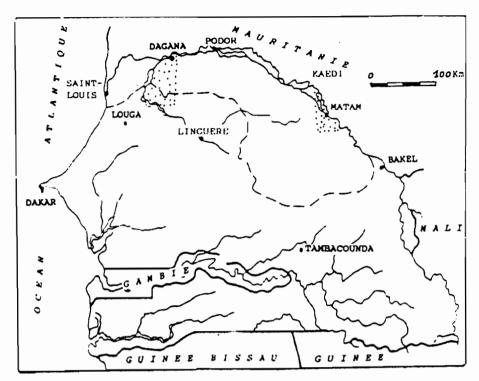
Les caractères physiques généraux ci-dessus se rencontrent bien dans notre zone d'étude, mais avec cependant quelques particularités. Des expressions locales "Toucouleur" désignent certains traits géomorphologiques de la vallée du Fleuve Sénégal : le terme "Ouallo" (ou "Walo") correspond aux terres inondées par les eaux fluviales pendant les périodes de crue ; le "Diéri" désigne des terrasses nouakchottiennes et les dunes rouges fixées à sables secs (fig. 5) ; les "Fondé" correspondent aux hautes levées fluvio-lacustres post-nouakchottiennes ; les vasières plates et salées du Haut Ferlo appelées "Tannes" sont envahies par une végétation de "Tamaris" caractéristique de ces sols sursalés (DIOP, 1984) - fig. 6.

CHAP. 2 - APERCU SUR LA GEOLOGIE DES SECTEURS D'ETUDE

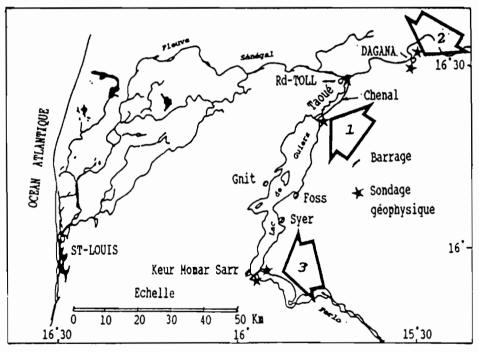
Deux entités géologiques se partagent le pays : d'une part les formations cristallines anciennes du Sénégal-Oriental et d'autre part, les formations du bassin sédimentaire sénégalais. Nous nous intéresserons particulièrement aux formations du Bassin sédimentaire sénégalais.

2-1 LES FORMATIONS DU BASSIN SEDIMENTAIRE SENEGALAIS

L'essentiel du territoire sénégalais est formé de roches sédimentaires mésozoïques (Crétacé) et cénozoïques (Tertiaire), appartenant au bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien. Ces formations sédimentaires sont discordantes sur les roches du socle sous-jacent (BRGM, 1962); P. MICHEL (1973) propose la stratigraphie suivante du bassin sédimentaire dont certains étages ont fait l'objet d'études anciennes ou récentes:

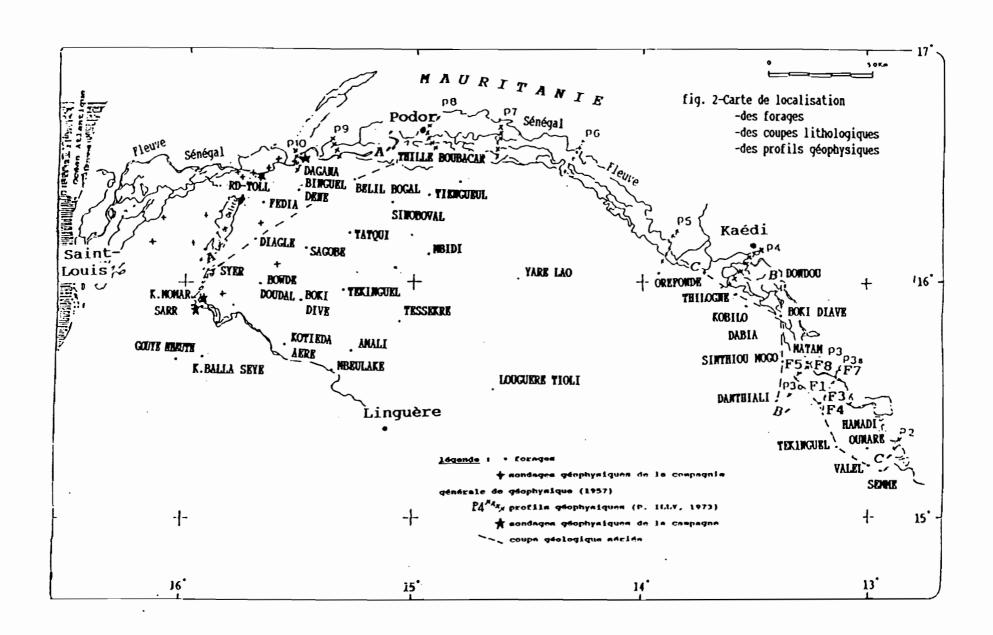


Carte de situation des secteurs d'étude



Localisation des sondages géophysiques de la campagne 1 -Secteur Nord-Guiers 2 -Secteur de Dagana 3 -Secteur du Bas-Ferlo

fig. 1- Localisation des secteurs d'études (basse vallée et moyenne vallée) et des sondages géophysiques dans la basse vallée du Sénégal



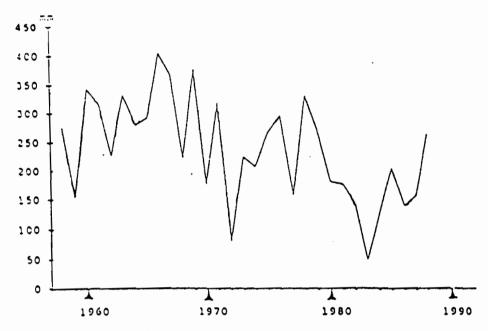


fig. 3- Pluviométrie moyenne annuelle à Dagana (SAOS, 1990)

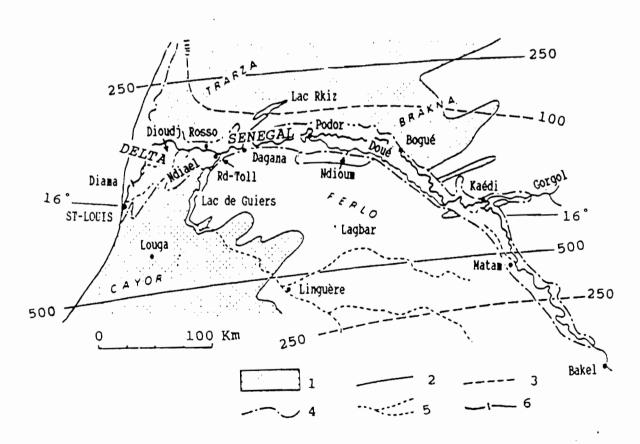


fig. 4- La vallée alluviale du Sénégal [P. MICEL, 1985]
1 anciennes dunes fixées et rubéfiées - 2 isobyètes annuelles 1931-1960 (normale) en mr - 3 isobyètes de 1972
en mr - 4 lirites de la vallée alluviale - 5 ancien bras ou vallée morte - 6 barrage

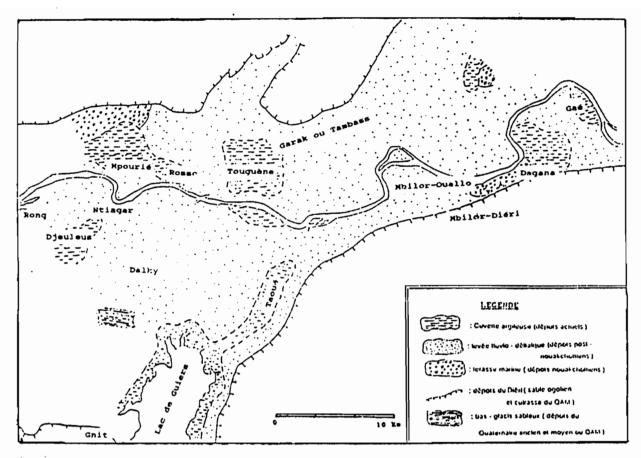
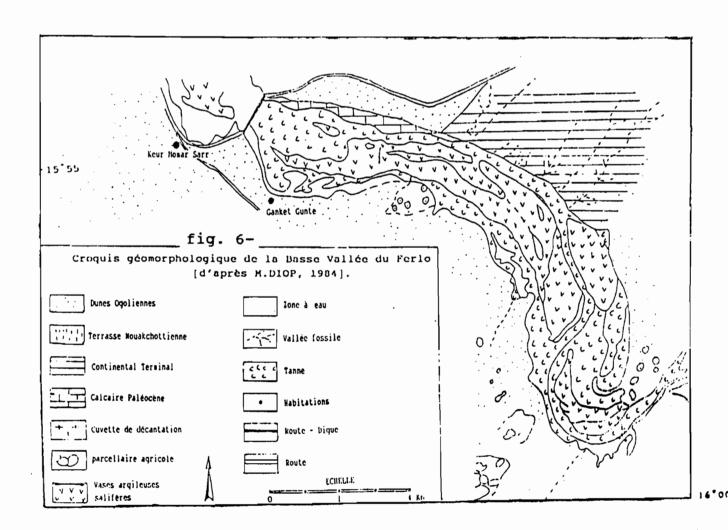


fig. 5- Esquisse géomorphologique dans la basse vallée du fleuve Sénégal (Ouallo) - DIAO (1992)



- * Les dépôts crétacés
- le Néocomien (senso-lato) formé de grès détritiques (à l'Est du pays) et de calcaires fossilifères à éléments détritiques ; on rencontre ces types de calcaires au large des côtes sénégalaises ;
- l'Albien est représenté par les formations sédimentaires chimiques fines (argiles versicolores et alternances d'argiles et de grès fins tendres);
- le Cénomanien Supérieur correspond à des dépôts détritiques d'autant plus grossiers que l'on va vers l'Ouest;
- puis suivent une période sédimentaire chimique au Turonien et des dépôts détritiques (sables, grès, graviers et galets) ou Sénonien senso-stricto.
- le Maastrichtien (72 à 65 Ma) est l'étage le plus étendu dans le bassin sédimentaire; il est formé de grès sableux, de sables et de grès calcaires dont la puissance maximale atteint 120 mètres. L'étude des foraminifères des sables maastrichtiens de la localité du Cap de Naz a permis de préciser la puissance de 50 mètres qui étaient surestimée (KHATIB et al, 1990). Le Maastrichtien n'affleure qu'au niveau du horst de Ndiass dans la région du Cap-Vert; il est sub-affleurant dans les secteurs de Matam et du dôme de Guiers (fig. 7 et 8).
 - * Les dépôts éocènes comprennent :
- Le Paléocène (65 à 55 Ma) qui affleure seulement à l'Ouest du Sénégal (Mbour, massif de Ndiass), BRGM (1962).

Il est formé de haut en bas par des calcaires azoïques, des calcaires, marnes gréseuses à l'Est du bassin, des calcaires karstiques à l'Est du lac de Guiers (ILLY, 1973), des calcaires zoogènes (TRENOUS, 1968);

- Eocène Inférieur ou Yprésien (49 à 55 Ma): ce sont des dépôts d'argiles papyracées blanches ou gris-clair, de calcaires et marnes d'aspect crayeux avec des niveaux oolithiques, coquilliers, glauconieux, dolomitisés ou siliceux (ILLY, 1973). Ces niveaux siliceux constituent des bancs repères dans l'Yprésien (BRGM, 1967).

La puissance de l'Eocène Inférieur augmente d'Est en Ouest : elle va de 20 mètres dans le Nord-Est du pays (ILLY, 1973) à 400 mètres dans les limons et marnes de la presqu'île du Cap-Vert selon ELOUARD (1968).

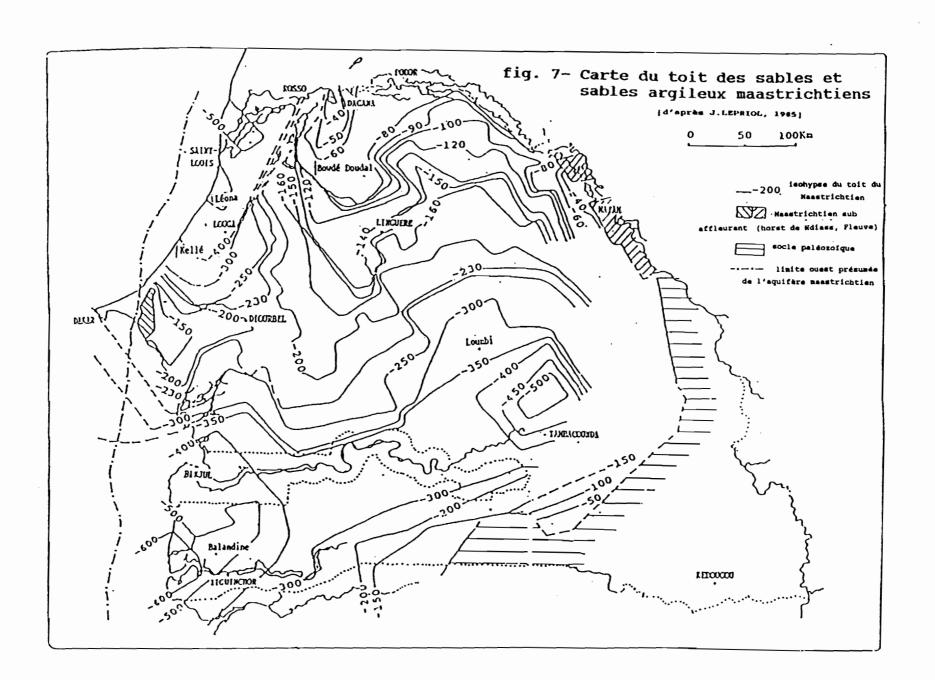
- Eocène moyen ou Lutétien (49 à 43 Ma)

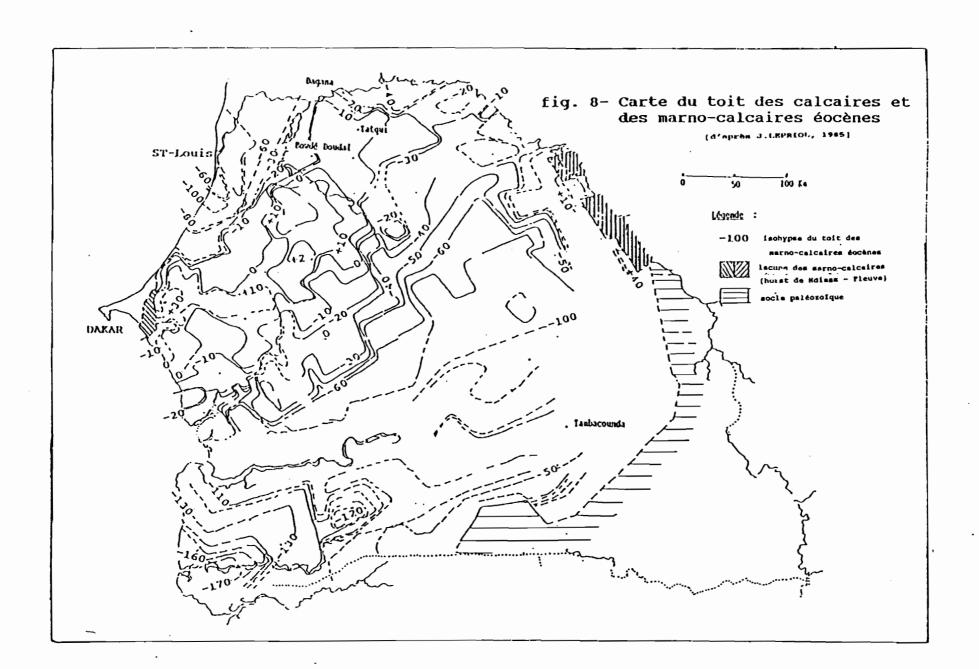
C'est le niveau éocène le plus transgressif correspondant à une extension maximale du golfe marin. Le faciès lithologique est variable : argiles et marnes dominants, calcaires abondants (ILLY, 1973). On distingue le Lutétien inférieur à calcaires et grès quartzites au Sénégal-Occidental et le Lutétien Supérieur (calcaires à Nummulites au Sénégal-Oriental avec également des marnes grises à passées d'argiles vertes et calcaires).

Les calcaires du Lutétien des localités de Bargny, Khombole sont puissants de 200 mètres (BRGM, 1967). Cependant, le lutétien n'affleure pas au droit de l'anticlinal du lac de Guiers (TRENOUS, 1968).

- Eocène Supérieur (43 à 37 Ma)

C'est un niveau variable selon la localité. Il est présent le long des fleuves Casamance et Gambie (argiles, carbonates, sables argileuses) et en Mauritanie (argiles). Selon P. ILLY (1973), on le trouve au Nord-Est du bassin du Sénégal sous forme de grès ou sables, d'argiles sableuses, tous azoïques, avec à la base des conglomérats localement argileux.





* Les dépôts oligocènes et miocènes

Les sédiments oligocènes correspondent à une régression marine avec dépôts de calcaires gréseux faisant place à des argiles sableuses lors de la transgression miocène ; c'est pourquoi on parle de miocène marin.

* Le Continental terminal (mio-Pliocène : 25 à 8 Ma).

C'est une sédimentation continentale dont le faciès caractéristique est un grès hétérométrique argileux, bariolé avec des intercalations de lentilles de sables, de bancs d'argiles kaoliniques et des passées de gravillons ferrugineux (BRGM, 1967; ILLY, 1973). Le sommet de ces dépôts continentaux est formée d'une cuirasse latéritique compacte piquetée de quelques grains de quartz dont l'épaisseur ne dépasse pas 1 mètre.

* Le Ouaternaire

Les formations quaternaires sont très hétérogènes et diversifiées : calcaires lacustres, vases, sables marins, alluvions fluviatiles, dunes rouges fixées, dunes jaunes ou blanches semifixées, cuirasses latéritiques originelles ou néoformées.

Nous reviendrons sur les formations quaternaires dans le paragraphe 2-3 avec plus de détails.

2-2 STRUCTURES NEOTECTONIQUES DANS LE BASSIN SEDIMENTAIRE SENEGALAIS.

Nous examinerons dans ce chapitre, l'étude et l'interprétation des manifestations tectoniques (qui ont lieu au cours de la période allant du primaire à l'époque récente) dans le bassin sédimentaire sénégalais. Après un rappel des notions générales sur la tectonique du bassin, nous aborderons les manifestations de tectonique cassante et souple notamment dans la partie Nord du pays.

2-2.1 GENERALITES

A l'échelle continentale, la plate-forme ouest africaine et sa couverture ont subi des mouvements tectoniques de différentes ampleurs pendant le Primaire. Puis des déformations plus récentes consistant en un soulèvement général du socle, ont affecté le bassin sénégalais. Ces structures tectoniques seraient liées au paroxysme du plissement alpin. Cette tectonique s'est traduite par un mouvement de bascule dans l'Ouest de la Guinée donnant un réseau de fractures similaires au quadrillage hercynien. Ces fractures profondes affectant aussi bien le socle que sa couverture (formations du Continental terminal et du quaternaire) ont dû rejouer en profondeur jusqu'à une époque récente (MICHEL, 1973).

Selon P. MICHEL(1973), les principales déformations du Nord-Ouest du bassin sénégalais coïncideraient avec la régression de la mer Aïoujienne (145 000-125 000 ans BP); ce qui serait à l'origine de la déviation du cours inférieur du fleuve Sénégal de sa trajectoire initiale du Nord-Ouest, vers l'Ouest, en aval de Bogué.

Pendant que la presqu'île du Cap-Vert est affectée par des manifestations volcaniques basiques le long des failles, dans le Ferlo, la surface fini-oligocène enregistre un style de déformation souple; l'axe anticlinal Dahra - Dagana se soulève tandis que les parties centrale et méridionale du Ferlo s'affaissent à nouveau.

On distingue au total deux types de déformations néotectoniques dans le bassin sénégalais selon TRENOUS et MICHEL (1970):

- les déformations souples à grand rayon de courbure,
- les déformations fragiles en fractures vulcanisées ou non.

2-2.2 LES DEFORMATIONS SOUPLES EN ONDES EPIROGENIQUES

Il y a une tendance générale à la surrection dans l'Ouest du Sénégal dès la fin de l'Eocène Inférieur (-49 Ma). Ce soulèvement épirogénique affecte à la fois les dépôts marins éocènes et les terres émergées des hauts bassins du Sénégal et de la Gambie (MICHEL, 1973).

Pour P. MICHEL (1973), cette surrection est liée à la réaction du socle du bouclier ouest africain face au plissement alpin ; il y a donc soulèvement dans certaines zones (avec des lacunes de sédimentation ou érosion de dépôts), ou sédimentation importante dans les zones subsidentes.

Ces manifestations épirogéniques se sont traduites par de vastes ondulations des couches sédimentaires. Leur rayon varie du décimètre à 100 kilomètres environ. L'examen de la carte des courbes d'égale profondeur du toit de la nappe maastrichtienne (fig. 7) montre quatre unités opposées d'eux à deux (BRGM, 1967):

au Nord, l'anticlinal de Tatqui-Bowdé-Doudal venant mourir dans la région de Diourbel; il lui fait face l'anticlinal de Ndiass;

au Sud-Est du pays, le synclinal d'axe NE-SW (dont l'axe passe par Balandine et entre Tambacounda et Loumbi) est opposé au Synclinal du Ferlo.

Sur la feuille de Louga à l'échelle 1/200 000° (BRGM, 1967), on distingue les structures souples suivantes :

- * une ride anticlinale allant du massif de Ndiass au Nord du Lac de Guiers, ce qui amène à l'affleurement les formations tertiaires (argiles yprésiennes);
- * les structures subsidentes du bassin de Kellé (s'ouvrant à l'Ouest sur l'Atlantique) et du bas delta du fleuve Sénégal;
- * le dôme formé par le batholite intrusif de Léona (d'âge fini-sénonien) se situe au Sud de la zone subsidente de Saint-Louis.

La zone du delta actuel du Sénégal est marquée à sa bordure orientale par un enfoncement brutal des séries suivant une ligne méridienne passant près de Dagana et de Kolda (MICHEL, 1973). Cette structuration traduirait une subsidence importante et prolongée. Une étude par prospection sismique (MATHIEZ et HUOT, 1966) a mis en évidence cette flexure du socle passant par le méridien 15 30 W (fig. 9). Ainsi, la pile sédimentaire qui est de 400 à 600 mètres dans le Ferlo-Oriental et passe à 7 000 mètres (Basse-Casamance) à 6 000 mètres à Saint-Louis.

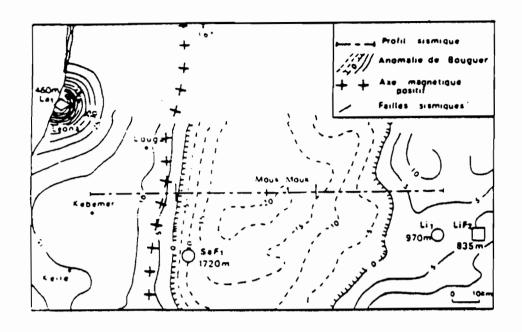
2-2.3 LES DEFORMATIONS FRAGILES PAR FRACTURES

L'examen de la carte tectonique photo-interprétative du Sénégal à l'échelle 1/1 000 000° (fig. 6), montre que le territoire est parcouru par un réseau dense de linéaments (failles). En effet, l'extrémité occidentale de la plaque africaine a été le siège de mouvements tectoniques cassants de deux types (FAURE et al, 1970).

2-2.3-1 Les failles volcanisées

Les failles liées à des manifestations volcaniques singularisent la presqu'île du Cap-Vert, car c'est la seule région du Continent à avoir connu des manifestations volcaniques au Tertiaire et au Quaternaire. Ces failles sont orientées suivant des directions NNE-SSO à SE-NO (prédominance de la direction NNE-SSO) et elles donnent lieu à des émissions volcaniques en leur intersection.

Ces émissions volcaniques sont sous forme de coulées basiques de sills, de dykes et de pipes de basanites de néphilinites, et de basaltes (volcanisme Tertiaire). Au Quaternaire, la principale



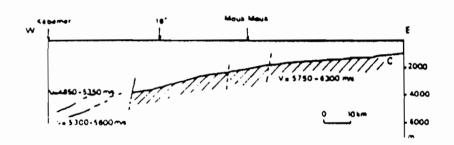


fig. 9- Profil sismique réfraction dans la région de Mouk-Mouk (d'après LIGER, 1980 ; in J.F. PONSARD, 1985)

manifestation volcanique est celle des "Mamelles" (basanites, basanites doléritiques et dolérites).

La dynamique de ces failles est marquée par la prédominance du mouvement vertical (structure en horsts et grabens) liée à une double extension latérale de la lithosphère - LOMPO, 1987.

En effet, seion FAURE et al. (1970), ces ruptures d'extension de la lithosphère sont discontinues dans le temps (avec un paroxysme au Miocène et au Pléistocène) et sont à l'origine de ces grandes fractures. Par ailleurs, ces auteurs pensent que ces mouvements tectoniques sont en relation probable avec les accidents transverses par rapport à la ride océanique (littoral Nord).

2-2.3-2 Les failles "sèches"

Ce sont des fractures qui ne sont pas liées à une activité volcanique quelconque visible. La carte photo-interprétative (fig. 10) donne des linéaments où toutes les directions de l'espace sont représentées et cela sur toute l'étendue du territoire Sénégalais. Certains de ces linéaments se sont revelés être de véritables failles. Ces linéaments se répartissent en 5 directions principales (LE PRIOL, 1985) dont nous vous présentons les quatre directions qui se retrouvent dans la moitié Nord du pays.

a - Direction NNE-SSW: N09-12°E à N25-N27°E

Elle correspond au tracé du Lac de Guiers entre Richard-Toll et Keur Momar Sarr. Ces failles ont été mises en évidence par les corrélations entre sondages et plusieurs campagnes géophysiques (cartes structurales établies par DEGALLIER (1960) et MONCIARDINI (1965). Un exemple de ces failles est donné par l'accident passant par Rosso - Gnit - Sakar - Louga - Kébémer dont le rejet du compartiment occidental est de 200 mètres environ.

b - Direction ENE-WSW: N60 à 78°E

Elle est fréquente surtout au Nord et à l'Est du pays et caractérisée par des failles de direction N60 à N71 E, souvent relayées par des failles N75 à 78 E. C'est le cas de l'accident majeur Dakar-Moukh Moukh - Yang Yang - Lour - Kaédi qui délimite le tracé Nord de la presqu'île du Cap-Vert entre Yoff et Kayar (AUDIBERT, 1962).

Ces failles jouent un rôle déterminant dans le tracé des principaux cours d'eau (entre Kaédi et Saldé et entre Podor et Richard-Toll sur le fleuve Sénégal).

c - Direction ESE-WNW: N100 à N93°E

Bien que leur mise en évidence soit difficile en photo-interprétation, ces linéaments (failles) correspondent à l'orientation du couloir Bogué-Guédé sur le fleuve Sénégal.

d - Directions SE-NO: N127 à 130°E, N134 à N142°E

Elles correspondent respectivement au tracé du réseau hydrographique entre Linguère et Keur Momar Sarr (Ferlo), entre Fété Bowal et Ranérou (Ferlo), entre Bakel et Matam (Sénégal), entre Saldé et Bogué (Sénégal); et à de grands accidents pouvant traverser tout le pays, comme par exemple l'accident passant par les localités de Bowdé Doudal, Yang Yang, Linguère, Lindé, Koussanar, Tambacounda (rejet cumulé d'environ 200 mètres).

2-2.4 INTERPRETATION DES RESULTATS DE L'ANALYSE PHOTO-SATELLITAIRE.

Les nombreux linéaments mis en évidence pourraient traduire la tectonique cassante ayant affecté la presqu'île du Cap-Vert et le reste du bassin sénégalais. Dans les fractures révelées par les corrélations lithologiques et les sondages géophysiques, le mouvement vertical est dominant (rejet important pour de courtes distances horizontales).

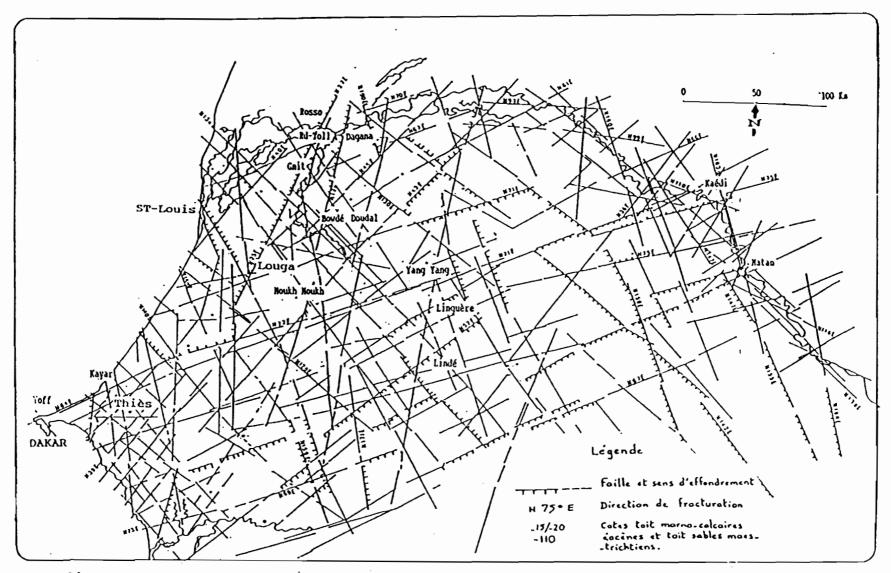


fig 10-Carte tectonique photo-interprétative du Sénégal (moitié Nord du pays) - [d'après J. LE PRIOL, 1985]

Les coupes géologiques sériées réalisées par J. LE PRIOL (1984) montrent clairement que le substratum de sables maastrichtiens a subi une tectonique cassante : effondrement local du toit du Maastrichtien et des séries paléocènes-éocènes sous-jacentes. Le Continental terminal et le quaternaire n'ont pas subi ces déformations dans certaines régions. Mais l'effet de cette tectonique s'est ressenti particulièrement en surface avec notamment le contrôle du tracé des fleuves et du littoral sénégalais par des failles. Les failles NE-SW (N60 à N75 E) et NW-SE (N135-147 E) sont à l'origine de la surrection des sables maastrichtiens vers la surface du sol dans les localités de Dagana et de Matam. Ces failles délimitent bien les contours géométriques des sables subaffleurants des secteurs de Thilogne et de Matam-Semmé (fig. 11).

Les coupes lithologiques sériées que nous avons réalisées (fig. 12, 13 et 14) confirment bien l'existence de failles sub-verticales mises en évidence par différents auteurs (TRENOUS, 1970; LE PRIOL, 1985). Du fait que les linéaments mis en évidence par photo-interprétation (LE PRIOL, 1985) ne correspondent pas toujours à des failles, nous n'en avons pas tenu compte dans l'élaboration de nos coupes sériées.

2-2.5 RIDE ANTICLINALE FAILLEE DE GUIERS.

Le dôme de Guiers est connu depuis longtemps et les failles orthogonales dans le flanc occidental ont attiré la curiosité de chercheurs (AUDIBERT, 1962; MICHEL, 1973; TRE-NOUS, 1968). L'évolution structurale complète du dôme de Guiers est illustrée par la figure 15.

Dès le Maastrichtien une ride anticlinale se forme ; puis plusieurs phases de sédimentation se succèderont avec dépôts respectifs de calcaires sur l'ensemble de la région au Paléocène et d'argiles à l'Eocène Inférieur (Yprésien) ; au Lutétien, les marnes se déposent autour de la ride et soulignent son contour (TRENOUS, 1968). L'absence des marnes lutétiennes sur le dôme de Guiers s'explique que par l'émersion de ce dernier à la fin de l'Eocène Inférieur ; ce qui favorisera également une érosion des couches de l'éocène inférieur d'où une diminution de leur épaisseur au droit de la ride.

Par la suite, ces assises marines seront recouvertes par de grès sableux du Continental terminal et les formations quaternaires. Au pliocène, le flanc ouest du dôme de Guiers sera le siège de manifestations de tectonique cassante en donnant une structure en "touches de pianos". On distingue en effet deux failles principales d'orientation SW-NE et de plus petites disposées transversalement par rapport aux premières. La direction des failles SW-NE correspond bien à l'orientation du lac de Guiers dont le brusque changement de direction à la hauteur de Keur Momar Sarr (vallée du Ferlo) correspond aux failles NW-SE. Ces failles à directions perpendiculaires se sont manifestés à diverses époques au cours du quaternaire. "Il s'agirait selon FAURE et al.(1971) de failles du précambrien qui n'ont cessé de rejouer depuis cette époque".

CONCLUSION:

Deux types de manifestations néotectoniques (du Tertiaire à l'Actuel) peuvent être distinguées dans le bassin sédimentaire sénégalais : les mégaplis et les failles vulcanisées ou non. Les failles vulcanisées de la presqu'île du Cap-Vert sont contrôlées par des ruptures d'extension de la lithosphère (MARTIN et al, 1975).

2-3 GEOLOGIE LOCALE DES SECTEURS D'ETUDE DE LA BASSE VALLEE DU SENEGAL

Les secteurs de Dagana, du Bas-Ferlo et Nord-Guiers appartiennent aux bordures occidentale et septentrionale du dôme structural de Guiers. Dans ce paragraphe, nous préciserons les caractères géologiques particuliers des secteurs d'études notamment ceux relatifs aux alluvions quaternaires.

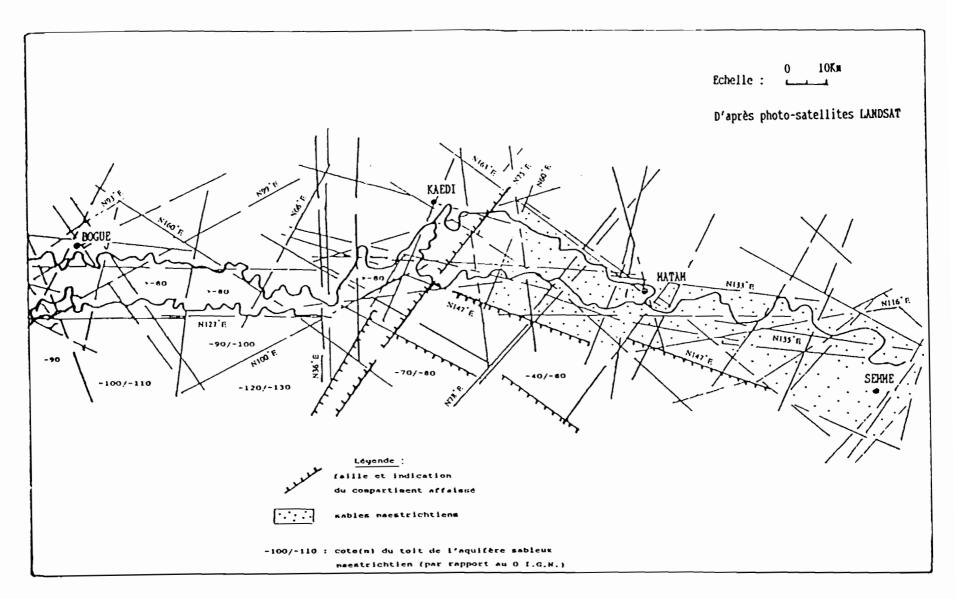


fig 11- Influence de la fracturation sur le tracé du Fleuve Sénégal entre Semmé et ROGUE Rôle de la tectonique dans l'existence d'une zone à formations ma strichtiennes sub-affleurantes dans les secteurs de Matam-Semmé

[D'APTES J.LE PRIOL, 1985]

IGH

-100

-200

SYER

-200

Légende : Gr:gravier L, Lat:latérite A:argile AS:argile sableuse S:sable SA:sable argileux G:grès C:calcaire CH:calcaire marneux H:marne HC:narno-calcaire

2 500 a

— ligne fictive joignant les cotes au sol des forages (ne pas interprêter conne un profit topographique) 1-toit des narno-calcaires ou des calcaires de l'Eocène/Paléocène 2-toit des sables naasrichtiens

discontinuité, faille présunée

DIAGLE

fig 12- Coupe géologique de forages dans le horst de Guiers : failles présumées verticales aux flancs : faille majeure située entre les forages de Syer et Diaglé avec 80 mètres environ comme rejet vertical.

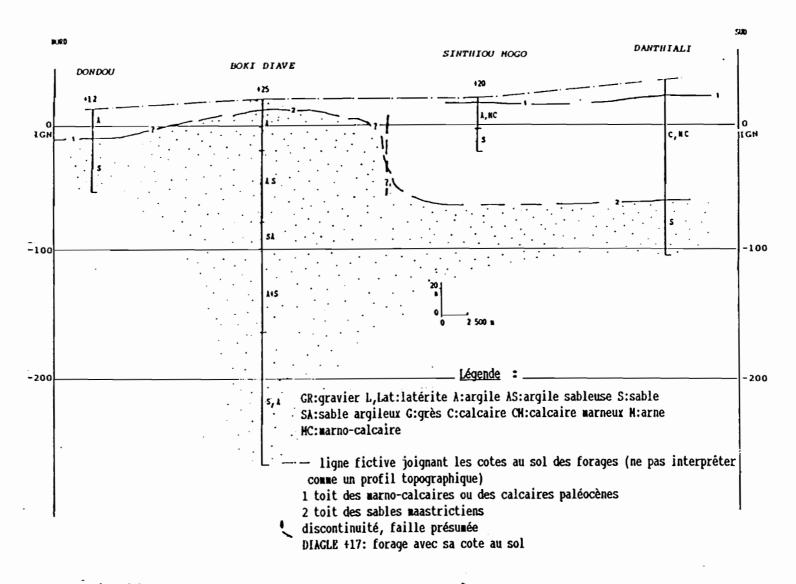
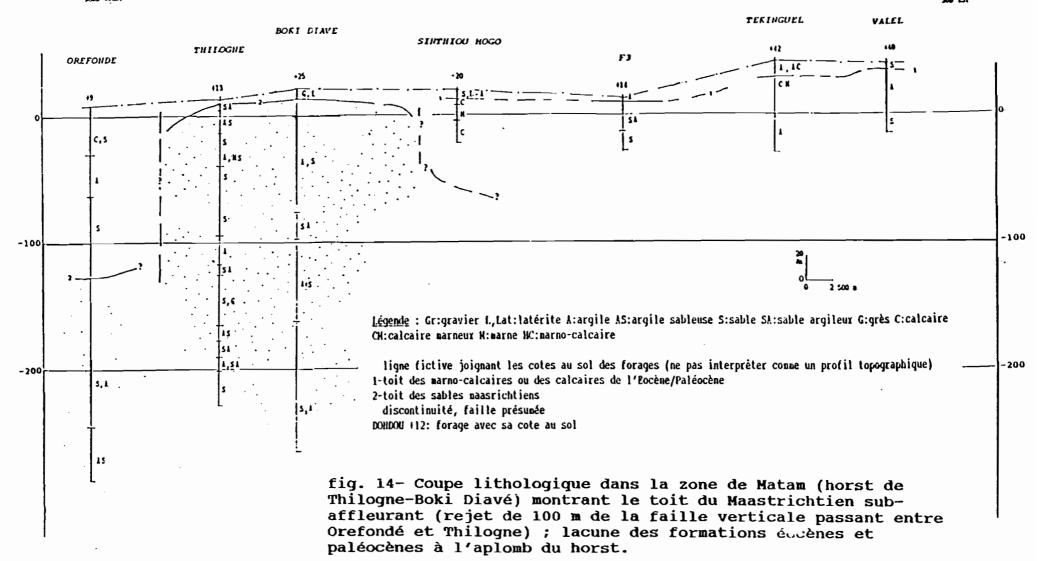


fig 13- Coupe géologique de forages dans la zone de Matam : Horst de Thilogne-Boki Diavé : le toit des sables maastrichtiens est sub-affleurant avec une lacune des couches sédimentaires de calcaires et marnes (Paléocène, Eocène)



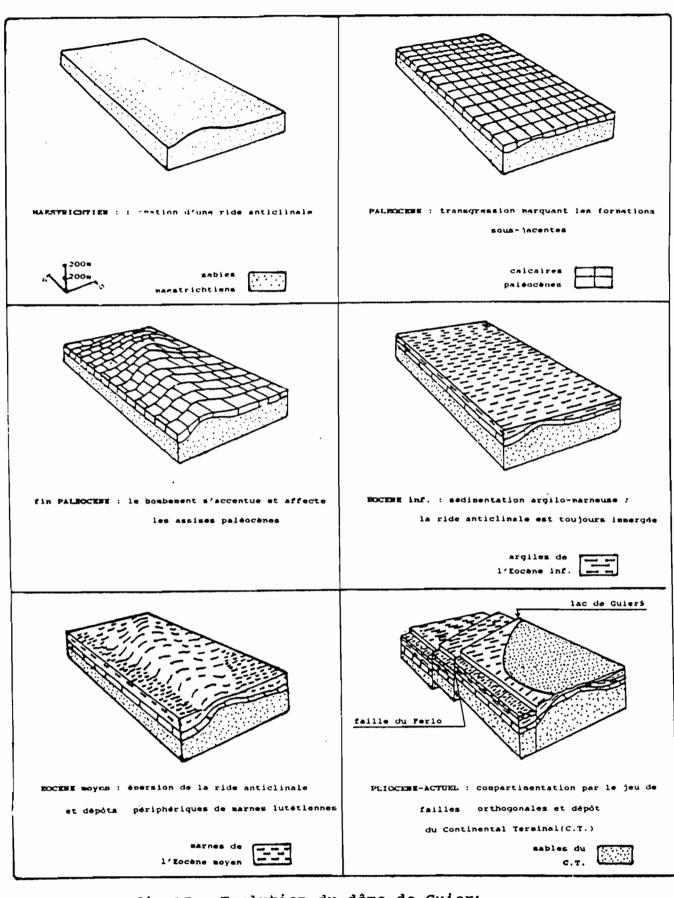


fig 15- Evolution du dôme de Guiers

[d'après J.Y.TRENOUS et P.MICBEL,1970]

2-3.1 ENSEMBLES SEDIMENTAIRES

Dans le rapport d'étude effectué dans les régions du lac de Guiers, de la vallée du Ferlo, de Linguère, Dahra, Coki, Louga, MONCIARDINI (1966) propose la stratigraphie de la figure 16. Nous remarquons sur cette figure l'absence de l'Eocène Supérieur dans la zone concernée, ainsi qu'une lacune du Lutétien au droit de l'anticlinal de Guiers : il s'agirait soit d'une érosion, soit d'une lacune de dépôts ; le premier cas de figure (érosion) est retenu par AUDIBERT (1956) et TRENOUS (1968). En effet, la région centrale du bassin sédimentaire, le Ferlo, le Trarza et la partie Nord-Ouest du Ferlo se sont affaissés après l'Eocène. Les dépôts détritiques du Continental Terminal s'y déposent pendant le Néogène. Dans le Trarza, la subsidence se prolonge jusqu'au Quaternaire, tandis que toute la bordure orientale du bassin a été attaquée par l'érosion (MOUSSU, 1975).

Les coupes géologiques sériées que nous avons effectuées montrent clairement le rôle des failles verticales décrochantes dans le soulèvement du toit du Maastrichtien; il s'en suit une érosion des couches mises à l'affleurement (Eocène-Paléocène). Cependant, dans la zone anticlinale de Guiers, les séries éocènes et paléocènes ne sont pas entièrement érodées (fig. 14).

Les séries sédimentaires du Quaternaire à l'Actuel se sont déposées au cours de plusieurs phases de sédimentation selon AUDIBERT (1970):

-Inchirien 1:

Il correspond à la plus longue phase de sédimentation avec des dépôts sableux et argileux dans l'ensemble de l'aire géographique du Delta. A cette époque, le Delta était un golfe qui se prolongeait loin au Nord (Mauritanie).

-Inchirien 2 (40 000 B.P.):

Le niveau de la mer remonte légèrement : les dépôts sont argileux à l'Est du Delta et gréseux dans sa partie Ouest ; une regression suivra avec des mouvements tectoniques du substratum qui détourneront le fleuve Sénégal de son cours originel pour emprunter une aire qui constituera le delta actuel.

-Ogolien (30 000 B.P.):

Le climat est devenu sec avec dominance de vents qui édifièrent les cordons dunaires qui encadrent aujourd'hui le Delta au Nord et au Sud-Est.

-Nouakchottien (5 000 B.P.):

Le climat est devenu humide. On désigne par Nouakchottien, l'épisode transgressif marqué par le dépôt de sable blanc. Le fossile caractéristique est ANADARA Senilis. Ce dépôt se rencontre le long de la côte mauritanienne depuis Nouadhibou, sur le long du fleuve Sénégal jusqu'à Dagana ainsi que dans les lacs Rkiz et Tanma (ELOUARD, 1968).

-Post-Nouakchottien/Actuel:

Une nouvelle regression marine et une invasion de la mangrove caractérisent le début de cette dernière phase.

Par le jeu des crues, des marées et des lois propres à ce milieu bien particulier qu'est la végétation de mangrove, le fleuve se divise en plusieurs bras (défluents de Gorom, de Kassak, de Djeuss..) qui remanient profondément les sédiments.

La mer se retire laissant ainsi les cordons littoraux ; la mangrove disparaît, mais des trâces subsistent encore près de Saint-Louis et dans le lit du Bas Ferlo.

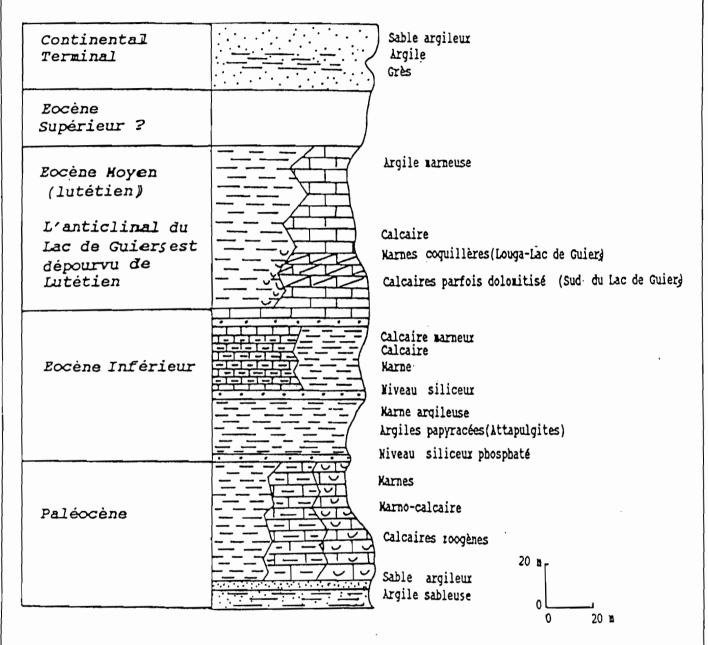


fig 16- Echelle stratigraphique (D'après C. MONCIARDINI, 1965).

2-3.2 CARACTERES LITHOLOGIQUES

La géologie détaillée de nos secteurs d'étude est fournie par les coupes lithologiques de divers ouvrages hydrauliques, notamment les piézomètres réalisés par AUDIBERT (1970) et ceux réalisés dans le cadre du projet OMVS (fig. 17) ainsi que quelques forages d'eau (Ferlo) et des carottages de surface (dans le lit du Ferlo). La figure 18 donne un aperçu sur la géologie de la Basse vallée du Sénégal.

2-3.2-1 Secteur Nord-Guiers

Il s'étend du barrage de la Tahouey à Richard-Toll jusqu'à la confluence de la Tahouey avec le Lac de Guiers. On peut subdiviser les formations en deux ensembles lithologiques à partir des logs lithologiques établis par l'OMVS:

-Les alluvions quaternaires

Les premiers horizons comprennent un ensemble composite de vases, sables argileux ou limoneux, argiles sableuses ou limoneuses, ce qui vaut l'appellation de "cuvette argileuse" à ce secteur. Ces assises superficielles dont l'épaisseur varie entre 1 et 4 mètres comprennent également des gravillons fins au Nord du secteur. Au droit du lac de Guiers, les coupes lithologiques (fig. 19 et 20) montrent un horizon circonscrit géographiquement d'âge Actuel à Post-Nouakchottien qui correspondrait à des silts.

Ce premier horizon surmonte les couches de sables fins et silt argileux (>17% argile) du Nouakchottien, du Post-Nouakchottien et de l'Inchirien (MICHEL, 1985). Ces horizons d'épaisseur variable ne sont pas continus et sont présentes surtout au Sud du secteur (GA192: 16 m) et au Nord du secteur (GA158: 1 m): variation latérale de faciès.

-Le substratum des couches alluviales

Il comprend les formations sableuses du Continental Terminal (C.T.), les Calcaires et calcaires sableux de l'Eocène-Paléocène.

Le Continental Terminal est constitué de sables fins à moyen (12 mètres à GA264). Ces formations sableuses du Continental Terminal sont plus ou moins latérititiques notamment à l'Est du Lac de Guiers (AUDIBERT, 1970).

L'Eocène et le Paléocène comprennent les couches de calcaires sableux et limoneux marins de l'Eocène (GA192) qui surincombent les calcaires paléocènes. Ces niveaux sont plus épais au Nord (28 mètres à GA152) qu'au Sud où ils présentent par endroits, des horizons intercalaires d'argiles, de limons et de graviers montrant ainsi le caractère marin des sédiments dans cette partie du secteur Nord-Guiers.

La tectonique est à l'origine du soulèvement du toit de l'Eocène-Paléocène qui est subaffleurant au Nord de notre secteur (fig. 20). De plus cette tectonique affecte les séries supérieures et récentes à actuelles ce qui présume son rejeu jusqu'à une époque récente (TRENOUS et al, 1970).

Au total, l'épaisseur des alluvions est plus ou moins importante du Lac de Guiers vers Richard-Toll, en fonction de l'effet de la tectonique cassante ayant affecté le substratum et les séries surrincombantes. Ainsi, le toit du substratum est à 20 mètres environ de la surface du sol au Sud de la Tahouey, contre 10 mètres en moyenne au Nord de la Tahouey (A1.1).

2-3.2-2 Secteur du méandre de Dagana

La forme curviligne de méandre de Dagana (11 kilomètres environ de diamètre) serait liée à la tectonique régionale (réseau de linéaments qui se superposent au lit du Fleuve Sénégal). Les alluvions quaternaires se sont déposées dans le Ouallo (érosion dans la partie concave et depôts de la charge solide sur la bordure convexe du méandre). Les dunes rouges qui s'allongent

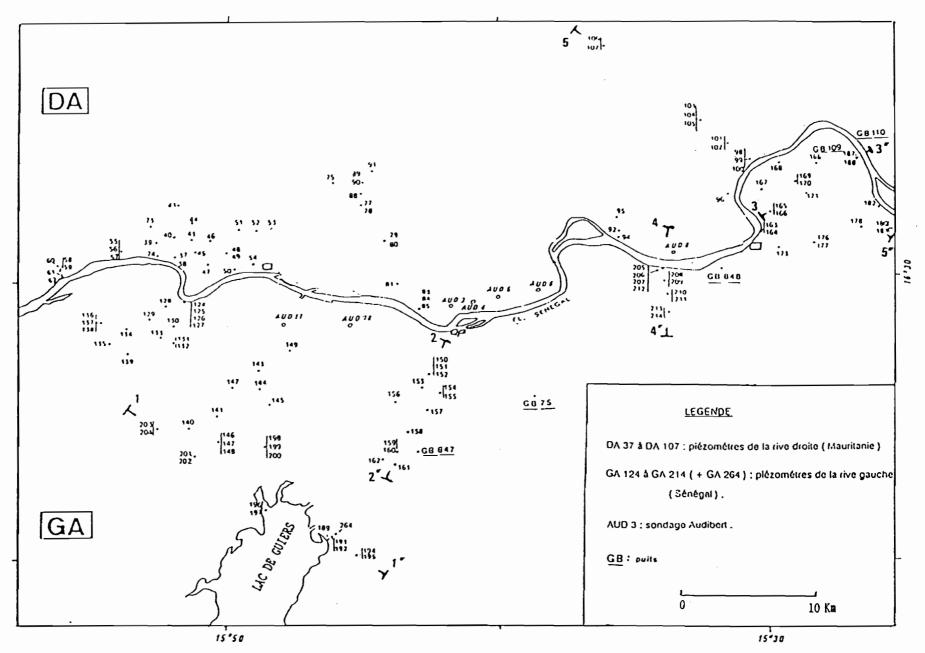
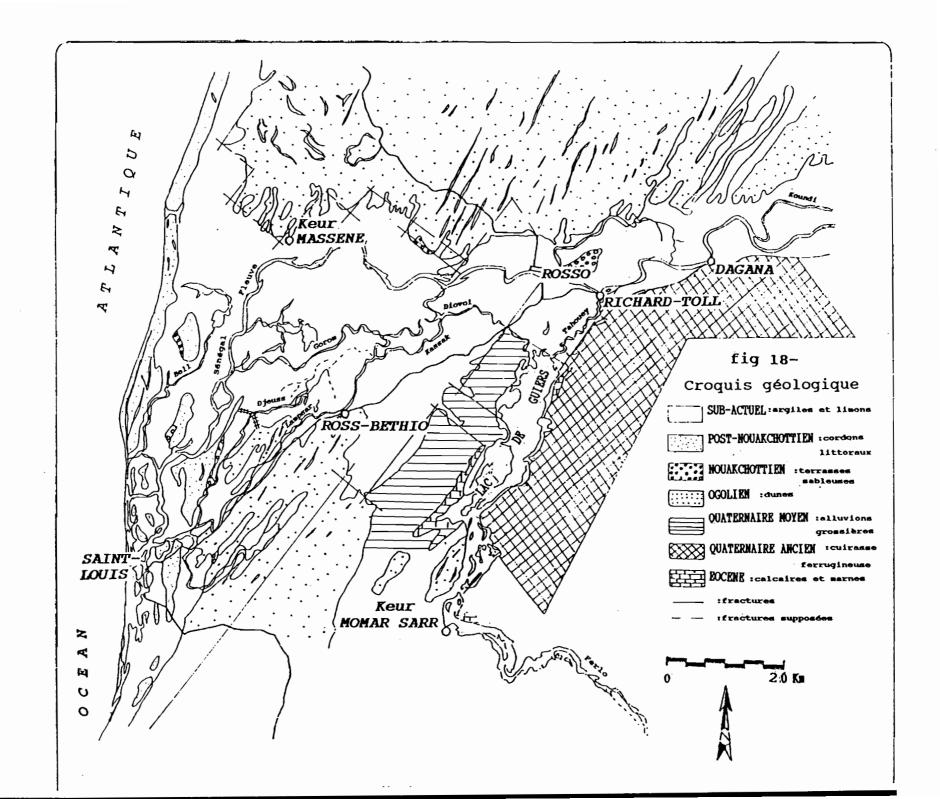
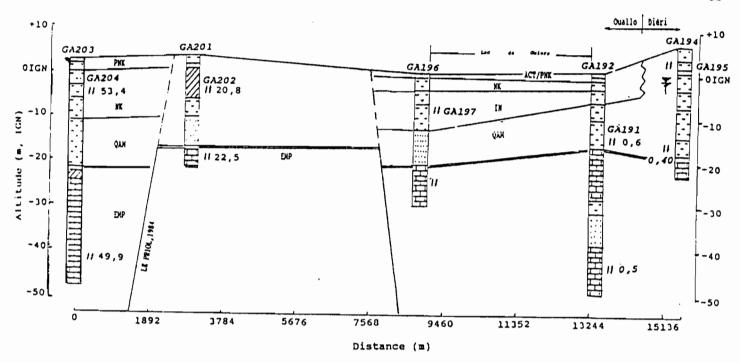


fig 17- Carte de situation des piézomètres et puits (basse vallée du Sénégal)





[Coupe lithologique d'après O.M.V.S. modifié]

fig 19- Coupe géologique de piézomètres 1-1'(secteur Nord-Guiers)

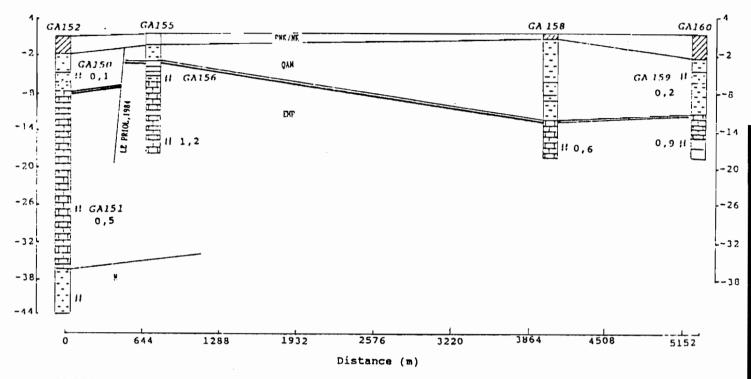
LEGENDE :

OG : Ogolien (sédiment Quaternaire) ACT : Actuel PNK : post Nouskchottien (sédiment Quaternaire) NK : Nouskchottien (sédiment Quaternaire) IN : Inchirien (sédiment Quaternaire) Q : Quaternaire indifférencié QAM : Queternaire ancien et moyen EMP : Eocène à faciès marin, Paléocène (sédiment Tertiaire)

M : Maastrichtien (sédiment du Secondaire)

: Position de la crépina + numéro du piézomètre si plusieurs piézomètres

: srgile plastique ; silt == : sable fin :: ; sable grossier : ; gravier :: calcaira marneux : niveau statique à la fin 1991 (cf Annexe I) 0,6 : salinité en g/l de MaCl : inférieure des alluvions quaternaires



LEGENDE :

OG : Ogolien (sédiment Quaternaire) ACT : Actuel PMK : post Nouakchottien (sédiment Quaternaire) MK : Nouakchottien (sédiment Quaternaire) IN : Inchirien (sédiment Quaternaire) Q : Quaternaire indifférencié QAK : Quaternaire ancien et moyen EMP : Eocàne à facièm marin, Paléocàne (sédiment Terrisire)

N : Nasstrichtien (sédiment du Secondaire)

// : Position de le crépine - numero du piézomètre si plusieurs piézomètres

c,6 : selinité en g/l de MaCl mome limite inférieure des slluvions queternaires (Coupe lithologique d'epres O.M.V.S.)

fig 20- Coupe géologique de piézomètres 2-2'(secteur Nord-Guiers): surrection du toit de l'Eocène-Paléocène vers le Nord-Es

suivant une direction NE-SO limitent latéralement les alluvions au Sud du secteur. Ces dunes se seraient déposées pendant la dernière grande période aride du Quaternaire (Ogolien) - MICHEL, 1973.

-les formations alluvionnaires :

Elles affleurent à l'intérieur du méandre (rive gauche du fleuve Sénégal). La géomorphologie montre deux unités distinctes (fig. 5):

.les dépôts post-nouakchottiens (lévée fluvio-deltaïque)

la cuvette argileuse formée de dépôts actuels ; cette cuvette correspond à une dépression qui a été inondée par les crues annuelles du Sénégal depuis plusieurs millénaires. Les eaux s'y sont décantées régulièrement (MICHEL, 1985). La lithologie comprend de haut en bas :

une couche argileuse qui tapisse le fond de la cuvette,

un niveau silteux ou argilo-sableux Post-nouakchottien (2 à 3 mètres),

un niveau de sables fins à grossiers du Nouakchottien avec des couches intercalaires argileuses (fig. 21).

Le tableau à l'annexe I (A1.1) précise l'épaisseur des alluvions au Sud du secteur. Les piézomètres à l'intérieur du méandre de Dagana n'ont pas atteint le mur des alluvions qui sont de très grande puissance dans cette zone.

-les formations du substrutum :

La série se poursuit par :

les sables du Continental terminal;

les calcaires et argiles du Paléocène sont absents des séries de l'intérieur du méandre et ne sont observées qu'en dehors de cette zone (GA181, GA212, DA103). L'épaisseur de l'ensemble calcaire est faible à cause du soulèvement des couches lié aux failles suivi d'une érosion des calcaires, avec donc une diminution de la puissance de ces séries éocènes et paléocènes;

les sables moyens à grossiers du Maastrichtien sont subaffleurants au Sud de Keur Mour (30 mètres au GA212, 11 mètres au GA213, 6 mètres au GA210, fig. 22).

2-3.2-3 Secteur du Bas-Ferlo

La géologie profonde de ce secteur nous est revélée par les forages avoisinants de Keur Momar Sarr et de Gouye Mbeuth. Ainsi, nous distinguons de haut en bas :

-les formations quaternaires (sables latéritiques).

-les formations paléocènes et éocènes (argiles, marnes, calcaires gréseux ou siliceux).

Les formations superficielles du Quaternaire à l'Actuel du Bas-Ferlo présentent la lithostratigraphie suivante (SAOS et al, 1986; COGELS, 1982):

0,00 à 1,5 : vase molle et fluante,

1,5 à 3,60 : sable argileux,

3.60 à 12.00m : sable fin et moyen,

substratum calcaire argileux du Lutétien;



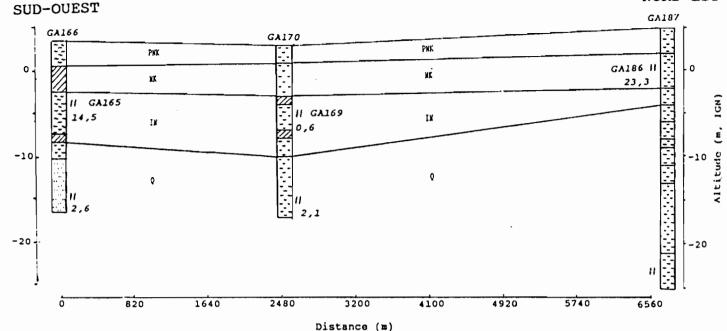


fig 21- - Coupe géologique de piézomètres 3-3'(secteur du méandre de Dagana-Ouallo) : aquifère inchirien captif (GA165) avec des fortes salinisations dans les couches nouakchottiennes (GA186)

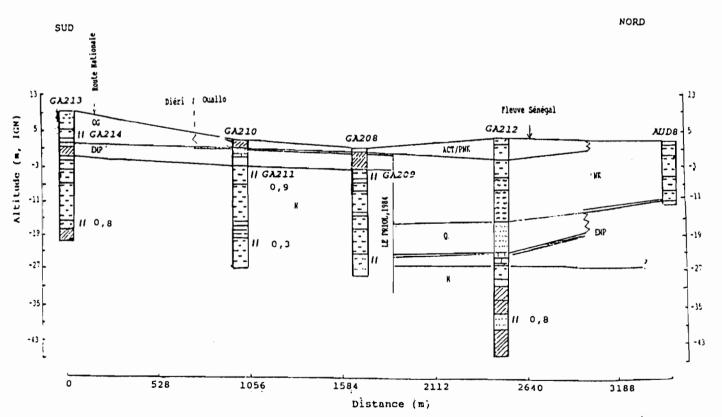
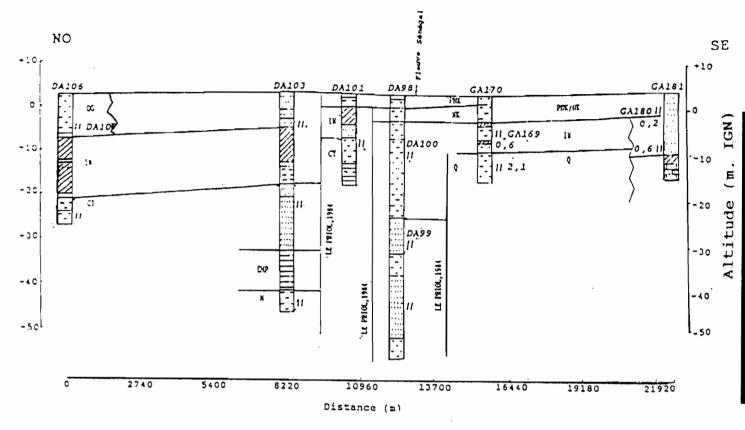


fig 22-- Coupe géologique de piézomètres 4-4'(secteur du méandre de Dagana-Keur Mour) : Maastrichtien sub-affleurant avec des faibles salinisations.



LEGENDE :

OG : Ogolien (sédiment Queternaire) ACT : Actuel PNK : poet Nouskchottien (sédiment Queternaire) NK : Nouskchottien (sédiment Queternaire) IN : Inchirien (sédiment Queternaire) Q : Queternaire indifférencié QAK : Queternaire ancien et noyen EMP : Eocène à facies marin, Paléocene (sédiment Tertimine)

H : Masstrichtien (eédiment du Secondairs)

// : Position de la crépine - numéro du piézomètre si plusieurs piézomètres



fig 23- Coupe géologique de piézomètres 5-5'(secteur de Dagana) : effet de la tectonique à failles verticales décrochantes dans l'épaississement des formations alluviales.

Un carrotage réalisé par l'O.R.S.T.O.M. (au niveau de la digue de Keur Momar Sarr - A1.2) indique la présence de cristaux de sels et de la matière organique dans les premiers horizons.

Le substratum des alluvions affleure sur les berges septentrionales du Haut-Ferlo et son toit s'approfondirait plus à l'Est (12,5 m) de la digue-barrage de Keur Momar Sarr dans l'axe du lit du Ferlo d'après les sondages électriques réalisés par TOGUYENI (1986).

CONCLUSION:

Les secteurs concernés par cette étude se situent dans des dépressions tapissées par un horizon argileux (cuvettes argileuses) d'épaisseur variable (1 à 4 m). Dans le Bas-Ferlo, les argiles sont très salées allant jusqu'à la cristallisation de sel en saison sèche. La série se poursuit par :

des couches sableuses, silteuses, plus ou moins argileuses du Tchadien, du Nouakchottien et de l'Inchirien; leur épaisseur varie de 2 à 20 mètres selon les endroits.

Ces alluvions sont limitées latéralement dans le Diéri (au Sud de Dagana et dans le Bas-Ferlo) par des sables dunaires ogoliens.

La puissance des alluvions varie selon les zones et son importance semble être lié à la proximité de failles verticales décrochantes (cas de l'intérieur du méandre de Dagana où les alluvions sont très épais et dont la profondeur n'est pas connue-fig. 23).

Le substratum sur lequel repose l'ensemble des alluvions comprend des sables du Quaternaire ancien (Quaternaire Ancien et moyen, Continental Terminal), et des calcaires ou marnes variés.

CHAP.3 - HYDROGEOLOGIE

3-1 LES PRINCIPAUX AQUIFERES DU BASSIN SEDIMENTAIRE SENEGALAIS

On distingue deux types de nappes d'eaux souterraines dans le bassin sédimentaire sénégalais :

- -la nappe "profonde" ou nappe maastrichtienne occupant l'ensemble du territoire;
- -les nappes "superficielles" ou nappes phréatiques.

Ces deux types de nappes se repartissent dans six ensembles aquifères principaux :

- a le Maastrichtien sablo-argileux;
- b le Paléocène calcaire reconnu essentiellement dans les régions de Mbour et du Cap-Vert (Sébikotane et Pout),
 - c l'Eocène marno-calcaire (Lutétien), bien connu entre Louga et Diourbel;
- d l'Oligocène et le Miocène constitués des calcaires gréseux ou argiles sableuses de Casamance ;
- e les sables du Continental Terminal couvrant la majeure partie du bassin sénégalais, mais dont les caractéristiques sont très variables;
- f les sables quaternaires essentiellement localisés dans la presqu'île du Cap-Vert et le long du littoral (entre Kayar et Saint-Louis). Dans la région du delta se trouvent les nappes alluviales dans les aquifères vaso-sableux.

C'est justement pour mieux étudier la géologie et l'hydrogéologie de ces aquifères alluviaux (et plus généralement les aquifères superficiels) des secteurs Guiers-Nord, de Dagana et du Ferlo, que nous avons utilisé deux techniques géophysiques (l'Audio-Magnéto-Tellurie et l'Electrique).

3-2 AOUIFERES SUPERFICIELS DANS LA VALLEE DU SENEGAL

3-2.1 GENERALITES

Nous aborderons dans ce chapitre une synthèse les données hydrogéologiques des secteurs Nord-Guiers, Dagana, Haut-Ferlo sur la base des travaux récents (DIAGANA, 1989; ISTI, 1990; DIAO, 1992) et des interprétations personnelles.

Dans la synthèse hydrogéologique du Delta effectuée par l'O.M.V.S. (ISTI, 1990), un système aquifère bi-couche a été défini : il s'agit d'un niveau Inférieur et d'un niveau Supérieur constitués de sable, de silt et argile.

Le niveau Supérieur (Nouakchottien) de 0 à 12 mètres d'épaisseur est un aquifère semi-captif d'origine marine, apparaissant au dessous d'une couche semi-perméable à argiles et/ou silts identifiée comme des sédiments récents (Post-Nouakchottien ou Actuel à sub-Actuel). Cet aquifère est limité vers le bas à la cote -2,0 mètres.

Le niveau Inférieur d'âge Inchirien (sédiment marin) entre les cotes -5 et -15 mètres (ISTI, 1990), est séparé du premier par une deuxième couche semi-perméable (argile et/ou silt) de 3 mètres d'épaisseur.

3-2.2 SECTEUR NORD-GUIERS

3-2.2-1 Caractérisation de l'aquifère

Dans le secteur Nord-Guiers, la première couche de silts et argiles (Post-Nouakchottien/sub-Actuel) est localisée au droit du Lac de Guiers avec une épaisseur de 1 à 4 mètres. Le niveau Supérieur est un aquifère à sable fin du Nouakchottien et Inchirien (fig. 21). Mais la seconde couche semi-imperméable (ISTI, 1990) n'existe pas ce qui mais en continuité les deux niveaux ci-dessus définis. De plus il n'y a pas une couche imperméable séparant les aquifères quaternaires et celles de l'Eocène Marin.

3-2.2-2 Caractérisation hydrogéologique

*Hydrodynamique

Nous sommes en présence d'une nappe semi-captive (niveau Supérieur). Selon les travaux de l'ISTI (1990), la perméabilité moyenne de l'ensemble des niveaux est de 4,4.10⁻⁴ cm/s. Les essais de pompages effectués par DIAGANA (1989) dans le piézomètre GA264 ont donné une transmissivité de l'aquifère capté (calcaires sableux et limoneux du Lutétien Inférieur - MICHEL, 1990) de 10⁻³, un coefficient de perméabilité de 6.10⁻⁵. Le tableau 1 donne les caractéristiques techniques des ouvrages avoisinants:

n piánnatre	GA264	GA189	GA191	GA192
Pf. forée (∎)	18	6	30	50
Rayon puits	4*1/2	2*1/2	2*1/2	2#1/2
Pf. crép.(Ign,m)	-10,5/-18,5	-4,3/-5,3	-16,3/-17,3	-47,1/-48,7
Lithol. aquifère	sabl. Sup.	sabl. Sup.	sabl. Sup.	calc. marn.

Tab. 1: Caractéristiques techniques des piézomètres du secteur Nord-Guiers

*Piézométrie

L'observation des coubes isopièzes de Décembre 91 suivant une direction Nord-Ouest/Sud-Est (fig. 24) indique un dôme piézométrique au droit du lac de Guiers et un écoulement latéral des eaux vers les nappes sous-jacentes (Eocène, probablement Maastrichtien du dôme de Guiers).

Par ailleurs, les mesures du niveau d'eau dans le lac effectuées par l'ORSTOM (A1.3) montrent une variation synchrone du niveau statique dans le piézomètre GA201; ce qui témoigne des liens hydrauliques verticaux descendants évidents entre le lac de Guiers et la nappe alluviale sous-jacente (Niveau Supérieur). En effet, les études menées par l'OMVS (ISTI, 1990) montrent que le flux horizontal des berges (écoulements latéraux) aux abords des cours d'eaux et canaux vers les nappes superficielles sont restreints et négligeables; les échanges sont essentiellement verticaux (recharge du Niveau Supérieur par les eaux du Lac de Guiers, par les eaux d'irrigation; pertes par évaporation). Des études isotopiques pourraient nous situer davantage sur les origines des eaux et les relations entre nappes.

*Conductivité des eaux

L'hypothèse d'un aquifère unique multi-couches est attestée par les mesures des gradients de conductivité électriques dans ces mêmes piézomètres. En effet, le tableau de mesures des conductivités dans des piézomètres en annexe (A1.4a et b) montre pour des ouvrages voisins, des valeurs très peu divergentes : 947 mS pour GA192, 942 mS pour GA191, 951 pour GA189 et 899 pour GA264.

Cependant, les mesures de gradients de conductivité effectuées par l'ORSTOM au piézomètre GA202 montre une augmentation sensible de la conductivité en fonction de la profondeur (A1.5). Il pourrait s'agir d'un aquifère différent de celui de la jonction entre la Tahouey et le Lac de Guiers.

La carte des courbes d'égales conductivités des eaux (A1.6) que nous avons établie à partir des mesures faites par l'OMVS, montre que notre secteur se situe dans une plage de valeurs comprises entre 500 et 5 000 mS/cm.

*Hydrochimie

Les études hydrochimiques du réseau de piézomètres du Delta du Fleuve Sénégal (ISTI, 1990) montrent que l'on a affaire à des eaux de mauvaise qualité avec des Solides Totaux Dissous (T.D.S.) > 10 000 mg/l.

La salinité est très variable dans le temps et dans l'espace. En effet, on observe des eaux salées (Niveau Supérieur) dans les piézomètres GA154 et GA203 (Annexe I). Sur les coupes lithologiques (fig. 19 et 20), nous constatons que la nappe des formations nouakchottiennes présente une salinité plus élevée.

Les analyses d'eaux montrent des compositions bicarbonatées sodiques (GA189, GA191, GA192, GA264) d'après les analyses d'eaux effectuées par l'ORSTOM - tab.2.

*Relations entre nappes

Des pompages d'essais ont été effectués dans le piézomètre GA264 par DIAGANA (1989). Du fait que tous les piézomètres profonds voisins aient réagit au pompage, l'hypothèse de nappes en relations hydrauliques a été retenue. La nappe captée par les piézomètres GA191, GA189 et GA264 est celle du niveau Supérieur selon la classification de l'ISTI (1990). De plus, pour des eaux provenant d'aquifères distincts sur le plan lithologique, les caractéristiques hydrochimiques concordent avec les précédents, pour un système de nappes à aquifère multicouche (calcaires marins éocènes, sables nouakchottiens et inchiriens).

fig. 24 : Dôme piézométrique dans le secteur Nord-Guiers

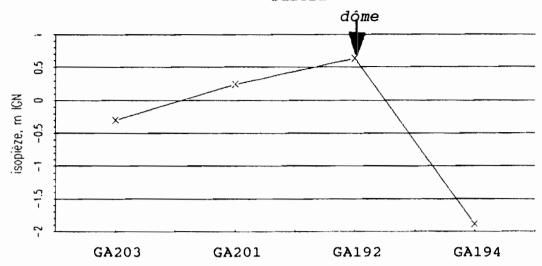


fig. 25 - Ecoulement latéral de la nappe vers le Nord-Est du secteur de Dagana (Ouallo)

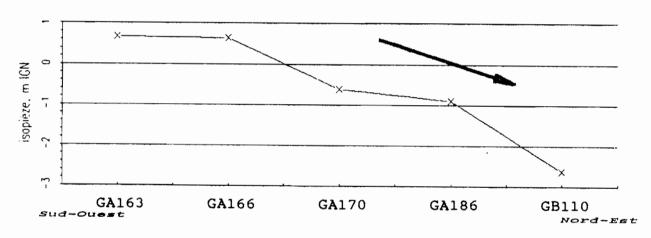
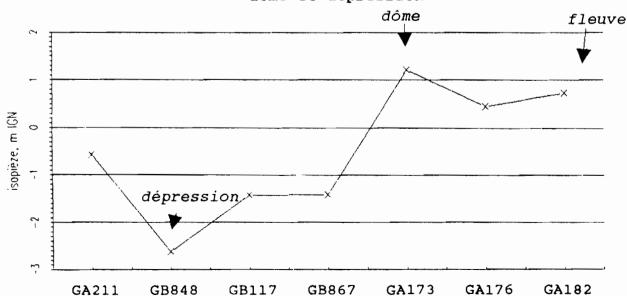


fig. 26 - Courbe piézométrique dans le secteur de Dagana : dôme et dépression



Ouvrage	λqui.	Conc.	Cl	SO4	HCO3	NO3	∞_3	Ca	Mg	Na	K	EC
		meg/l										nS
GA155	PNK	31.2	6.5	1.9	7.5	0	0	2.1	3.3	9.7	0.2	1.4
GA156	PNK	45.1	13	3.9	5	0	0	2.3	4.4	16	0.5	2.14
GA189	IN	23.2	8	0.2	4.16	0	0	3.6	2.5	4.4	0.4	1.2
GA191	EMP	2.5	3.5	1.8	6.7	0.1	0	1.5	1.5	7.8	0.5	1.09
GA192	QAH	24.2	3.8	1.9	6.9	0	0	1.8	1.8	7.4	0.6	1.13
GA264	IN	19.8	2.1	1.4	5.9	0	0.5	0.9	1.1	7.4	0.3	0.91
GB847	-	10.7	2.1	1.1	1.9	0.3	0	0.6	1.5	1.9	1,2	0.58
Ntiago	-	14.2	1.7	1	4.6	0	0	1.6	2.3	1.7	1.2	0.67
Koylel	-	47.5	19	1.8	4.3	0	0	3.5	4.6	13	1.3	2.33
GB848	-	29.5	11	2.1	2.3	0	0	2.2	1.7	8.4	1.8	1.52
GB58	-	31.7	1.1	14	1.4	0	0	12	1.3	1.1	0.71	1.28
GB65	-	32.9	9.3	1.4	5.6	0.1	0.6	2.2	0.9	12	0.84	1.62
GB850	-	43.6	18	1.9	3.1	0	0	2.8	3.2	1.4	0.7	2.28

Tab. 2 - Analyses d'eaux 90/91, DIAO (1992)

3-2.3 SECTEUR DE DAGANA

3-2.3-1 Caractérisation de l'aquifère

Le secteur de Dagana est éloigné de la zone du Delta dont l'aquifère a été bien caractérisé par l'ISTI (1990). Néanmoins, quelques renseignements sont à notre possession pour caractériser les aquifères superficiels.

Sur le plan lithologique, la nature hétérogène et entrecroisée des sédiments en font un milieu particulier sur le plan hydrogéologique. En effet, la figure 21 montre des horizons de vases, silts, argiles et sables qui sont en bancs discontinus.

On peut distinguer les niveaux aquifères suivants :

-un aquifère perché superficiel dans des silts (GA163);

-un aquifère dans les sables fins et silts (Nouakchottien et Inchirien) dont l'épaisseur varie ce qui nous rappelle le niveau Supérieur de la zone du Delta;

-ce dernier aquifère est en contact avec l'aquifère sableux du Continental Terminal soit directement, soit à travers un niveau argileux (GA170); les aquifères sous-jacents sont les calcaires de l'Eocène-Paléocène et les sables maastrichtiens (GA210, GA213).

3-2.3-2 Hydrogéologie

*Piézométrie

Les isopièzes de la nappe des sables et silts du Quaternaire Ancien montrent pour la période de décembre 91, une pente de drainance vers le Nord-Est (GA169, GA186, GB110) comme l'illustre la figure 25.

La courbe isopièze de la figure 18 met en évidence un dôme piézométrique au droit du GA173. Ce dôme serait lié à la recharge par les canaux d'irrigation proches. Par ailleurs, la sur-exploitation de la nappe pour les besoins domestiques des populations expliquerait la dépression piézométrique qui est centrée sur les puits villageois. Cette dépression proviendrait également de la diversité des nappes captées par les différents ouvrages. Toutes ces observations confirment celles de S.M. DIAO (1992) qui a étudié les variations piézométrique dans cette zone sur la période 1988-1989.

N.B.: Les pentes de l'évolution piézométrique des figures 24, 25 et 26 sont exagérées car l'échelle des longueurs n'est pas proportionnelle à l'échelle des hauteurs.

Structure des aquifères

Comme nous l'avons vu plus haut, la lithologie des aquifères est très hétérogène. Sur le plan hydrogéologique, il en résulte un phénomène de compartimentage des eaux (GAUCHER et BURDIN, 1974) dont la cause, dans ce cas présent, résiderait à deux niveaux principaux:

-l'hétérogénéité de la granularité des dépôts alluvionnaires: horizons de vases, et argiles jouant un rôle de seuils ou de cloisons hydrauliques; bancs de sables ou silts plus perméables (coefficient de perméabilité variant de 10⁻⁴ à 10⁻⁵ cm/s - ISTI, 1990-) où la circulation des eaux est plus rapide (fig. 21);

-l'infiltration des eaux douces à partir du fleuve Sénégal qui constitue ainsi un front d'alimentation. Les eaux douces infiltrées refoulent les autres eaux de part et d'autre et ont tendance à maintenir leur individualité.

Si pour la première hypothèse aucun doute ne peut être émis, pour la seconde, la communication entre eaux fluviatiles et eaux des nappes alluviales de notre secteur n'est pas prouvée. En effet, pour la nappe des sables du Quaternaire Ancien, le lien entre les deux types d'eaux ne serait que local et circoncrit à quelques mètres du lit du fleuve (DIAO, 1992).

Les nappes alluviales sont limitées au Sud de la ville de Dagana par la topographie du toit des couches éocènes et paléocènes. La tectonique actuelle à subactuelle qui a affecté l'ensemble du bassin sédimentaire (LE PRIOL, 1985) est à l'origine de la surrection suivie de l'érosion des premiers épisodes sédimentaires d'argiles, de marnes et de calcaires (dimunition consécutive de la puissance de ces séries au dessus des sables maastrichtiens subaffleurants) du secteur de Dagana (fig. 22). Cette topographie du substratum des alluvions constitue une troisième cause du compartimentage des eaux phréatiques (biseautage des couches aquifères quaternaire).

*relations entre aquifères

Bien que cet aspect de l'hydrogéologie n'est pas l'objet de notre étude, quelques faits d'observations nous inspirent les reflexions suivantes.

Nous sommes en présence d'un système d'aquifères alluviaux multiples (silts, sables fins, sables grossiers).

Les couches argileuses lenticulaires n'étant pas continues, celles-ci n'empêchent pas les flux horizontaux entre les nappes du Nouakchottien et de l'Inchirien.

Ces nappes seraient en liaison avec la nappe du Quaternaire Ancien.

Les études piézométriques effectuées dans la moyenne vallée par ILLY (1973) montrent une alimentation de la nappe maastrichtienne à partir de la vallée probablement à travers le Paléocène. Ainsi, les dosages au ¹⁴C montrent que les eaux sont récentes et les eaux alluviales et profondes (Maastrichtien) ont une même origine. En outre, les coupes lithologiques que nous avons effectuées montrent l'effet de la tectonique qui met à l'affleurement l'aquifère profond (Maastrichtien) et met en contact hydraulique les alluvions quaternaires et les sables maastrichtiens.

*Hydrochimie

Nous n'avons que les analyses chimiques des nappes maastrichtiennes du Sud-Ouest de Dagana (tab. 2) qui montrent des eaux chlorurées sodiques. Cette qualité chimique distingue bien ces eaux de celles du secteur précédent; la lithologie de l'aquifère (couches nouakchottiennes) et les échanges avec les autres eaux (Fleuve/nappes sous-jacentes) en sont le reflet.

La salinité des eaux de la nappe nouakchottienne est élevée (23,3 g/l de NaCl au GA186) par rapport aux salinités plus faibles des nappes de l'Inchirien (14,5 g/l de NaCl au GA165), du Quaternaire Ancien (2,6 g/l de NaCl au GA166) et du Maastrichtien (0,3 à 0,9 g/l de NaCl respectivement au GA210 et au GA211) - fig. 23.

Par ailleurs, les mesures de conductivités des eaux (en hydrogéologie, on utilise le terme de conductivité des eaux, c'est en fait l'inverse de la résistivité) ont donné les résultats suivants :

- Pour les nappes alluviales, le résidu sec varie entre 70 et 300 mg/l et les conductivités de l'eau mesurées varient de 100 à 500 mho/cm avec des maxima de 2400. Dans les zones en charge, la conductivité est très élevée. La mise en évidence de fines pellicules d'eau douce dans cet aquifère est difficile.

Dans les niveaux profonds, la contamination par les eaux salées de la nappe maastrichtienne fait augmenter les valeurs des conductivités.

- Pour les nappes perchées, la minéralisation est faible, d'où une faible conductivité.

De façon générale, dans ce secteur, la salinité des eaux est d'origine marine primaire (transgressions marines du Nouakchottien et du Maastrichtien) ou secondaire (contamination du salant postérieure à la lithification des couches aquifères par infiltration d'eaux fluviales polluées, suite à la remontée de la mer dans le fleuve). Dans les aquifères captifs, la salinité est élevée (14,5 g/l au GA165).

3-2.4 SECTEUR DE LA CUVETTE DE KEUR MOMAR SARR (BAS-FERLO)

3-2.4-1 Les aquifères

Dans le Haut-Ferlo, on peut distinguer :

-un niveau superficiel imperméable constitué par les argiles et vasières sursalées du Nouakchottien;

-l'aquifère superficiel comprend des sables argileux du Tchadien (l'épaisseur est de 5,5m et le niveau est biseauté à l'Est du Lac de Guiers) au dessous de sables rouges ogoliens;

-un niveau de marnes (semi-perméable) érodé sur la rive septentrionale, puis l'aquifère des calcaires éocènes qui sont karstifiés sur les berges orientales du Lac de Guiers (AUDIBERT, 1965; MICHEL, 1973).

3-2.4-2 Caractérisation hydrogéologique

Les données hydrogéologiques sur les aquifères alluviaux sont peu fournies dans ce secteur.

*hydrogéochimie

Les travaux effectués par P. ILLY (1973) ont donné les résultats ci-après : pour la nappe du Ferlo, les résidus secs varient de 5 000 pour la nappe des calcaires et marno-calcaires du Paléocène et de l'Eocène, à 1 000 mg/l pour la nappe du Continental terminal.

Les sondages électriques effectués par TOGUYENI (1986) pendant la saison sèche ont indiqué une extension de la langue saumâtre localisée à l'axe du lit du Ferlo (SE To1 à SE To12, A2.1).

L'histoire géologique récente à actuelle du Ferlo et du lac de Guiers montre que la région a eu une évolution lagunaire et fluviatile (paragraphe 2-3) avec développement de mangroves. Les peuplements végétaux de cette époque nous sont revélées par les carottages dans la zone. En effet, le log de carottage près de la digue de Keur Momar Sarr (A1.2) montre des horizons de sables et vases plus ou moins riches en matière organique caractéristiques des sols de mangroves. L'environnement réducteur des zones de mangroves n'est pas favorable à la présence de sulfates en plus du NaCl qui apparaît sous forme de cristaux pendant la saison sèche. Le front d'évaporation des eaux d'inondation devenues salées au contact des formations nouakchottiennes est ainsi ramené au niveau des vases superficielles où l'infiltration est réduite.

Ces caractères géochimiques laissent présager que les eaux alluviales de ce secteur sont fortement minéralisées par l'effet du flux latéral des eaux contaminées par les vases salifères superficielles.

CONCLUSION:

Les nappes alluviales des secteurs d'études sont à aquifères multicouches mais dont les communications hydrauliques permettent de distinguer différentes zones.

Dans le secteur Nord-Guiers, la communication hydrauliques entre couches alluviales est clairement prouvée; ce qui n'est pas le cas dans le méandre de Dagana où les intercalations argileuses limitent les flux verticaux. Cependant, les flux horizontaux sont possibles à grande échelle avec l'alimentation des nappes alluviales et souterraines par les eaux douces du fleuve.

Du point de vue hydrochimique, les eaux sont bicarbonatées sodiques dans le secteur Nord-Guiers. Le Chlorure de Sodium (NaCl) constitue la charge principale dans les secteurs de Dagana et du Bas-Ferlo d'où les fortes conductivités observées dans le premier ou résumées dans le second secteur. Selon P. ILLY (1973), l'origine de la minéralisation résiderait dans la transgression marine du Nouakchottien pendant laquelle la vallée a été comblée par des dépôts lagunaires ou marins salés. L'eau primitive nouakchottienne a disparu progressivement par drainage naturel par le fleuve et par évaporation; l'eau qui l'a remplacée n'a pas encore lessivé les sels du terrain et se charge à leur contact, sauf là où les apports et le renouvellement sont suffisants.

DEUXIEME PARTIE:

APPLICATIONS DE LA GEOPHYSIQUE (ELECTRIQUE ET AUDIO-MAGNETO-TELLURIE)

CHAP. 1 - TECHNIOUES GEOPHYSIOUES APPLICABLES EN HYDROGEOLOGIE

L'étude hydrogéologique requiert non seulement l'utilisation des méthodes classiques (pluviométrie, piézométrie, lithologie, hydrodynamique...), mais également des méthodes d'investigation modernes faisant appel à la géophysique.

Ces techniques permettent l'évaluation du volume des aquifères et des réserves d'eau. Ces méthodes géophysiques se repartissent en quatre groupes principaux:

- -les méthodes électriques et électromagnétiques,
- -les méthodes gravimétriques,
- -les méthodes sismiques,
- -les méthodes magnétiques.

Notre objectif n'est pas d'exposer les aspects théoriques et techniques de ces différentes techniques, mais plutôt d'en dégager les applications en hydrogéologie. Nous nous aiderons de la bibliographie déjà fournie dans ce domaine notamment celle de J.L. ASTIER (1971).

1-1 LES METHODES ELECTRIQUES ET ELECTROMAGNETIQUES

1-1.1 LES METHODES ELECTRIQUES

Ces méthodes sont basées sur l'injection d'un courant électrique dans le sol et la mesure d'un paramètre physique caractéristique du niveau de terrain concerné (résistivité ou potentiel) : on distingue ainsi la méthode de résistivité et la méthode de potentiel.

L'aptitude du terrain à conduire le courant est déterminé. La conductivité du terrain est de deux types : la conductivité minérale (roche à minéraux métalliques) et la conductivité électrolytique, c'est-à-dire celle due au déplacement des ions dans l'eau d'imbibition de la roche.

La résistivité de terrains présentant une conductivité électrolytique est fonction inverse de la porosité totale communicante, de la conductivité de l'eau d'imbibition mais également de la répartition et de la forme des pores et fissures ainsi que de l'anisotropie de conductivité suivant la direction d'écoulement.

1-1.2 Les methodes electromagnetiques.

Plusieurs techniques électromagnétiques existent aboutissant toutes à la détermination de la résistivités apparentes des terrains.

Ce premier groupe de techniques géophysiques donne la résistivité (Ra) des formations géologiques. Ces résistivités dépendent de plusieurs facteurs qui doivent être déterminés par l'hydrogéologue lors de l'interprétation. Ce sont :

- -la lithologie,
- -les structures géologiques (failles, passages latéraux de faciès ...),
- -la présence d'eau douce, salée ou saumâtre
- **-e**tc...

Fréquences	Type d'ondes	Technique
1-5000 Hertz	audio	audio-magnéto Telurie (AMT)
12 - 30 KiloHertz	radio-guidage, liaisons maritimes	radio-magnéto- tellurie (RMT)
15 - 50 KiloHertz	télex, télécommuni- cations	
150-240 KiloHertz	radio (longues)	

Tab. 3: Différentes techniques électromagnétiques

Le rôle de l'Hydrogéologue est de correler ce paramètre physique avec les niveaux aquifères reconnus à l'aide des méthodes hydrogéologiques classiques ; pour ce faire, il utilise des diagrammes, des cartes et courbes de résistivités.

Ces deux méthodes sont applicables aussi bien en zone cristallin qu'en environnement sédimentaire. Dans de nombreux cas, l'AMT et l'Electrique sont couplés :

-étude des aquifères profonds et superficiels avec détermination de l'extension des eaux douces au Nord-Est du Brésil (PRAKISH et BISCHOFF, 1989);

-cartographie des interfaces eaux douces/eaux salées dans les plaines côtières du Yémen (VAN OVERMEEREN, 1989).

Parmi ces différentes méthodes d'investigation géophysiques, l'Electrique est de loin la plus répandue dans le monde (45 % de l'ensemble des techniques utilisées) à cause de son application facile, de ses résultats d'interprétation hydrogéologiques fiables et de son moindre coût d'utilisation.

1-2 LES METHODES GRAVIMETRIQUES

Les méthodes gravimétriques consistent en la détermination des terrains plus ou moins pesants. Une telle information peut avoir plusieurs applications en hydrogéologie. Les vallées fossiles sont plus légers que les formations encaissantes cristallines, de même que les zones de failles. La gravimétrie renseigne également sur l'allure du substratum des alluvions, sur des zones humides ou des galeries caverneuses des environnements karstiques.

1-3 Les methodes magnetiques

L'établissement de cartes magnétiques permet la mise en évidence des grandes lignes de fracturation dont l'importance comme drains hydrauliques est grande (surtout en hydrogéologie du socle).

1-4 Les methodes sismiques

En sismique réflexion, les failles sont de mise en évidence facile par l'interprétation des films de sondages sismiques.

La sismique réfraction permet la détermination de la profondeur des aquifères alluviaux si leur épaisseur est suffisante; de plus, elle donne de bons résultats sur la profondeurs du substratum des alluvions à condition que celles-ci reposent sur un terrain résistant (granite sain, gneiss, calcaires non altérés...); les karsts sont vite détectés car la porosité

s'accroît de 20 % dans ces zones, ce qui entraîne une dimunition sensible des vitesses des ondes sismiques (de 3,8 à 4,8 km/s).

Remarque:

En plus de ces quatre groupes de méthodes géophysiques, il faut y adjoindre les diagraphies (carrotages géophysiques) qui utilisent les mêmes techniques de bases dans les trous de sondages soit de façon continue pendant l'exécution du forage (diagraphies instantanées), soit à la fin du forage (diagraphies différées).

Le carrotage géophysique peut renseigner sur la limite des couches et leur nature, leur teneur en argiles, la position des aquifères et des venues d'eaux, la porosité des aquifères, la vitesse d'écoulement dans les aquifères, La vitesse de circulation des nappes, les niveaux argileux ou résistants. Des corrélations peuvent être faits entre les différentes mesures de diagraphies géophysiques.

1-5 CHOIX DE L'ELECTRIQUE ET DE L'A.M.T.

Parmi toutes ces méthodes, nous avons retenu deux d'entre elles dans le cadre de notre étude : l'Electrique et l'Audio-Magnéto-Tellurie. les raisons de ce choix s'expliquent par :

les objectifs bien définis de cette étude qui rentre dans le cadre d'un projet;

Ces objectifs limitent ainsi le choix de certaines techniques qui sont soit coûteuses (sismique, magnétisme, gravimétrie), soit inadaptées pour les résultats attendus.

La conduction électrique par les terrains est presque toujours d'origine électrolytique. A l'exclusion de quelques minerais (sulfures métalliques et graphite), elle est fonction à la fois de la porosité des matériaux constituant le sous-sol et des champs ioniques contenus dans le liquide d'imbibition. A ce titre, on perçoit l'intérêt que peuvent présenter les méthodes électriques pour distinguer, dans une formation donnée, un aquifère à eau douce d'un aquifère salé (ce dernier étant naturellement plus conducteur que le premier). De la même manière, le taux d'argile dans une formation détermine une faible résistivité (c'est-à-dire une conductivité élevée), puisque la dimension réduite des pores favorise les échanges ioniques.

Ainsi, la prospection électrique paraît tout à fait adaptée pour l'étude des aquifères superficiels de la vallée alluviale du Sénégal et du Ferlo.

Les sondages électriques verticaux de type Schlumberger sont de manipulation facile et sont adaptés pour :

- -la détermination des nappes salées.
- -la détermination des résistivité des terrains superficiels (alluvions),
- -la mise en évidence des failles verticales qui sont indiquées par les travaux antérieurs,

-une longueur de ligne AB raisonnable permettrait d'atteindre le substratum des alluvions qui n'est d'ailleurs pas très profonds (cf. 1ère partie) dans les secteurs d'étude.

Les sondages AMT donneraient des profondeurs d'investigation élevées : les failles profondes et les couches formant le substratum des alluvions seront mieux connues.

CHAP.2 - LES METHODES GEOPHYSIOUES UTILISEES

2-1 L'ELECTRIQUE

2-1.1 Principes generaux

La méthode électrique consiste à injecter dans le sol un courant électrique d'intensité I à partir d'électrodes A-B enfoncés dans le sol, et à en mesure les propriétés électriques (résistivité, potentiel).

Il existe dans la nature des corps conducteurs dans lesquels les charges électriques sont susceptibles de se déplacer; cette conductibilité peut être de nature métallique (mobilité des électrons) ou de nature électrolytique (mobilité des atomes ou molécules ionisés). A l'opposé, les corps isolants ou diélectriques ne permettent aucune mobilité.

Dans le cas d'un sondage électrique, les équipotentiels (lignes perpendiculaires aux lignes de courant) déterminent des volumes de terrains centrés sur les électrodes d'injection du courant (fig. 27). Des discontinuités de résistivités interviennent pour modifier la continuité et la sphéricité de ces surfaces équipotentielles (fig. 28).

Remarque: Lorsque les électrodes sont situées à la surface du sol comme c'est le cas de cette étude, les surfaces équipotentielles ne sont pas des sphères mais des demi-sphères, puisque l'air est un isolant.

La résistivité apparente (Ra en Ohm m) du volume de terrain limité par les surfaces équipotentielles est donnée par la formule ci-après :

$$Ra = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{AB^2}{MN}$$

 $\Delta V = V_M - V_N$ AB = longueur de la ligne

MN = distance entre électrodes de mesure de V

2-1.2 DISPOSITIF D'UN SONDAGE VERTICAL DE TYPE SCHLUMBERGER

Il comprend quatre électrodes en fer : les électrodes d'injection du courant (A et B) sont distants d'une longueur supérieure aux électrodes M et N de réception du courant et de mesure de la différence de potentiel $(V_M - V_N)$.

Dans le cadre de notre campagne géophysique, dix sondages électriques ont été effectués en deux missions sur le terrain. La longeur de la ligne AB est de 1 à 250 mètres (MN/2 de 0,2 à 50 m) pour la première mission et de 1 à 485 mètres pour la seconde (MN/2 de 0,2 à 50 -Tab. 4 - ; la longueur AB a été ainsi augmentée pour avoir des profondeurs d'investigations (Pi) plus grandes (Pi = AB/4 à AB/12) en vue de mieux renseigner sur les formations du substratum des alluvions...

L'appareil d'enregistrement des données de terrain (I, AB, MN) -A2.2-, est le SYSCAL R1, résistivimètre adapté pour le Génie Civil et l'Hydrogéologie.

2-1.3 Traitement des données au laboratoire

On distingue trois étapes dans l'exploitation des résistivités apparentes fournies par le résistivimètre :

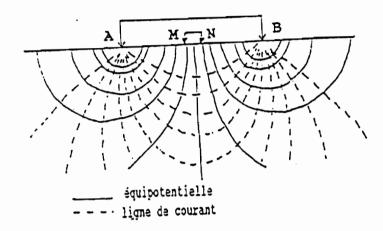


fig 27- Quadripôle Schlumberger

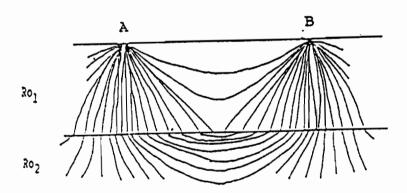


fig 28- Répartition des lignes de courant dans une formation à 2 terrains $(Ro_2>Ro_1)$

Tab. 4 : Caractéristiques géométriques des sondages géophysiques

Sondages (Secteur)	Types	AB/2 ou L(m)	MN/2 (m)	Orientation
SE F1 (Ferlo)	VES	1-250	0.2-40	Est-Ouest
SE F2 (Ferlo)	VES	1-485	0.2-50	Est-Ouest
A fl(Ferlo)	AMT	L=18		Est-Ouest/Nord-Sud
A F2 (Ferlo)	AMT	L=18	0.2-40	Est-Ouest/Nord-Sud
SE T1 (Guiers-Nord)	VES	1-250	0.2-40	N 150°B
A T1(Guiers-Nord)	AMT	L=18		N 150°E
SE T2 (Guiers-Nord)	VES	1-250	0.2-40	N 150°E
A T2 (Guiers-Nord)	AMT	L=18		N 150°E
A (Guiers-Nord)	AMT	L=16		Est-Ouest
SE T3 (Guiers-Nord)	VES	1-360	0.2-50	N150°E
SE T4 (Guiers-Nord)	VES	1-485	0.2-50	N150°E
SE D1 (Dagana)	VES	1-485	0.2-50	N45°E
SE D2 (Dagana)	VES	1-485	0.2-50	N50°E
SE D3 (Dagana)	VES	1-410	0.2-50	N90°E
SE D4 (Dagana)	VES	1-485	0.2-50	N90°E

VES : sondage électrique vertical de type Schlumberger

AMT : sondage audio-magnéto-tellurique

AB , L : longueur de la ligne pour sondage électrique ou AMT

MN : longueur de mesure du potentiel pour VES

Tab. 5 : Modèles des sondages électriques

Sondages	SE TI	SE T2	SE T3	SE T4	SE D1	SE D2	SE D3	SE D4	SE F1	SE F2
Ro1	30	12	6	700	4	4	550	80	4	8
EI	1.2	2.1	1.4	2.5	1.4	1.1	1	0.6	0.3	1
Ro2	9	40	4	18	0.5	0.8	35	12	28	30
£2	3	12	5	15	3.2	4	9	12	2	2
Ro3	45	3	6	1000	4	45	600	1500	1.2	1.2
£3	12	85	47			10			20	20
Ro4	1.5	70	2			4	•		6	6
E4	40		70			<u> </u>			90	50
Ro5	70	1	80		<u> </u>	1				90

Ro = Risistants de la couche en Ohm m $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{paissur}}$ de la couche en mètres

Eaux et Roches	Résistivités en Ohm m				
Eau de mer	0,1-1				
Eau des nappes alluviales	10-30				
Eau de sources	50-100				
Sables et graviers secs	1 000-10 000				
Sables et graviers imbibés d'eau douce	50~500				
Sables et graviers imbibés d'eau salée	0,5~5				
Argiles	2-20				
Marnes	20-100				
Calcaires	300-10 000				
Calcaires saturés en eau douce	300				
Calcaires saturés en eau de mer	8,6				
Calcaires marneux	120-400				
Grès argileux	50-300				
Grès quartzites	300-10 000				
Cinérites, tufs volcaniques	20-100				
Laves	300-10 000				
Schistes graphiteux	0,5-5				
Schistes argileux ou altérés	100-300				
Schistes sains	300-3 000				
Gneiss, granite altéré	100-1 000				
Gneiss, granite sains	1 000-10 000				

Tab. 6: Résistivités des eaux et résistivités des roches (ASTIER, 1971)

⁻ Dépouillement des données en utilisant les méthodes de superposition et réduction de HUMMEL (ASTIER, 1971) à l'aides d'abaques (A2.3a,b,c). La superposition consiste à comparer les courbes théoriques avec les courbes expérimentales qui permettent l'interprétation de terrains de trois et quatre couches. La réduction est une méthode d'équivalence qui permet de remplacer deux terrains par un terrain unique et ainsi, interpréter de proche en proche, des courbes à n terrains.

- Modélisation à l'aide de méthodes d'approximations successives ; nous avons utilisé un logiciel informatique mis au point par les chercheurs de l'O.R.S.T.O.M., permettant d'ajuster la courbe théorique à la courbe expérimentale.

Les modèles des sondages électriques obtenus figurent sur le tableau 5.

-La dernière phase est l'interprétation proprement dite. Elle permet de donner une signification, dans un domaine d'application donné du paramètre physique qu'est la résistivité. Ainsi, plusieurs techniques concourent à l'interprétation des sondages électriques (lithologie, hydrologie, hydrochimie, hydrogéologie...). A titre indicatif le tableau 6 donne les résistivités des roches.

2-2 L'AUDIO-MAGNETO-TELLURIE (A.M.T.)

2-2.1 Principes generaux

L'A.M.T. est une technique de prospection électromagnétique. La théorie de l'AMT a été mise au point par L. CAGNIARD en 1953 : Il existe dans la Terre un champ électromagnétique dont l'origine se trouve dans les orages des régions tropicales.

En AMT, on mesure d'une part le champ électromagnétique secondaire résultant de l'intéraction entre le champ naturel (champ primaire) et le champ induit grâce à un courant alternatif, et d'autre part le champ électrique associé, dans une direction perpendiculaire (champ tellurique). L'ensemble de ces mesures se fait à des fréquences variées (1 à 5 000 Hertz).

L'AMT permet de faire des sondages afin de cartographier les résistivités apparentes du sous-sol, comme on le ferait à l'aide d'un dispositif "Schlumberger". Elle offre, en plus l'avantage de faire des mesures bidimensionnelles et de localiser ainsi des failles, des anisotropies directionnelles du terrain et d'en déterminer la direction (FISCHER et al, 1983; MULLER et al, 1984; GRETILLAT et al, 1987; MULLER et KETTIGER, 1987).

2-2.2 DISPOSITIF DE MESURE D'UN SONDAGE AMT

La figure 29 montre le dispositif d'enregistrement des données d'un sondage AMT. La résistivité du terrain est donnée par la formule suivante :

Ra =
$$O,2.T.[(E/H)]^2$$
 (Ohm m, s, $\mu V/m$, nT).

T = période

E,H: grandeur du champ électrique et du champ électromagnétique

L'appareillage utilisé est de marque SAGAX, Montréal-Canada qui procède par enregistrement digital des données (longeur de ligne, fréquence...).

La profondeur de pénétration (P) de l'onde ou profondeur d'investigation est donnée par la formule suivante :

$$P = 503 . (Ra T)^{0.5}$$
 (m, Ohm m, s)

Ra = résistivité apparente T = période

Dans cette formule, Ra représente la résistivité apparente du terrain, T la période (inverse de la fréquence) de l'onde électromagnétique résultante.

Plus la fréquence d'onde est petite, plus la profondeur d'investigation est grande.

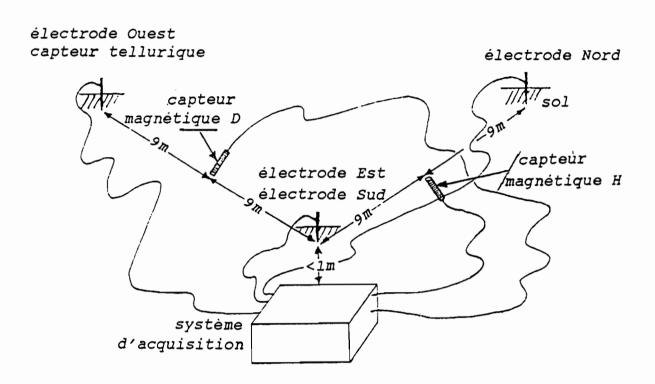


fig 29- Synoptique d'une station d'enregistrement Audio-Magnéto-Tellurique

2-2.3 INTERPRETATION

Les valeurs de résistivités mesurées sont interprétées par des diagrammes logarithmiques (sondages AMT).

CHAP. 3 - APPLICATIONS

3-1 RAPPELS DES BUTS

La connaissance hydrogéologique de la vallée du Fleuve Sénégal après la construction des deux barrages (DIAMA et MANANTALI) nécessite des approches pluridisciplinaires (géologie, hydrologie, piézométrie, hydrodynamique, hydrogéochimie, géochimie isotopique, géophysique,...).

La géophysique est la discipline qui fait l'objet de cete étude. Deux techniques ont été utilisées :

L'Electrique permettrait de définir l'importance du remplissage alluvial, l'extension des zones saumâtres, les caractéristiques communs des aquifères, les failles connues dans les secteurs d'étude.

L'Audio-Magnéto-Tellurie fournirait des informations complémentaires à l'Electrique et renseignerait mieux sur les structures profondes des alluvions (failles, le toit du substratum...)

Pour se faire, trois secteurs de la basse vallée du Sénégal ont été retenus pour l'application de ces techniques (fig. 2):

- -le secteur Nord-Guiers,
- -le secteur du Méandre de Dagana,
- -le secteur du Bas-Ferlo (Keur Momar Sarr).

3-2 Travaux geophysiques anterieurs

La vallée du fleuve Sénégal a fait l'objet de quelques travaux en Géophysique Appliquée à l'Hydrogéologie :

3-2.1 PAR LA COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE (CGG) - 1951 A 1957:

Dans le cadre de cette campagne, 158 sondages électriques dont 109 avec des longueurs de lignes (AB) allant de 4000 à 6000 mètres et 4 sondages sismiques ont été réalisés en Mauritanie et au Sénégal. Cette campagne avait pour buts d'étudier le toit du socle cristallin du Bassin sédimentaire Sénégalo-Mauritanien, d'étudier les nappes phréatiques et profondes, et de mieux corréler leurs résultats avec les sondages pétroliers dans la zone.

Ainsi, sur le plan de la géologie, ces sondages ont donné les résistivités suivantes :

Formations post Focènes:

- -Continental Terminal: 5 à 30 Ohm m.
- -formations lagunaires ou marines: 1,5 Ohm m;

Eocène:

- -Calcaires lutétiens francs: 400,
- -Grès : > 100 Ohm m,
- -Argiles, marnes: 3-30 Ohm m;

Paléocène:

-Argiles et calcaires : 100 à 200 Ohm m.

Maastrichtien argileux et sableux : > 100 Ohm m pour les eaux douces, < 2 Ohm m pour les eaux salées ;

Série conductrice infra-basaltique : < 1,5 Ohm m.

3-2.2 PAR P. ILLLY - 1972 A 1973:

Dans le cadre de l'étude hydrogéologique de la vallée du Fleuve Sénégal, 25 sondages sismiques et 302 sondages électriques de type Schlumberger (AB/2 variant de 250 à 1100 mètres) soit 10 profils électriques ont été réalisés (fig. 2). Cette campagne géophysique a eu pour objet la reconnaissance du mur des couches alluviales et la détermination de la qualité des eaux souterraines.

Ainsi, cette campagne a mis en évidence de l'eau salée dans la majeure partie des alluvions et dans le substratum en aval de N'Dioum (Ro = 0,5 à 3 Ohm m). La Géophysique a également montré que la nappe maastrichtienne communique directement avec les nappes alluviales sus-jacentes dans le secteur de Matam (jusqu'à mi-distance entre Matam et Kaédi) par l'intermédiaire des sables éocènes. Le tableau 7 donne les résistivités de différentes formations mises en évidence dans la moyenne vallée du Sénégal.

Résistivités en Ohm m	Types de terrains
3 - 10	argile
10 - 30	argile sableuse - limon argileux
30 - 80	sable argileux - calcaire argileux
80 - 200	sable calcaire
> 200	sable sec à eau très peu minéralisée - grès
> 400	substratum Primaire-micaschistes quartzites
0,5 - 30	zone à eau salée ou saumâtre

Tab. 7: Résultats de la prospection électrique (ILLY, 1973)

3-2.3 PAR O. TOGUYENI (1986)

Dans le cadre de son mémoire d'Ingénieur IST, une campagne de sondages électriques a été effectuée dans le lit asséché du Ferlo (au mois de mai 1986 - A2.4a et b). Cette campagne a permis de préciser le toit du substratum des calcaires argileux éocènes (Ro=16,5 à 50 Ohm m) en forme de cuvette avec un maximum de profondeur de 12 mètres dans l'axe du lit du fleuve, alors qu'il affleure sur la berge septentrionale du Ferlo au Nord du village de Ndame.

Les couches alluviales comprennent au dessus, les vases et argiles salifères de la transgression Nouakchottienne (0,27 à 0,65 Ohm m) du fond de la vallée; puis viennent les sables rouges ogoliens (700 Ohm m) des dunes encadrant le Delta sur sa bordure méridionale comme l'a décrit Audibert (1970), les sables argileux du Tchadien (0,82 à 4,1 Ohm m).

CHAP. 4 RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les méthodes géophysiques utilisées sont l'Audio-Magnéto-Tellurie (A.M.T) et l'Electrique de type Schlumberger. Une dizaine de sondages électriques et cinq sondages AMT ont été effectués dans 3 secteurs géographiques différents (fig. 30, 31 et 32): Nord-Guiers, Méandre de Dagana, Bas-Ferlo. Les tableaux 4 et 5 montrent les caractéristiques géométriques et les modèles des sondages électriques; les résistivités apparentes (valeurs moyennes) pour différentes fréquences pour les sondages AMT figurent sur le tableau 8a.

4-1 INTERPRETATIONS DES SONDAGES ELECTRIQUES

4-1.1 LES SONDAGES ELECTRIQUES

4-1.1-1 SECTEUR NORD-GUIERS

Quatre sondages électriques de même direction (les uns à la suite des autres depuis le Chenal jusque dans le Diéri) ont été réalisés dans ce secteur (fig. 30).

*SE T1

On distingue:

-un recouvrement secondaire résistant de 30 Ohm m dont l'épaisseur correspond exactement à celle de la digue (1,2 m);

-un niveau superficiel silteux de 9 Ohm m (3 m);

l'ensemble de sables fins du Nouakchottien et de l'Inchirien (45 Ohm m, 12 m);

-les marnes argileuses de l'Eocène marin (2 Ohm m, 40 m);

-les calcaires fracturés (70 Ohm m) constituant le substratum éocène.

*SE T2

Les mêmes couches de terrains ci-dessus définies sont rencontrées, hormis l'effet du terrassement de la digue (fig. 33). Ainsi, on distingue : -en surface, un horizon de 12 Ohm m qui correspondrait à la deuxième couche de SE T1: il

-en surface, un horizon de 12 Ohm m qui correspondrait à la deuxième couche de SE T1: il s'agirait de silts caractéristiques de l'environnement immédiat du lac de Guiers; d'ailleurs, la coupe géologique de la figure 19 montre bien la délimitation de cette couche (Actuel);

-des sables fins nouakchottiens et inchiriens de 40 Ohm m;

-des marnes argileuses (3 Ohm m, 85 mètres) pouvant être attribués à l'Eocène marin;

-la dernière couche de calcaires fissurés a la même résistivité que dans le sondage précédent.

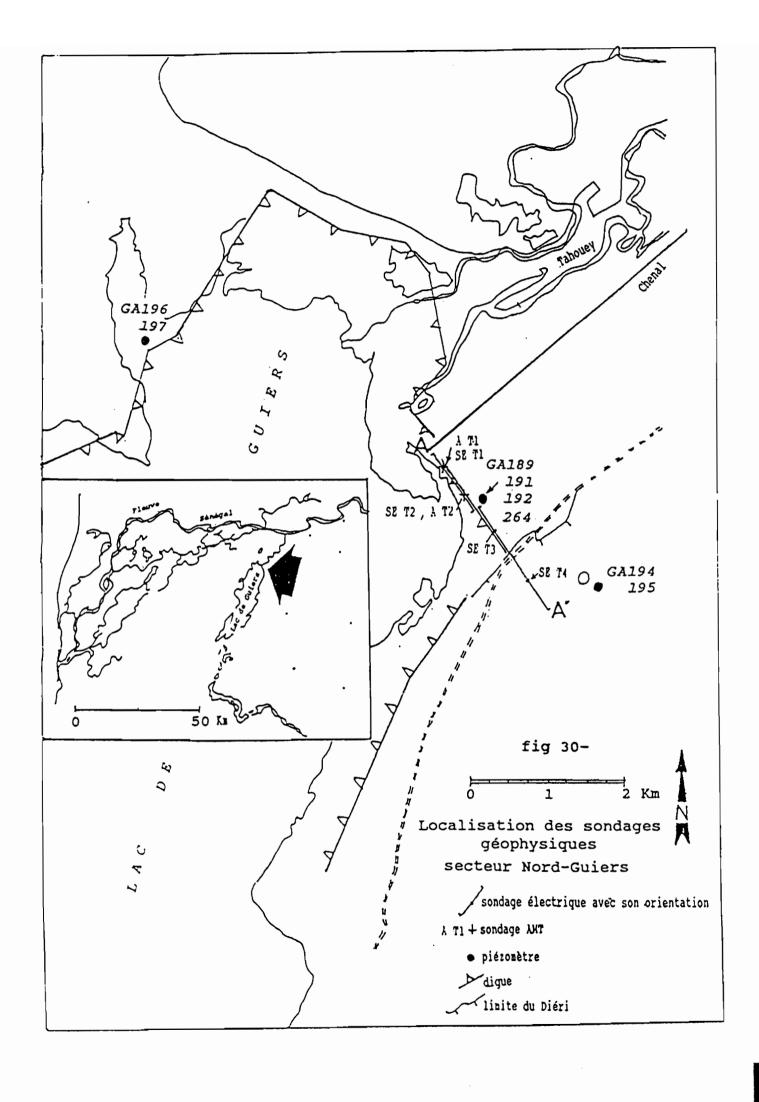
*SE T3

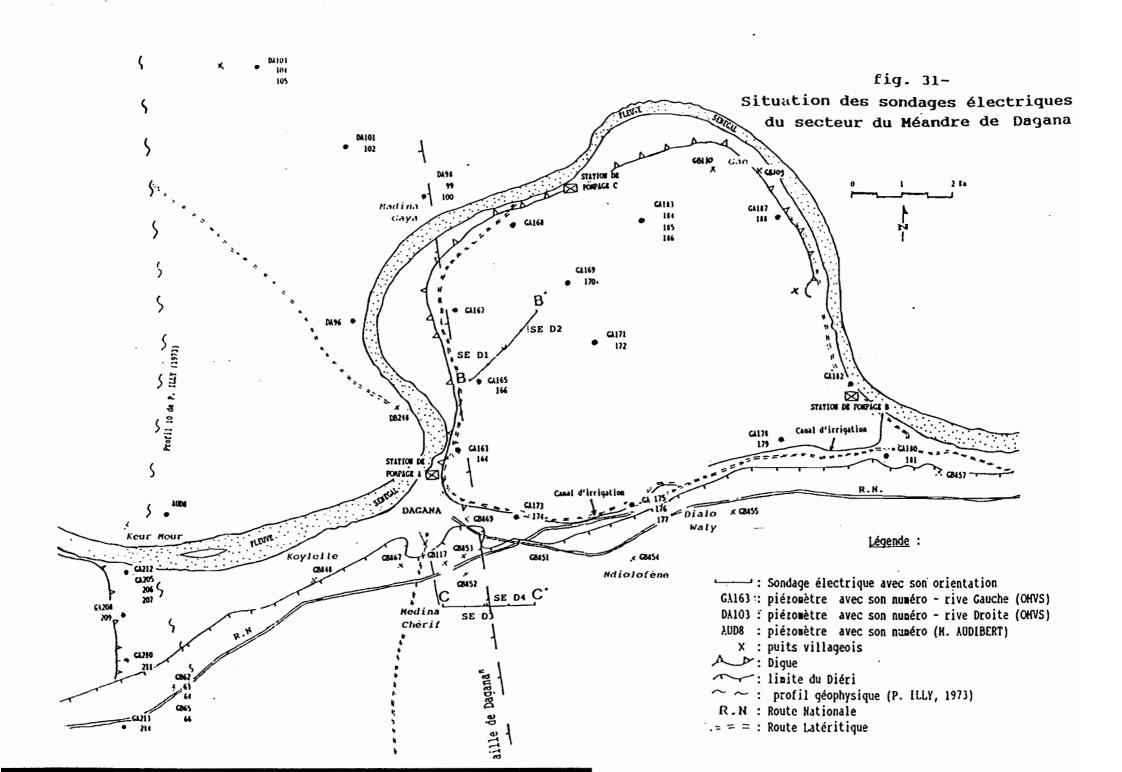
La courbe de ce sondage est ondulée sans une grande variation de résistivités (fig. 34). On distingue un ensemble de couches de faibles résistivités dans les 50 premiers mètres (Eocène marin) et une dernière couche résistante (80 Ohm m). Les couches superficielles seraient ici la continuité des marnes argileuses dont le mur se trouverait à 123 mètres de profondeur au droit du point de station; en tenant compte du principe d'équivalence, nous ne retrouvons pas les couches superficielles déduites des sondages précédents : il y a donc une lacune des séries du Quaternaire ancien et de l'Actuel (fig. 23).

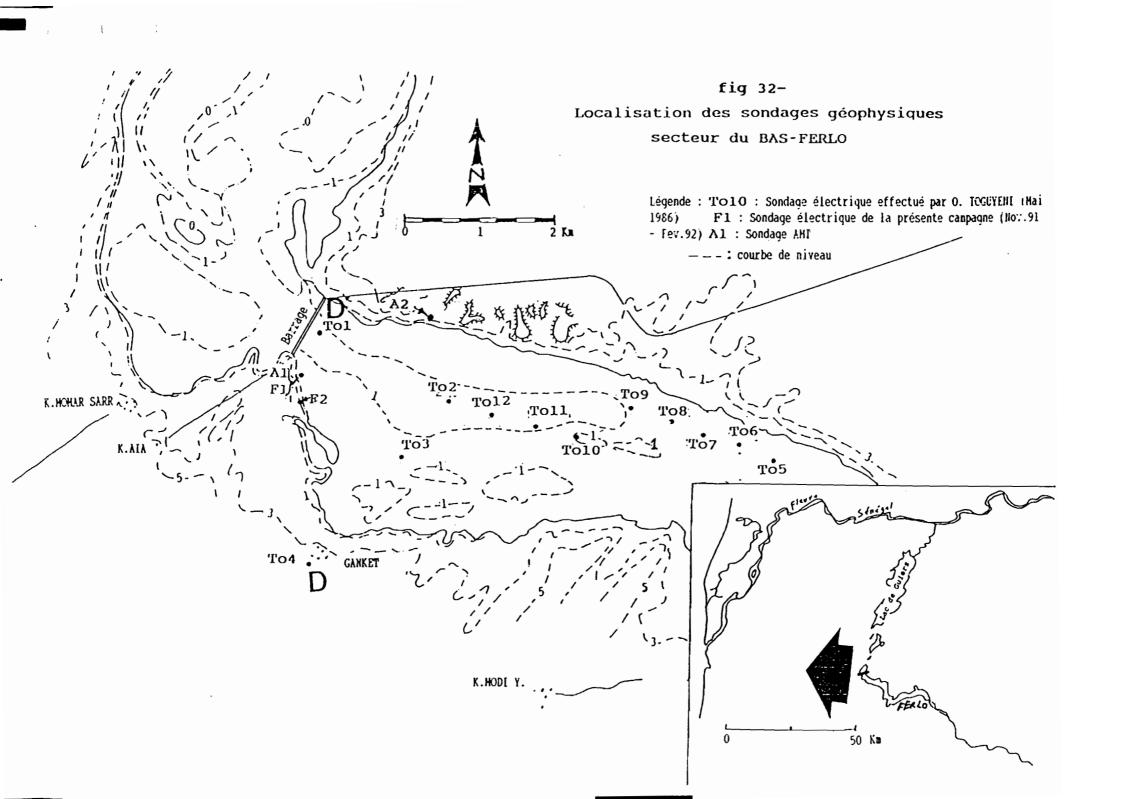
*SE T4

Le sondage se situe dans le Diéri où affleure du sable fin et sec (Continental Terminal).

La géophysique montre effectivement une première couche résistante de sables secs (700 Ohm m) avec une épaisseur de 2,5 mètres;







Tab. 8a : Résistivités en Ohm m aux différentes stations pour diverses fréquences(AMT)

Sondage	j A l	<u> </u>	A T	2		A F1	1	A F2	A Richard Toll		
Orientation	EO :	NS	EO	NS	EO	i NS	EO	l NS	EO	NS	
Fréq.(Hz)	,						1				
1.2									!		
2									4.40E+02		
3.3											
5 -											
8									2.50E+03		
10							961.00	1530.00	2.20E+03		
12.5									1.50E+03		
20	2.80E+04						120.50	134.50	6.50E+02		
33.3	2.00E+04		2.20E+03		7.20E+03	8.50E+03	5.80	53.00	4.40E+03		
55	2.00E+04		4.00E+04		4.80E+03	4.70E+03	16.20	19.00			
80	2.80E+03		3.60E+04		5.30E+03	3.00E+03	9.90	24.20			
100	9.70E+03		2.40E+04		6.00E+03	2.00E+04	6.20	28.30	3.00E+03		
125	1.30E+04		2.20E+04		7.00E+03	1.60E+04	8.90	14.60	5.60E+03		
200	1.30E+04		4.80E+04		7.30E+03	1.80E+04	7.60	20.50	2.10E+03		
333	1.70E+04		4.10E+04		1.10E+04	2.10E+04	20.60	28.00	6.80E+03		
500	1.85E+04		2.90E+04		2.20E+04	6.30E+04	173.00	62.70	2.30E+03		
800	1.70E+04		2.20E+04		4.90E+04	2.50E+04	32.00	37.60	3.60E+03		
1000	1.20E+04		9.00E+04				240.00	259.00	2.10E+03		
1250	1.00E+04		1.30E+04				1500.00	665.00	6.10E+03		
2000	5.90E+04		3.20E+03				461.00	188.00	5.00E+04		
3333	3.20E ± 03		3.60E+03				136.00	181.00	2.30E+04		
5000	2.00E+03		2.20E+03				131.00		1.50E+04		

Tab. 8b: Profondeurs d'investigation (en Km) selon les fréquences d'ondes (AMT)

Sondages	A T1		ATI AT2 AI		F1	A F2		Rd Toll		
Date	20/11/1991		20/11/1991		19/11/1991		19/11/1991		21/11/199	
Orientation	EO	NS	EO	NS	EO	NS	EO	NS	EO	NS
Fréq.(Hertz)										
1.2										
2										
3.3				_						
5										_
8									8.9	
10		i					4.9	6.2	7.5	
12.5		_							5.5	
20	18.82						1.2	1.3	2.8	
33.3	12.4		4.08		7.4	8.04	0.21	0.6	5.8	
55	9.7		13.6	_	4.7	4.65	0.27	0.3		
80	2.9		10.7		4.1	3.1	0.18	0.28		
100	4.95		7.8		3.9	7.24	0.13	0.27	2.76	
125	5.13		6.7		3.8	5.7	0.13	0.17	3.4	
200	4.06	1	7.8		3.04	4.77	0.09	0.16	1.63	
333	3.6		5.6		2.9	4	0.13	0.15	2.3	
500	3.06		3.8		3.3	5.64	0.29	0.18	1.08	
800	2.32		2.6		3.9	2.8	0.1	0.11	1.07	
1000	1.7		4.8				0.25	0.26	0.73	
1250	1.4	i	1.6				0.55	0.37	1.1	
2000	0.86		0.64				0.24	0.15	2.5	
3333	0.49	I	0.52				0.1	0.12	1.3	
5000	0.32		0.33				0.08	0.09	0.87	

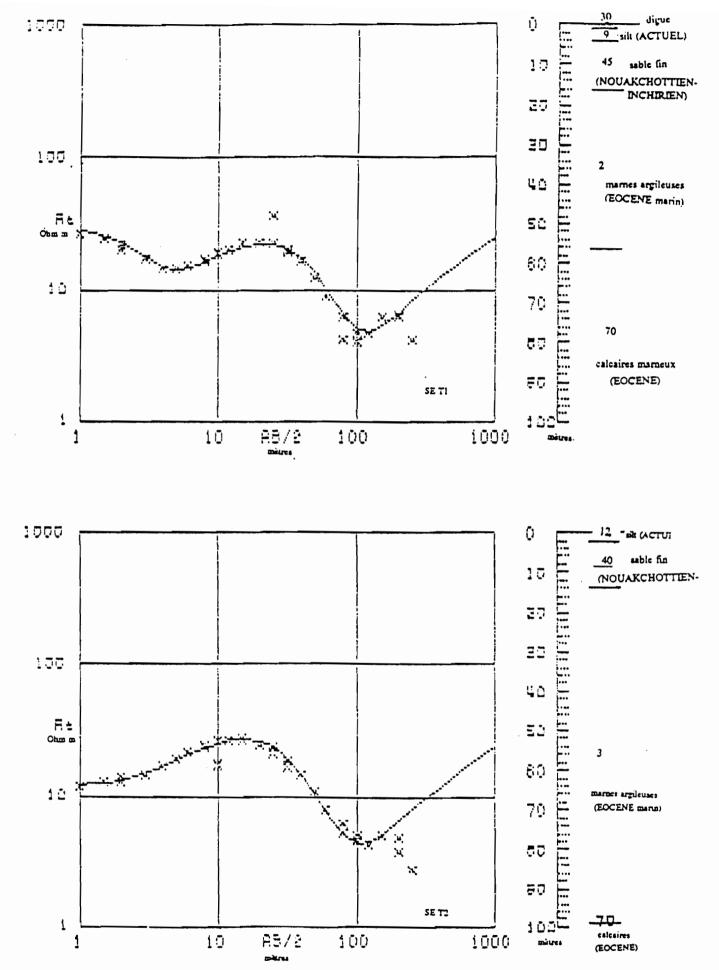


fig. 33- Courbes de sondages électriques T1 et T2 dans le secteur Nord-Guiers ; interprétation lithologique des modèles de sondages électriques

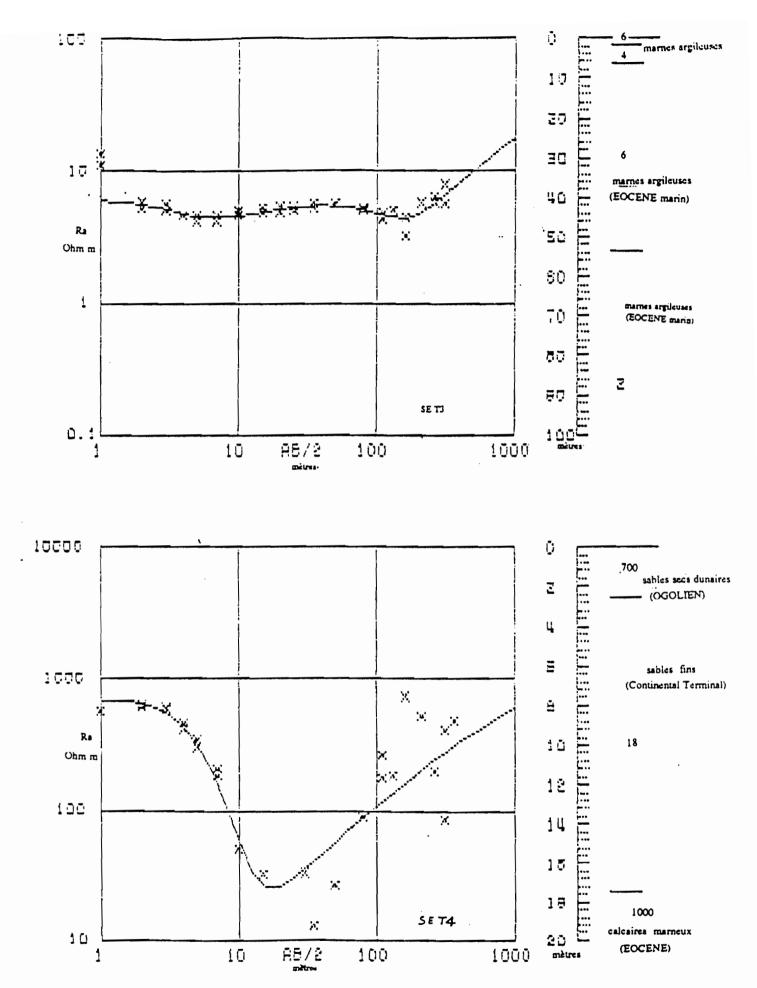


fig. 34- Courbes de sondages électriques T3 et T4 dans le secteur Nord-Guiers ; interprétation lithologique des modèles de sondages électriques

à la suite, se trouve une couche de 18 Ohm m (15 m d'épaisseur) qui correspondrait à des sables aquifères du Continental Terminal;

la dernière couche plus résistante (1000 Ohm m) représenterait le substratum formé de calcaires paléocènes dont le toit est à 18 m environ sous le sol.

Discussion:

Excepté le sondage SE T4, la corrélation entre la courbe expérimentale et la courbe modélisée est bonne. Cependant, les courbes des sondages SE T1 et SE T2 montrent une dispersion des points expérimentaux pour les grandes longueurs de lignes AB; la tendance à la décroissance de ces points laisse penser à l'effet de la pollution saline des calcaires..

la courbe du sondage SE T3 commence avec des résistivités plus basses que celles du début des courbes deux premiers sondages : la première couche de terrain en SE T3 correspond à l'avant dernière couche des sondages SE T1 et SE T2.

4-1.1-2 SECTEUR DU MEANDRE DE DAGANA

Deux sondages ont été effectués à l'intérieur du méandre (SE D1 et SE D2) et deux autres (SE D3 et SE D4) dans le Diéri à l'Est des habitations de Madina Chérif, comme l'indique la figure 18b. Les modèles de sondages suivants ont été retenus pour des lithologies correspondantes ci-après (fig. 35 et fig. 36):

*SE D1

La première couche de 4 Ohm m d'argiles et de silts argileux de la cuvette de Dagana, repose sur 3,2 m silts affectés par la langue saline -Nouakchottien- (0,5 Ohm m; 3,2 mètres) et des silts argileux (Inchirien) identiques à la première couche ci-dessus décrite, avec une résistivité de 4 Ohm m.

*SE D2

Ce sondage effectué à la suite du précédent et suivant la même direction, montre une identité entre les couches de terrains observés (tab. 5, fig.35) mais il apparaît 15 mètres d'un horizon résistant (sables lessivés : 40 Ohm m, 15 mètres) au dessus de la deuxième couche d'argiles silteuses (4 Ohm m).

*SE D3

La couche superficielle (1 m) de sables secs dunaires du Diéri a une résistivité de 600 Ohm m; le Continental Terminal sableux a une résistivité de 35 Ohm m pour une épaisseur de 9 mètres; enfin une couche de marnes calcaires (600 Ohm m) termine le sondage.

*SE D4

La couche superficielle est formée de sables dunaires (80 Ohm m; 0,6 mètre) auquel succède 12 mètres de sables du Continental terminal (12 Ohm m) qui sont imbibés d'eau douce (1 à 0,1 g/l NaCl dans les puits GB848 et GB117; nous ne retrouvons plus la partie supérieure de l'Eocène observé plus haut, mais il s'agit de calcaires massifs de résistivité estimée à 1500 Ohm m.

N.B.: Les abaques et le logiciel de modélisation utilisé ne pouvant donner une courbe théorique qui se superpose parfaitement à la dernière branche de pente supérieure à 45°, la résistivité de la dernière couche (1500 ohm m) n'est que indicative.

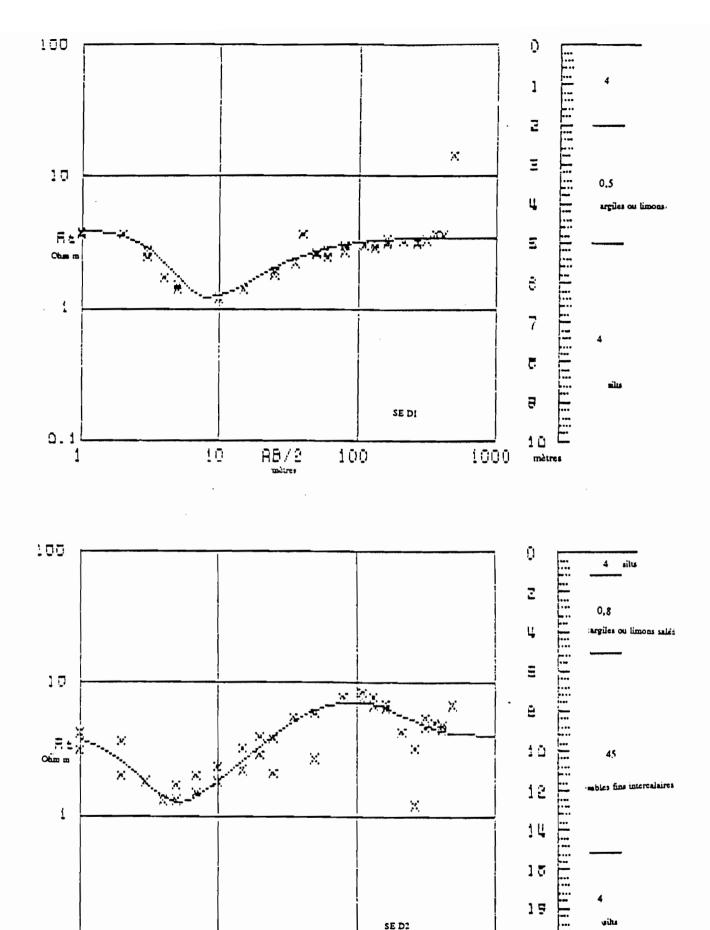


fig 35- Courbes de sondages électriques D1 et D2 dans le secteur de Dagana (Ouallo) ; interprétation lithologique des modèles de sondages électriques

100

85/2

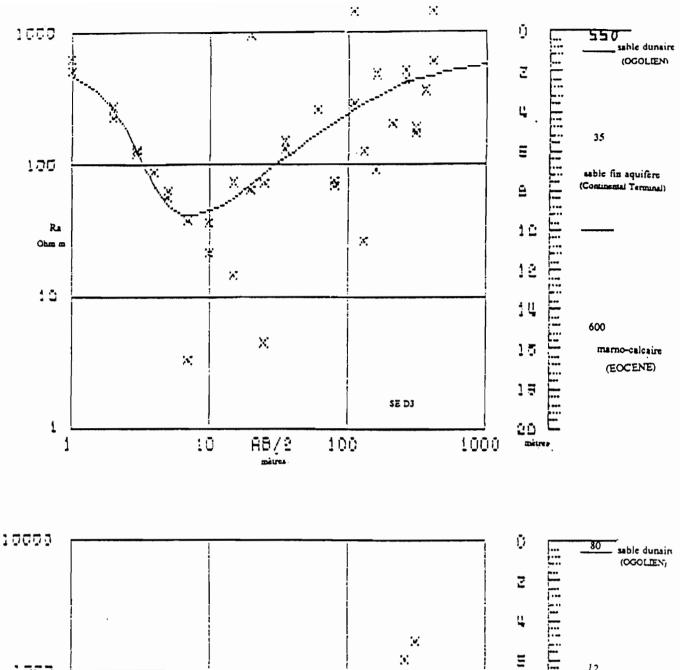
10

20

mètres

1000

0.1



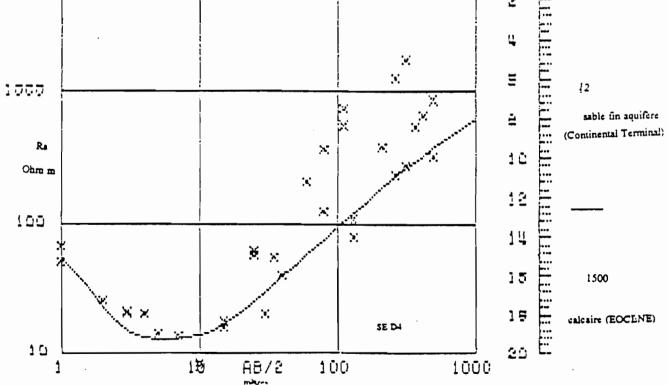
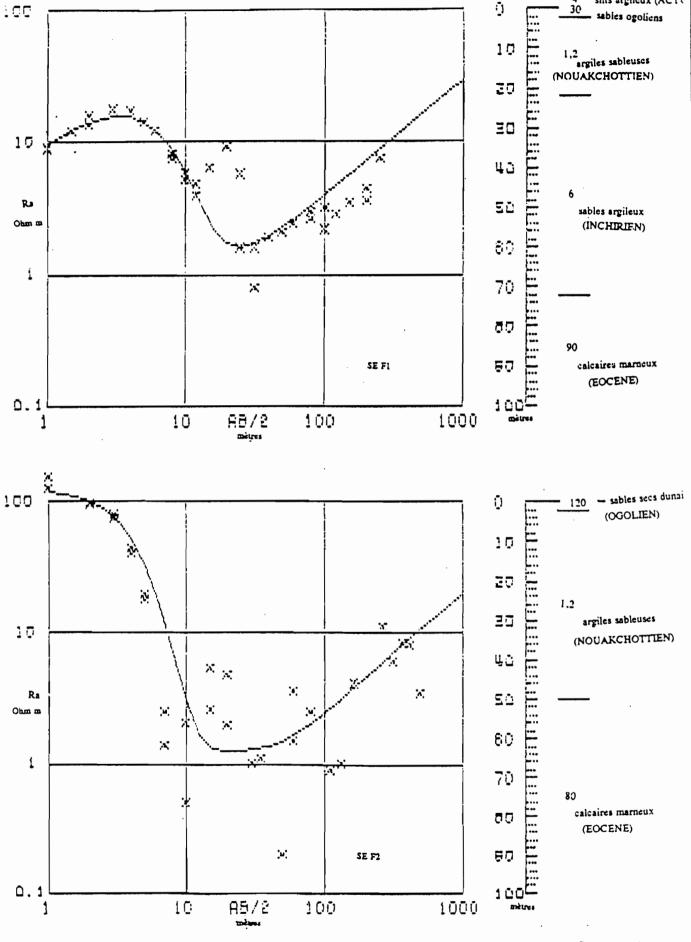


fig 36- Courbes de sondages électriques D3 et D4 dans le secteur de Dagana (Diéri) ; interprétation lithologique des modèles de sondages électriques



silts argileux (ACT)

fig 37- Courbes de sondages électriques F1 et F2 dans le secteur du Ferlo (Cuvette de Keur Momar Sarr) ; interprétation lithologique des modèles de sondages électriques



4-1.2 LES COUPES DE SONDAGES ELECTRIQUES

Dans ce paragraphe, nous nous efforcerons à lier la géophysique avec l'hydrogéologie locale, l'hydrochimie (mesure physicochimiques dans des piézomètres et les analyses d'eau); des coupes de sondages électriques nous permettrons de corréler les niveaux repères du toit du substratum des aquifères alluviaux.

4-1.2-1 SECTEUR NORD-GUIERS

La figure 30 montre une coïncidence parfaite entre la base géologique des niveaux fluvio-lacustres (Actuel, Post-Nouakchottien) et la limite de la couche de 9 à 12 Ohm m (SE T1 et SE T2).

Les marnes argileuses de l'Eocène marin (Eocène Supérieur) affleurent dans ce secteur (3 à 6 Ohm m); ce résultat confirme les connaissances déjà acquises dans la zone. En effet, des calcaires et marnes sub-affleurants ont été signalés sur la rive Est du lac de Guiers (fig. 18) par les travaux antérieurs (AUDIBERT, 1970; MICHEL, 1973).

Le toit du substratum de calcaires fracturés est répérable dans tous nos sondages géophysiques du secteur Nord-Guiers (fig. 39) avec une pente moyenne très faible (3 vers le NE) . En effet, le toit du substratum est à une profondeur de 56 mètres au SE T1, à 123 mètres au SE T3, mais ce toit est à 20 mètres en moyenne dans le Diéri (SE T4 et GA194).

Ainsi, nous mettons en évidence une faille entre les sondages T3 et T4. Cette faille subverticale de direction NNE-SSO est traversée par le sondage SE T4 suivant le chemin menant à Richard-Toll; elle figure sur l'esquisse géologique (fig. 18).

4-1.2-2 SECTEUR DU MEANDRE DE DAGANA

La figure 40 montre bien le phénomène d'hétérogénéité latérale des faciès par l'existence dans une lentille salée (0,5 à 4 Ohm m), d'un horizon plus lessivé donc plus résistant (45 Ohm m): ce sont des sables fins à eau moins salée, dont la qualité hydrodynamique serait intéressante.

Une faille dont le rejet atteint 100 mètres affecte le toit du substratum des alluvions dans le Diéri (fig. 41). Si nous nous reférons à la carte tectonique photo-interprétative (LE PRIOL, 1985), cette faille a une direction subméridienne (car elle n'est pas recoupée par la coupe des sondages SE D1 et SE D2, fig. 31) et correspondrait à la "faille de Dagana".

4-1.2-3 SECTEUR DU BAS-FERLO (CUVETTE DE KEUR MOMAR SARR)

Les anciens sondages de TOGUYENI ont montré une extension de la langue saline dans l'axe du lit asséché du Ferlo jusqu'au sondage électrique To12. Notre campagne géophysique dans la vallée morte du Ferlo a montré que la zone saline s'étend plus au Sud de la ligne (F1 et F2) ci-dessus mise en évidence.

La coupe des sondages électriques To4-F2-F1-To1 (fig. 42a et 42b) montre une couche intercalaire de sables argileux (SE F2) pouvant constituer un chenal de plus grande qualité hydrodynamique. Les horizons salifères témoignent le golfe marin dans la région lors de la transgression nouakchottienne.

Tout comme dans le méandre de Dagana, les formations alluviales sont hétérogènes en témoigne le niveau intercalaire de 6 Ohm m apparaissant dans un ensemble salé comme l'illustre la figure 42b (les échelles verticale et horizontale sont identiques).

En joignant les niveaux repères du toit des calcaires marneux donnés par les différents sondages électriques, nous mettons en évidence la vallée fossile du ferlo. Cette vallée fossile a

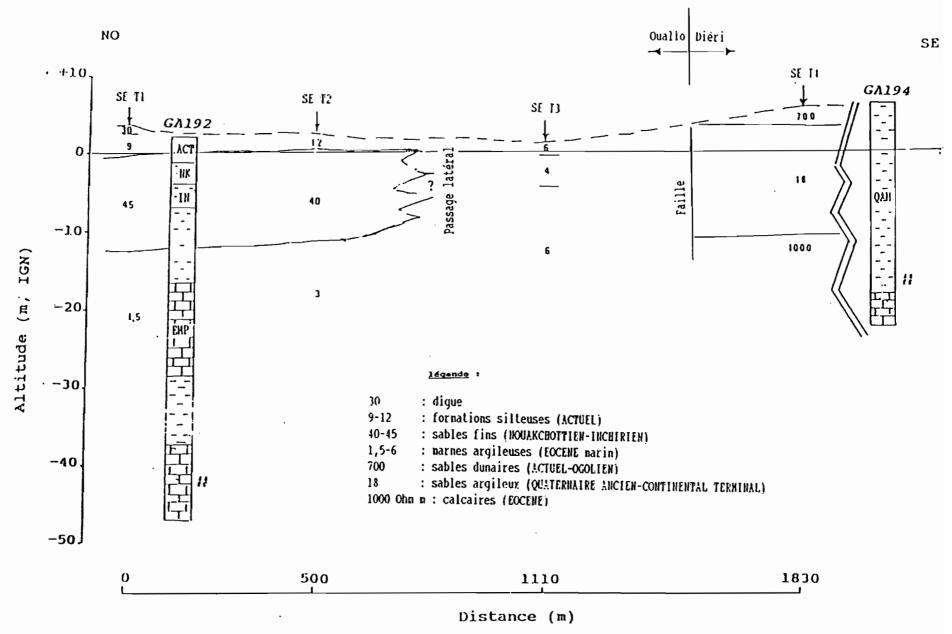


fig 38- Coupe λλ' des 4 premières couches dans le secteur Nord-Guiers : contacts anormaux (passage latéral de faciès entre SE T2 et SE T3 ; faille à la limite Ouallo/Diéri)

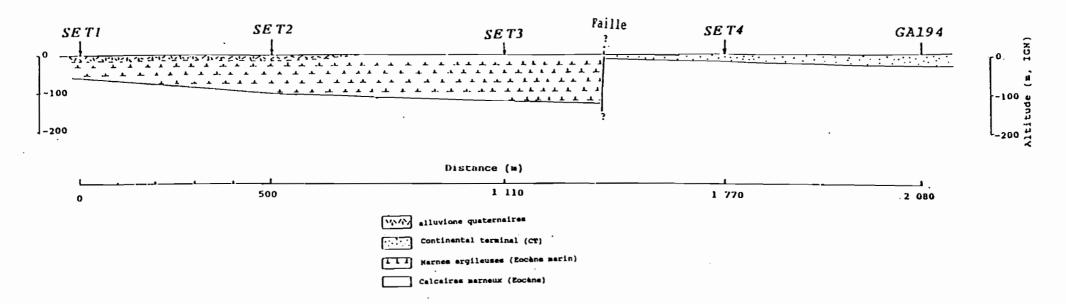
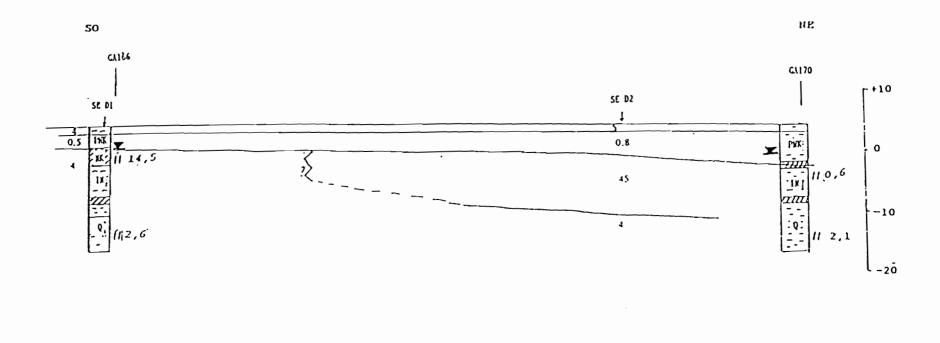


fig. 39- Coupe de sondages électriques AA' dans le secteur Nord-Guiers montrant les limites des alluvions quaternaires et le substratum de marnes et calcaires marneux éocènes; substratum affecté par une faille verticale.



890 B

fig 40- Coupe de sondages électriques BB' dans le secteur de Dagana (Ouallo) : faibles résistivités de terrains dans les horizons superficiels ; chenal de sables fins plus résistants (45 Ohm m)

Distance (m)

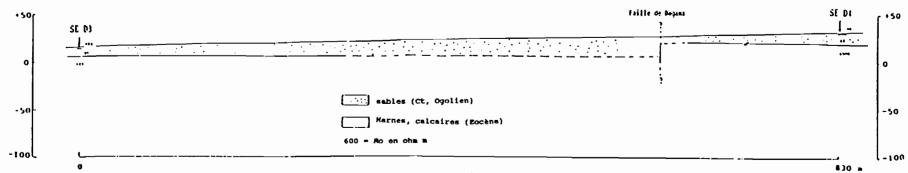


fig 41- Coupe de sondages électrique CC' dans le secteur de Dagana (Diéri) : faille de Dagana

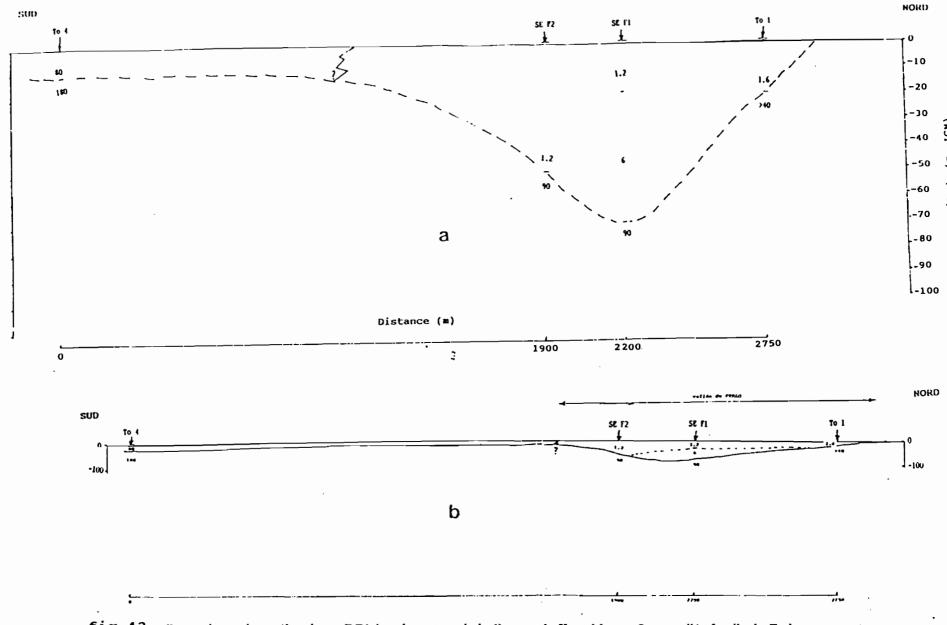


fig 42- Coupe de sondages électriques DD' dans le secteur de la Cuvette de Keur Momar Sarr : vallée fossile du Ferlo creusée dans les calcaires marneux (80 à 90 Ohm m) ; remplissage alluvial salé avec un chenal argilo-sableux à la base (6 Ohm m)

été creusée dans les calcaires marneux sur une profondeur maximale d'environ 80 m et a été comblée par des alluvions (sables argileux, argiles sableuses, argiles, vases). Le manque de coupes de sondages électriques parallèles à la coupe DD' ne nous a pas permis de localiser la direction d'allongement (vers l'est) de l'axe de cette paléo-vallée.

CONCLUSION:

Les sondages électriques effectués rendent compte de plusieurs faits géologiques et hydrogéologiques dans les secteurs d'études.

Les variations latérales de faciès qui caractérisent bien les dépôts alluvionnaires de façon générale ont été mis en évidence dans les trois secteurs; de plus une forte variation verticale de faciès est révelée par l'Electrique, ce qui n'a permis de détecter le niveau hydrostatique.

Dans le secteur de Dagana, les sondages géophysiques (SE D1 et SE D2) montrent une hétérogénéité et verticale des alluvions fluviatiles et leur structure lenticulaires. Cela est lié à une sédimentation chaotique typique des méandres (érosion sur la partie concave et dépôt sur la partie convexe). Les nappes ne sont interdépendantes qu'à grande échelle du fait des niveaux imperméables argileux discontinus. La lithologie et par conséquent la salinisation primaire (cas de couches nouakchottiennes et zones captives hypersalées) est fortement déterminante de la résistivité de terrains.

Dans la cuvette de Keur Momar Sarr, les minéralisations sont fortes surtout pendant l'étiage (présence de cristaux de sel). Les vases argileuses salifères de ce secteur montrent que les infiltrations sont reduites voire nulles (localement) d'où la concentration superficielle du sel allant jusqu'à la cristallisation par suite de l'évaporation.

Les failles verticales des secteurs d'études montrent l'importance de la tectonique postéocène dans cette partie du bassin (anticlinal faillé de Guiers). Ces failles auraient fonctionné depuis le PliocèneE notamment pendant la transgression Aouïjienne au moment du changement du cours du Fleuve Sénégal du Nord vers l'Est (AUDIBERT, 1970).

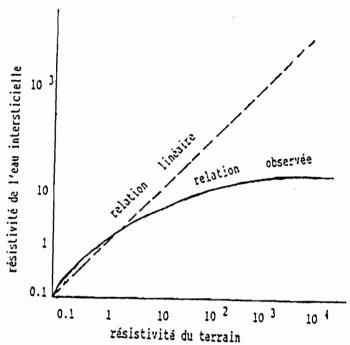
La continuité hydraulique entre les aquifères du secteur Nord-Guiers se traduit par des conductivités des nappes qui sont presque identiques à une période donnée. Cependant, les résistivités des aquifères respectifs qui tient compte de sa nature lithologique sont nettement plus représentatives de l'origine marine des formations aquifères.

Le principal salant est le NaCl selon les résultats de BONKEL (1989). Cette salinisation est omniprésente dans les secteurs d'étude malgré la mise en service du barrage anti-sel de Diama. Il s'agit d'une salinisation primaire liée aux transgressions marines successives qui ont eu lieu dans la vallée. Ces eaux salées sont refoulées saisonnièrement par les eaux du fleuve et les eaux d'inondation mais pas suffisamment pour en enrayer les trâces.

4-1.3 RESISTIVITE DES EAUX ET RESISTIVITE DES TERRAINS

La résistivité de l'eau interstitielle (inverse de la conductivité des eaux) et celle de l'ensemble de l'aquifère sont liées entre elles par la relation illustrée par la courbe de la figure 43 : si la résistivité de terrain est faible, il y a une relation linéaire entre les deux ; si la résistivité du fluide interstitiel est élevée, celle-ci influence la résistivité du terrain.

D'après nos résultats géophysiques, nous pouvons tirer les relations suivantes entre résistivités de l'eau interstitielle et celles des terrains (Tab. 9):



Tab. 9 Résistivités des terrains (géophysique) et résistivités des eaux

Ouvrage	Rés Eaux Ohm m	Rés Terrain Ohm m
GA 165 GA 166 GA 170 GA 192 GB 867 GA 194 GB 117 GA 169 GA 189 GA 191 GA 264 GB 852	0.47 2.33 2.62 9.63 28.09 11.20 9.89 9.05 9.24 10.45 10.11	4 4 4 1.5 12 18 35 40 45 45 45

Il n'y a pas de corrélation possible entre les deux paramètres. Toutefois, en fonction de la lithologie et de la phase sédimentaire de la formation, la résistivité du terrain peut être estimée. Ainsi, les couches sableuses du Nouakchottien et de l'Inchirien ont des résistivités de 40 à 45 Ohm m; les silts et argiles donnent des résistivités de 1,5 à 4; les vases argileuses salifères du Nouakchottien de 0,5 à 2 Ohm m. Les dunes sableuses ont des fortes résistivités (550 à 700 Ohm m). La conductivité de l'eau est élévée dans les zones en charge (faibles résistivités - au GA165).

La résistivité des terrains (inverse de la conductivité des terrains) est non seulement liée à la lithologie, mais également à la chimie des fluides qui l'imbibent.

4-2 INTERPRETATION DES SONDAGES AMT

Le résistivimètre d'enregistrement AMT de marque SAGAX, Montréal-Canada fonctionnant sur une gamme de fréquence de 1 à 5000 Hertz a donné les résultats consignés sur le tableau 8a :

La comparaison entre les valeurs de résistivité pour les deux directions EO et NS montre des différences notables (A F2 à 300 mètres environ à l'Ouest de A F1 montre des discordances de résistivités entre les deux directions à partir de 5 000 mètres de profondeur) ; cela dénote des anomalies de structures géologiques (contacts anormaux) dans ces deux directions.

Compte tenu des ordres de grandeur très différents entre les résistivités de terrains voisins, la fiabilité des mesures données par le résistivimètres reste posée. De plus, les profondeurs d'investigations très élevées (plusieurs milliers de mètres) -tab. 8b-; elles ne seraient applicables que pour les nappes profondes (le Maastrichtien est à une profondeur de 10 à 80 mètres dans les secteurs d'études). Les résultats de l'Electrique ne peuvent ainsi être corrélés avec ceux de l'AMT dont les plus faibles profondeurs (c'est-à-dire celles correspondant à la fréquence 5000 Hertz) ne sont atteintes par l'Electrique.

<u>CHAP. 5 - AVANTAGES ET LIMITES DES METHODES GEOPHYSIOUES UTILISEES</u>

5-1 METHODE ELECTRIQUE

La méthode de sondages électriques verticaux de type Schlumberger est bien adapté pour l'étude des aquifères alluviaux de la vallée et pour l'étude des structures de son substratum. Les longueurs de ligne AB/2 portées de 250 à 520 mètres ont permis d'atteindre des profondeurs plus élevées. Les terrains des secteurs d'études ont une bonne conductivité électrique sauf sur les dunes et sur les sables secs du Continental Terminal (Diéri) où nous avons eu recours fréquemment à la masse pour enfoncer davantage les électrodes d'injection.

Le marquage préalable des longueurs AB/2 sur la bobine que nous avons effectué avons la deuxième mission sur le terrain a accéléré (on ne se sert plus du décamètre pour positionner les électrodes AB/2) le rythme des manipulations. Ainsi, pour chaque station de mesure de résistivités nous avons mis un temps moyen de 1 Heure 30mn pour une ligne de 485m (38 mesures en moyenne).

Deux types de feuilles de terrains ont été utilisés (A2-5a et b): la première pour AB/2 = 250 mètres maximum comprend 36 mesures pour chaque station; la seconde est conçue pour AB/2 = 520 mètres maximum comprend au total 44 mesures pour différentes longueurs de MN/2. Dans ce dernier cas, les petites valeurs de MN/2 permettent d'avoir des courbes précises mais elles présentent l'inconvénient de ne pas être proportionnelles aux grandes longueurs de AB/2; ce qui donne des faibles potentiels (V) et par là des valeurs abbhérentes de résistivités apparentes. Nous avons été amenés à

supprimer quelques valeurs de terrains pendant le dépouillement des sondages électriques.

Les couches de faibles épaisseurs ainsi que les petites lentilles d'eau douce n'ont pu être mises en évidence selon le principe d'équivalence. Les sondages électriques effectués par ILLY (1973) ont eu ces mêmes limites de précisions.

La grande variation latérale des faciès lithologique n'a permis une mise en évidence des niveaux hydrostatiques qui sont biaisées.

5-2 METHODE AMT

L'efficacité de cette méthode dans la cartographie des lentilles d'eau salée, des lentilles d'eaux douces piégées et dans la détermination des structures de l'aquifère ets attestée par de multiples applications à travers le monde : STEWART, 1982 ; BALLESTRACCI et al, 1985 ; REYNOLDS, 1987 ; BERNADI et al, 1988 ; VAN OVERMEEREN, 1989).

Cependant, le choix judicieux des fréquences d'ondes est important pour atteindre les buts recherchés. Plus la fréquence d'ondes est élevée, plus la profondeur d'investigation est faible; aussi, des appareillages émettant des fréquences de 10 à 30 KHz (BUSH et DUPUIS, 1991) pourraient nous renseigner davantage sur la lithologie, la géologie et l'hydrogéologie des nappes alluviales.

Par ailleurs, le résistivimètre AMT utilisé (SAGAX, Montréal-Canada) est tributaire, pour son bon fonctionnement, de l'agitation magnétique du soleil ; le champ magnétique est souvent très faible et les résistivités lues ne sont pas significatives ; la connaissance préalable des périodes de forte agitation magnétique solaire est difficile car il s'agit d'une grandeur variable dans le temps : c'est une limite au niveau de la méthode AMT elle-même.

CONCLUSIONS GENERALES

Les sondages électriques réalisés dans le cadre de ce mémoire montrent diverses formations alluviales dans la Basse vallée du Sénégal :

-des silts (Actuel): 9 à 12 Ohm m,

-des argiles, vases et argiles sableuses (0,5 à 6 Ohm m), -sables fins nouakchottiens et inchiriens (40 à 45 Ohm m).

L'épaisseur de ces assises est variable (12 à 80 m) selon les zones et selon l'importance de failles post-éocènes à proximité. Ainsi, une puissante série alluvionnaire dont la base n'est pas connue, occupe l'intérieur du méandre de Dagana

Le substratum de ces alluvions, lorsqu'il est atteint (secteurs Nord-Guiers et du Haut-Ferlo) est formé:

-de marnes argileuses (1,5 à 6 Ohm m),

-de calcaires marneux éocènes fracturés (70 à 90 Ohm m) avec la possibilité de développement de karsts dans cette zone orientale du lac de Guiers comme l'a signalé P.MICHEL (1973).

Les formations du Bassin sédimentaire sénégalais ont subi des fractures verticales comme les sondages électriques l'ont montré, confirmant ainsi les travaux antérieurs.

La méthode de prospection électrique a pu atteindre les résultats attendus sur l'étude des aquifères et des nappes quaternaires.

Les failles méridienne N170°E à N190°E décrites à Guiers-Nord, à Dagana et dans le Bas-Ferlo génèrent des structures en horst (Guiers, Thilogne-Boki Diavé). Cette tectonique se traduit par l'épaississement des alluvions quaternaires dans des dépressions tectoniques (Nord-Guiers, Dagana) avec les mêmes traits géomorphologiques. Par ailleurs ces failles décrivent les contours des lits des réseaux hydrographiques avoisinants : Tahouey, Sénégal au Nord et à l'Ouest de Dagana et notamment entre Semmé et Bogué (Matam).

Sur le plan hydrogéologique, l'Electrique a montré l'existence de nappes salées dans notre zone d'études d'où les faibles résistivités observées. Cette faible résistivité des terrains est prononcée dans le Ferlo qui a connu une évolution de mangroves et l'évaporation intense qui reduit l'extension du salant due aux inondations saisonnières, et aux pluies dans une oindre mesure. Les conductivités dans les nappes alluviales attestent bien cette forte minéralisation chlorurée sodique dans ce secteur.

La construction du barrage anti-sel de Diama a reduit la contamination saline secondaire des nappes alluviales et partant la pollution des nappes sous-jacentes qui sont en communication (secteurs du dôme de Guiers et de Matam). Les eaux d'infiltration du fleuve refoulent les langues salées résiduelles (salinisation primaire) surtout pendant la période de remontée des eaux du Sénégal. En saison sèche, les eaux deviennent plus chargées avec des résistivités de terrains plus faibles.

Le barrage de Manantali sur le cours supérieur du Sénégal permet actuellement de réguler le débit du Sénégal. Ce qui reduit de manière significative les inondations saisonnières, d'où une diminution de l'alimentation des nappes superficielles et la recharge des nappes profondes.

Les profondeurs d'investigations données par l'AMT étant trop élevées pour ce type de nappes (alluvions quatenaires, nappes de l'Eocène/Paléocène et du Maastrichtien sub-affleurant), nous n'avons pu corréler ces résultats avec ceux de l'Electrique. La gamme de fréquences (1-5000 Hertz) de fonctionnement de l'appareil utilisé n'est pas adaptée pour l'étude hydrogéologique des aquifères de ce type. Un appareillage fonctionnant avec des fréquences de 12 à 30 kiloHertz (Radio-Magnéto-Tellurie) permettrait d'étudier les aquifères superficiels (Quaternaire ou anté-Quaternaire) de cette partie du bassin sédimentaire Sénégalais.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIOUES

- AUDIBERT M. 1962 Etude hydrogéologique de la nappe profonde du Sénégal : "nappe maestrichtienne".

 Mém. BRGM, 1962,N° 41.
- AUDIBERT M.-1970- : Delta du Fleuve Sénégal Etude hydrogéologique I Généralités ; II Géologie

 OERS/PNUD/FAO Projet AFR/REG 61 Juin 1970.
- ASTIER J.L. 1971 Géophysique appliquée à l'hydrogéologie. Masson et Cie, Paris - 1971
- BALLESTRACCI R., NOUGIER J.et BENDERITTER Y. 1985 Intermediate tectonic pattern and hydrodynamic process deduced from audiomagnetotelluric investigations on volcanic island of Mayotte.

 Tectonophysics, 115 (1985), 45:60.
- BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES: 1962 Notice explicative de la carte géologique du Sénégal échelle 1/500 000° 4 feuilles. Service des Mines et de la Géologie, BRGM, Dakar, 1962.
 - 1967a Notice explicative de la carte géologique de Dagana (1/200 000°). Service des Mines et de la Géologie. BRGM, Dakar, 1967.
 - 1967b Notice explicative de la carte géologique de Louga (1/200 000°). Service des Mines et de la Géologie BRGM, Dakar, 1967.
 - 1989 Réalisation d'une campagne de forages profonds avec contre-puits. Premier Programme d'Hydraulique Villageoise et Pastorale CEAO, 1989.
- BUSH D., DUPUIS A. 1991 Exemples d'application de la radioMT aux problèmes de drainage en terrains sédimentaires.

 Hydrogéologie, n° 2, 1991.
- COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE (C.G.G.) 1956-1957 Reconnaissances hydrologiques et structurales par sondages électriques au Sénégal, en Mauritanie et en Casamance.

 15 Nov. 1956-23 Juilet 1957
- DEGALLIER R.- 1956 Hydrogéologie de la feuille de Louga au 1/200 000° (Sénégal). Direction Fédérale des Mines et de la Géologie, 1956.
 - 1962 Possibilités de la nappe maastrichtienne du Sénégal. Mem. BRGM, Dakar,1962
- DEPAGNE J., MOUSSU H. 1967 Notice explicative des cartes hydrogéologiques (1 500 000) et Hydrochimique (1/1 000 000) du Sénégal.

 Mém. BRGM, Dakar, 1967.
- DIAO S.M. 1992 Etude des aquifères alluviaux de la vallée du fleuve Sénégal (secteur Rosso-Dagana-Lac de Guiers).

 Mém. DEA, Fac. Sc., Dept. Géologie, UCAD Dakar.
- DIAGANA A. 1990 Etudes des paramètres hydrodynamiques des aquifères de la Basse vallée du Fleuve Sénégal entre Saint-Louis et Podor.

 Mem. DEA, Fac. SC., Dépt. Géologie, UCAD Dakar.

- DIOP M. 1984 Le Delta sous-lacustre du Guiers. Etude géomorphologique. Mém.de Maîtrise, Univ. Dakar, 94p.
- FAURE H., DEMOULIN D., HEBRARD L., NAHON D. 1970 Données sur la néotectonique de l'extrême Ouest de l'Afrique. Conf. on African Geol., Ibadan, Déc. 1970.
- GAC J.Y., CARN M., SAOS J.L. 1986 L'invasion marine dans la basse vallée du Fleuve Sénégal :

I- Période 1903 / 1980

II-Période 1980 / 1983

Rév. Hydrobiol. trop. 19(1 et 2) - 1986.

- GAUCHER G. et BURDIN S. 1974 Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés.

 Presses Universitaires de France, 1974.
- GOUZES R. 1968 Etude de la réalimentation et de la salinité de la nappe des "sables maastrichtiens" du Sénégal.

 Interprétation des mesures périodiques de niveau et des données nouvelles.

 Min. Dev. Ind. BRGM 69 DAK 12.
- ILLY P. 1973 Etude hydrogéologique du Nord-Est du fleuve Sénégal. Projet Hydroagricole du bassin du fleuve Sénégal; RAF 65/061, Juin 1973.
- INTERNATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE (ISTI) 1990 Rapport de synthèse hydrogéologique Delta du Fleuve Sénégal. Projet OMVS/USAID - Eaux souterraines Vol. 11, 1990.
- KHATIB R., LY A., SOW E-H., SARR R. 1990 Rythmes sédimentaires liés aux variations eustatiques globales au Campanien et Maastrichtien du Sénégal. Révision stratigraphique de la série du Crétacé Terminal du Cap de naz. C.R. Acad. Sc. Paris, T. 311, Série II, p. 1089-1095.
- LALEYE J. 1965 Interprétation des fluctuations des nappes du Haut Delta du Fleuve Sénégal (Sénégal Mauritanie).

 M.A.S., 1965.
- LE PRIOL J. 1985 Synthèse hydrogéologique du Sénégal 1984-1985. Direction des Etudes hydrauliques N 01/85/MH/DEH, Juin 1985.
- LOMPO M. 1987 Méthodes et étude de la fracturation et des films, exemple de la région du Cap-Vert (Sénégal).

 Mém. DEA, Fac. Sc. Dakar, Octobre 1987.
- LOYER J.Y. 1989 Les sols salés de la basse vallée du Fleuve Sénégal. Editions de l'ORSTOM, Coll. Etides et Thèses - Pais, 1989.
- MARTIN G. et MOUSSU H. 1975 Mise au point des connaissances hydrogéologiques du Sénégal.

 Mém. BRGM, Dakar, 1975.
- MICHEL P. -1973 Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie : Etude géomorphologique. Mém. ORSTOM, 3 t., 1973, n°s 62-63-64.
 - -1985 Séchéresse et transformation de la morphodynamique dans la vallée et le Delta du sénégal.

Rév. de Géomorph. Dyn. - CNRS XXXIV ° N°4 - 1985.

- MICHEL P. et ELOUARD P. 1960 Etude géologique et géomorphologique du bassin versant du Sénégal et ses affluents.

 Mém. BRGM Dakar 1960.
- MONTEILLET J. 1967 Contribution à l'étude géologique du lutétien de la région de Louga. Labor. Géol. Fac. Sc. Dakar, rapport n° 20, Juin 1967.
- PONSARD J.F. 1985 La marge du craton Ouest Africain du Sénégal à la Sierra Leone Interprétation géophysique de la chaîne panafricaine et des bassins du protérozoïque à l'actuel. Travaux des Lab. des Sc. de la Terre, St Jérôme MARSEILLE 1985, série B, n° 25.
- PRAKESH O.V. and BISCHOFF J.H. 1989 Laboratory and field studies of the application of electromagnetic prospecting for groundwater on Marajo Island, Brazil. Geophysics, Vol. 54, N 1, 1989, 23:30.
- PUYOO S. et STEENHOUDT M. 1990 Etude en vue de l'élaboration du Plan Directeur de l'Hydraulique Rurale du Sénégal.

 Rapport N ^o2, BRGM -1990.
- REYNOLDS J.M. 1987 The role of surface geophysics in the assessment of regional ground-water potential in Northen Nigeria.

 Geol. Soc. Engineering Geol. Spec. Public. N°4, 185:190.
- SAOS J.L. 1990 Etude du fonctionnement des nappes et relations eaux de surface/eaux souterraines.

 Programme CEE-ORSTOM n° TS2 0198-F (EBD), Rapport Scientifique Avril 1990.
- SAOS J.L; COGELS F.X CASTA L.; FABRE M.; FAURE H. et GAC J.Y.-(1981-1982) Etude préliminaire de deux sondages dans les sédiments holocènes du Lac de Guiers (SENEGAL).

 Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol., vol. XII, n°1, 1981-1982; 61-71
- STEWART T. M. 1982 Evaluation of electromagnetic methods for rapid mapping of salt-water interfaces in costal aquifers.

 Groundwater, Vol. 20, N 5, Sept.-Oct. 1982, 538:545.
- THIERRIN J. et MULLER I. 1988 La méthode VLF-résistivité multifréquence, un exemple d'exploration hydrogéologique dans un synclinal Crétacé à la Brevine (Jura Neuchatelois).

 Ann. Scient. Univ. Besançon, Mem. hors série N°6.
- TOGUYENI O.- 1986 Essai de prospection par sondages électriques appliquée à l'étude d'aquifères du Sénégal soumis à des invasions marines actuelles ou récentes (Ferlo, Tanma, Nianing).

 Mém.Ing. Géol. I.S.T., Univ. Dakar N°IST/0003 16 Juillet 1986.
- TRENOUS Y.J. 1968 Rapport de mission dans la région du lac de Guiers, la vallée du Ferlo, la zone Linguère-Dahra-Coki-Louga. Labor. Geol. Fac. Sc. Dakar, 1968.
- TRENOUS Y.J.et MICHEL P. 1971 Etude de la structure du dôme de Guiers (Sénégal Nord-Occidental).

 Bull. Soc. Géol. de France, XIII, 1971, n°s 1-2-, pp. 133-139.
- VAN OVERMEEREN R. A. 1989 Aquifer bounderies explored by geoelectrical measurements in the costal plain of Yemen: A case of equivalence.

 Geophysics Vol. 54, N°1, January 1989, 38:48.

ANNEXE I

- Al.1-Tableau des caractéristiques techniques et physicochimiques des ouvrages.
- Al.2-Log de carottage près de la digue de K. Momar Sarr Al.3-Comparaison entre niveau statique au GA201 et niveau du lac de Guiers (J.L. SAOS, 1990)
- Al.4a-Hesures de gradient de conductivités, 5/90
- Al.4b-Hesures de gradients de conductivités, 5/91 Al.5-Variation de la conductivité en fonction de la profondeur (GA202) (J.L. SAOS, 1990)
- Al.6-Cartes d'iso-conductivités (Oct. et Juin 89).

A1.1 - Caractéristiques techniques et piézométriques des ouvrages

1	2	3	4	5	G	7	8	9	10	11	12	13
Ouvrage	Cote	Prof.	Prof.	Ns	Isop.	Litho.	Subs.	T	pН	EC	Sel	Date
	IGN	m	éq. m	m		(âge)	(m)	°C	;	mS		
GUIERS	राहारक		La companya da di	مئد سند در	مهد، شنست. مثر در دو دو					naniale en perpensió		
GA 150	2.39	6.47	7.53	1.98	0.41	QAM		30	7.8	0.4	0.1	5/12/91
GA 151	2.33	11.39	30.63	4.26	-1.9	EMP	8	29	7.2	2.93	1.7	5/12/61
GA 152	2.36	11.01	43.3	4.23	-1.9	M	9	29	7.8	0.974	0.5	5/12/91
GA 153	2.45	5.9	6.34	1.85	0.6	QAM		28	8.1	0.498	0.2	5/12/91
GA 154	2.9	6.83	6.35	2.52	0.38	QAM	_	30	7.4	18.56	12.6	5/12/91
GA 155	2.87	20.18	20.63	4.83	-2	PNK/NK	6	30	8.1	2.16	1.2	5/12/91
GA 158	2.71	19.44	20.45	2.14	0.57	EMP	14	30	7.5	1.211	0.6	5/12/91
GA 159	2.6	5.96	6.94	2.28	0.32	QAM	_	29	7.8	0.552	0.2	5/12/91
GA 160	2.57	20.49	20.52	2.28	0.29	EMP	13	29	7.3	1.597	0.9	5/12/91
GA 189	2.13	5.35	6.8	1.46	0.67	IN	_	28	7.8	0.957	0.5	5/12/91
GA 191	2.04	19.49	18.79	1.38	0.66	EMP	18	30	7.9	1.082	0.6	5/12/91
GA 192	2.05	2.05	49.92	1.42	0.63	QAM	18	30	7.8	1.038	0.5	5/12/91
GA 194	7.93	25.08	25.75	9.83	-1.9	QAM	26	30	8.3	0.893	0.4	5/12/91
GA 198	7.27	49.67	49.48	6.48	0.79	EMP	15	31	7.5	3.91	2.4	28/11/91
GA 199	7.28	30.7	30.6	6.64	0.64	EMP	15	30	7.5	7.8	4.9	28/11/91
GA 200	6.31	11.58	11.56	6.65	-0.4	QAM	_	30	7.7	4.32	2.6	28/11/91
GA 201	5	26.52	26.45	4.81	0.19	EMP	21	31	6.9	31.7	22.5	28/11/91
GA 202	4.95	9.27	9.66	4.7	0.25	QAM	_	30	7.1	28.9	20.4	28/11/91
GA 203	3.98	48.61	51.03	4.15	-0.2	EMP	25	28	7.1	61.3	49.9	28/11/91
GA 204	3.98	6.2	7.57	4.28	-0.3	NK		30	6.8	68.1	53.4	28/11/91
DAGANA			المارية		النديد	ALC: /AIII DA DI	لل سادداللانا		المالية المالية	ورواء التأسر واولاً	4.1.	
GA 166	4.75	0.54	~ ~ ~	4 1 1	~ / /	~~						
		9.54	9.68		0.64	QT	>>	29	7.8	4.29	2.6	5/12/91
GA 165	4.7	20.73	20.53	3.85	0.85	IN	>>	30	7.4	21.3	14.5	5/12/91
GA 165 GA 169	4.7 3.93	20.73 9.14	20.53 9.43	3.85 4.02	0.85 -0.1	IN IN	>> >>	30 30	7.4 8	21.3 1.105	14.5 0.6	5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170	4.7 3.93 3.93	20.73 9.14 19.07	20.53 9.43 20.54	3.85 4.02 4.55	0.85 -0.1 -0.6	IN IN QT	>>	30 30 30	7.4 8 7.9	21.3 1.105 3.81	14.5 0.6 2.1	5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180	4.7 3.93 3.93 5.11	20.73 9.14 19.07 6.43	20.53 9.43 20.54 7.51	3.85 4.02 4.55 6.28	0.85 -0.1 -0.6 -1.2	IN IN QT PNK/NK	>> >> >>	30 30 30 28	7.4 8 7.9 7.3	21.3 1.105 3.81 0.477	14.5 0.6 2.1 0.2	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73	IN IN QT PNK/NK NK	>> >> >> >>	30 30 30 28 29	7.4 8 7.9 7.3 6.7	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9	IN IN QT PNK/NK NK QT	>> >> >> >> >>	30 30 30 28 29 29	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8	IN IN QT PNK/NK NK QT QT	>> >> >> >> >> >> >>	30 30 30 28 29 29	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK	>> >> >> >> >> >> >> >> >>	30 30 30 28 29 29 29 30	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN	>> > > > > > > > > > > > > > > > > > >	30 30 30 28 29 29 29 30 30	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT	>>	30 30 28 29 29 29 30 30 31	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/n	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173 GA 176	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36 4.45	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83 8.63	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46 9.5	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16 4.01	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT CT	>>	30 30 28 29 29 29 30 30 31 29	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1 7.5	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252 0.23	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/n	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173 GA 176 GA 177	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36 4.45 4.47	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83 8.63 18.66	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46 9.5 20.45	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16 4.01 4.02	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2 0.44 0.44	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT CT	>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>	30 30 30 28 29 29 30 30 31 29 29	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1 7.5 7.7	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252 0.23 0.313	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/n n/n	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173 GA 176 GA 177	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36 4.45 4.47	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83 8.63 18.66	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46 9.5 20.45	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16 4.01 4.02	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2 0.44 0.44	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT CT		30 30 30 28 29 29 30 30 31 29 29	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1 7.5 7.7	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252 0.23 0.313	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/n 0.1	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173 GA 176 GA 177	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36 4.45 4.47	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83 8.63 18.66	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46 9.5 20.45	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16 4.01 4.02	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2 0.44 0.44	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT CT CT	>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>	30 30 28 29 29 30 30 31 29 29	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1 7.5 7.7	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252 0.23 0.313	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/n 0.1	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173 GA 176 GA 177 DAGAN GA 181 GA 210	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36 4.45 4.47 5.09 3.92	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83 8.63 18.66 8.13 25.22	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46 9.5 20.45	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16 4.01 4.02	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2 0.44 0.44 -1.2 -0.6	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT CT CT CT		30 30 28 29 29 29 30 30 31 29 29 29	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1 7.5 7.7	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252 0.23 0.313	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/n 0.1 0.6 0.3	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173 GA 176 GA 177 DAGA: GA 181 GA 210 GA 211	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36 4.45 4.47 5.09 3.92 3.98	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83 8.63 18.66 8.13 25.22 8.49	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46 9.5 20.45 15.53 25.42 8.5	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16 4.01 4.02 6.28 4.5 4.56	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2 0.44 0.44 -1.2 -0.6 -0.6	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT CT CT T M M	>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>	30 30 28 29 29 29 30 30 31 29 29 28 30	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1 7.5 7.7	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252 0.23 0.313 1.135 0.73 1.6	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/n 0.1 0.6 0.3 0.9	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173 GA 176 GA 177 DAGAN GA 211 GA 212	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36 4.45 4.47 5.09 3.92 3.98 4.79	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83 8.63 18.66 8.13 25.22 8.49 49.15	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46 9.5 20.45 15.53 25.42 8.5 50.09	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16 4.01 4.02 6.28 4.5 6.08	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2 0.44 0.44 -1.2 -0.6 -0.6 -1.3	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT CT CT CT M M M	>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>	30 30 28 29 29 30 31 29 29 28 30 31	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1 7.5 7.7 7.4 7.9 7.8 8.1	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252 0.23 0.313 1.135 0.73 1.6 1.529	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/n 0.1 0.6 0.3 0.9 0.8	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173 GA 176 GA 177 DAGA GA 211 GA 212 GA 213	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36 4.45 4.47 5.09 3.92 3.98 4.79 10.28	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83 8.63 18.66 8.13 25.22 8.49 49.15 26.53	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46 9.5 20.45 15.53 25.42 8.5 50.09 27.47	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16 4.01 4.02 6.28 4.5 6.08 12	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2 0.44 0.44 -1.2 -0.6 -0.6 -1.3 -1.7	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT CT CT T M M	>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>	30 30 28 29 29 30 31 29 29 28 30 31 31 32	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1 7.5 7.7 7.4 7.9 7.8 8.1 8.3	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252 0.23 0.313 1.135 0.73 1.6 1.529 1.026	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/n 0.1 0.6 0.3 0.9 0.8 0.8	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173 GA 176 GA 177 DAGA GA 181 GA 210 GA 211 GA 212 GA 213 GB 117	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36 4.45 4.47 5.09 3.92 3.98 4.79 10.28 8.75	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83 8.63 18.66 8.13 25.22 8.49 49.15 26.53 40.75	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46 9.5 20.45 15.53 25.42 8.5 50.09 27.47 48.98	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16 4.01 4.02 6.28 4.5 4.56 6.08 12 10.2	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2 0.44 0.44 -1.2 -0.6 -0.6 -1.3 -1.7 -1.4	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT CT CT CT M M M	>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>	30 30 28 29 29 29 30 30 31 29 29 28 30 31 32 30	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1 7.5 7.7 7.4 7.9 7.8 8.1 8.3 7.7	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252 0.23 0.313 1.135 0.73 1.6 1.529 1.026 1.011	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/m 0.1 0.6 0.3 0.9 0.8 0.5	5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173 GA 176 GA 177 DAGA GA 210 GA 211 GA 212 GA 213 GB 117 GB 848	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36 4.45 4.47 5.09 3.92 3.98 4.79 10.28 8.75 13.25	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83 3.63 18.66 7 8.13 25.22 8.49 49.15 26.53 40.75 17.75	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46 9.5 20.45 15.53 25.42 8.5 50.09 27.47 48.98 18.55	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16 4.01 4.02 6.28 4.5 4.56 6.08 12 10.2 15.9	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2 0.44 0.44 -1.2 -0.6 -1.3 -1.7 -1.4 -2.6	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT CT CT M M M M	>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>	30 30 28 29 29 30 31 29 28 30 31 32 30 31 32 30 29	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1 7.5 7.7 7.4 7.9 7.8 8.1 8.3 7.7	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252 0.23 0.313 1.135 0.73 1.6 1.529 1.026 1.011 1.822	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/n 0.1 0.6 0.3 0.9 0.8 0.5 1	5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173 GA 176 GA 177 DAGA GA 211 GA 212 GA 213 GB 117 GB 848 GB 852	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36 4.45 4.47 5.09 3.92 3.98 4.79 10.28 8.75 13.25 7.37	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83 8.63 18.66 8.13 25.22 8.49 49.15 26.53 40.75 17.75 9.03	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46 9.5 20.45 15.53 25.42 8.5 50.09 27.47 48.98 18.55 9.69	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16 4.01 4.02 6.28 4.5 6.08 12 10.2 15.9 8.83	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2 -0.44 -1.2 -0.6 -1.3 -1.7 -1.4 -2.6 -1.5	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT CT CT M M M M	>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>	30 30 28 29 29 30 31 29 29 28 30 31 32 30 29 29 29	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1 7.5 7.7 7.8 8.1 8.3 7.7 7.8	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252 0.23 0.313 1.135 0.73 1.6 1.529 1.026 1.011 1.822 0.18	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/n 0.1 0.6 0.3 0.9 0.8 0.8 0.5 1	5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173 GA 176 GA 177 DAGA GA 211 GA 212 GA 213 GB 117 GB 848 GR 852 GB 867	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36 4.45 4.47 5.09 3.92 3.98 4.79 10.28 8.75 13.25 7.37 11.6	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83 8.63 18.66 8.13 25.22 8.49 49.15 26.53 40.75 17.75 9.03 13.86	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46 9.5 20.45 15.53 25.42 8.5 50.09 27.47 48.98 18.55 9.69 14.69	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16 4.01 4.02 6.28 4.5 6.08 12 10.2 15.9 8.83 13	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2 0.44 0.44 -1.2 -0.6 -1.3 -1.7 -1.4 -2.6 -1.5 -1.4	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT CT CT M M M M	>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>	30 30 28 29 29 30 31 29 28 30 31 32 30 29 29 31	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1 7.5 7.7 7.8 8.1 8.3 7.7 7.8 8.1	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252 0.23 0.313 1.135 0.73 1.6 1.529 1.026 1.011 1.822 0.18 0.356	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/n 0.1 0.6 0.3 0.9 0.8 0.8 0.5 1 n/n	5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173 GA 176 GA 177 DAGA GA 211 GA 212 GA 213 GB 117 GB 848 GR 852 GB 867 GB 851	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36 4.45 4.47 5.09 3.92 3.98 4.79 10.28 8.75 13.25 7.37 11.6 8.29	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83 8.63 18.66 8.13 25.22 8.49 49.15 26.53 40.75 17.75 9.03 13.86 10.1	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46 9.5 20.45 15.53 25.42 8.5 50.09 27.47 48.98 18.55 9.69 14.69 11.21	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16 4.01 4.02 6.28 4.5 4.56 6.08 12 10.2 15.9 8.83 13 8.76	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2 0.44 0.44 -1.2 -0.6 -1.3 -1.7 -1.4 -2.6 -1.5 -1.4 -0.6	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT CT CT M M M — — — —	>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>	30 30 28 29 29 29 30 31 29 28 30 31 32 30 29 29 28 30 31 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1 7.5 7.7 7.4 7.9 7.8 8.1 8.3 7.7 7.7 8.1 8.3	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252 0.23 0.313 1.135 0.73 1.6 1.529 1.026 1.011 1.822 0.18 0.356 0.361	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/m 0.1 0.6 0.3 0.9 0.8 0.5 1 n/m 0.1 0.1	5/12/91 5/12/91
GA 165 GA 169 GA 170 GA 180 GA 182 GA 186 GA 188 GA 163 GA 164 GA 173 GA 176 GA 177 DAGA GA 211 GA 212 GA 213 GB 117 GB 848 GR 852 GB 867	4.7 3.93 3.93 5.11 6.16 5.67 5.84 2.91 2.96 4.36 4.45 4.47 5.09 3.92 3.98 4.79 10.28 8.75 13.25 7.37 11.6	20.73 9.14 19.07 6.43 8.5 8.55 29.25 5.58 19.32 9.83 8.63 18.66 8.13 25.22 8.49 49.15 26.53 40.75 17.75 9.03 13.86	20.53 9.43 20.54 7.51 8.56 8.54 29.8 5.58 20.59 9.46 9.5 20.45 15.53 25.42 8.5 50.09 27.47 48.98 18.55 9.69 14.69	3.85 4.02 4.55 6.28 5.43 6.58 6.62 2.24 3.88 3.16 4.01 4.02 6.28 4.5 4.56 6.08 12 10.2 15.9 8.83 13 8.76 10.2	0.85 -0.1 -0.6 -1.2 0.73 -0.9 -0.8 0.67 -0.9 1.2 0.44 0.44 -1.2 -0.6 -1.3 -1.7 -1.4 -2.6 -1.5 -1.4	IN IN QT PNK/NK NK QT QT NK IN CT CT CT CT	>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>	30 30 28 29 29 30 31 29 28 30 31 32 30 29 29 31	7.4 8 7.9 7.3 6.7 7.1 8 8.3 8.4 8.1 7.5 7.7 7.8 8.1 8.3 7.7 7.8 8.1	21.3 1.105 3.81 0.477 12.19 32.8 0.433 0.384 0.478 0.252 0.23 0.313 1.135 0.73 1.6 1.529 1.026 1.011 1.822 0.18 0.356	14.5 0.6 2.1 0.2 7.9 23.3 0.2 0.1 0.2 n/n 0.1 0.6 0.3 0.9 0.8 0.8 0.5 1 n/n	5/12/91 5/12/91

^{1 :} N°du piézomètre ou du puits villageois ; 2 : cote de l'ouvrage au sol ; 3 : profondeur de la zone crépinée par rapport au sol ; 4 :profondeur totale de l'ouvrage ; 5 : niveau statique ; 7 :lithostratigraphie de l'aquifère capté ;

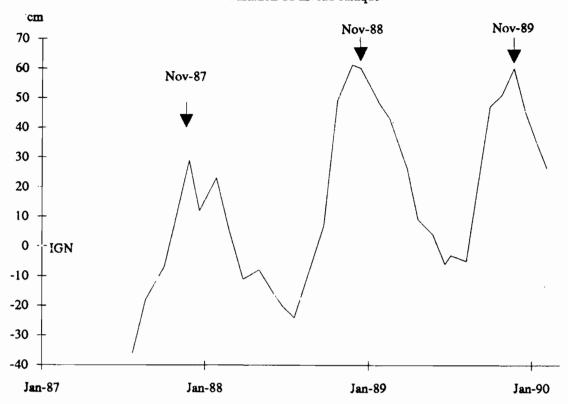
^{8 :} profondeur du toit du substratum des alluvions ; 11: conductivité de la nappe captée ;

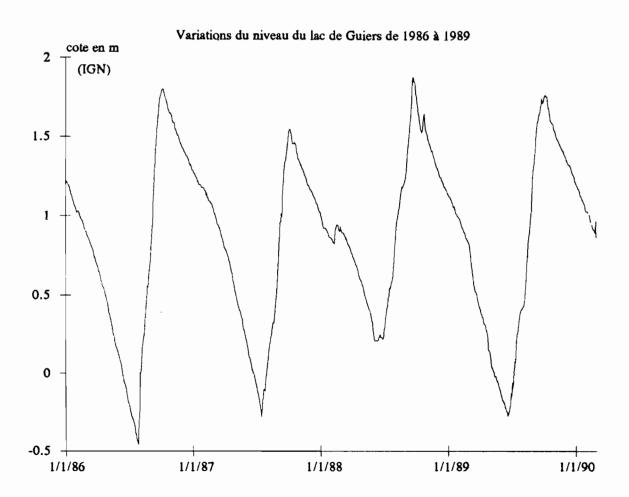
^{12:} salinité en g/l de NaCl.

coquille de Lanellibranches argile a gypse (10 YR 4/3) + compacte (10 YR 4/1) coquilles de Gastéropodes argile compacte avec coquilles (<1 cm) cristaux de sel petites coquilles 5 YR 5/1 argile compacte avec coquilles argile compacte grise sans coquilles, cristaux de sel sable brun argile 5Y 5/1 sable fin avec passées d'argile(brun) sable grossier 7/4 10 YR argile sableuse petites poches de sable + sableux argileux sable fin (brun) passée d'argile (clair) natière organique (toujours) argile très légèrement sableuse oxydée en surface sable fin marron grès ferrugineux, gravillons poche de sable avec débris de végétaux arqile qrise natière organique sable jaune, sable 7/2 argile avec passée sableuse sable 8/8 10 YR sable 8/8 10 YR sable argile grise nouchetéé de noir sable rour sable argileux gris argile grise à passées sableuses sable roux avec débris végétaux argile gris-noir argile sableuse

A1-2 : Log de carottage près de la digue de K.Momar Sarr (SAOS, inédit)

A1-3: Piezomètre GA201 Variation du niveau statique





Al-4a : Evolution de quelques paramètres physico-chimiques en fonction du temps (DIAO, 1992).

N°Piézo: GA 201

Date: 19 Février 1990

prof. totale: 25,0 m

pH: 7,28 (à 17°28)

N°Pićzo: GA 201

Date: 14 Mai 1990

prof. totale: 26,45 m

pH: 7.28 (à 35°2)

N°Piézo: GA 192

Date: 15 Mai 1990

prof. totale: 46,37 m

pH: 7.48 (à 36°5)

pf.(m)	T(°C)	EC(mS)	pf.(m)	T(°C)	EC(mS)	pf.(m)	T(°C)	EC(mS)
]							
4,52	30°9	17,4	5,06	32°5	17,1	2,37	29°9	0,890
ļ	1		1		1 1	3,37	29°5	0.875
5.0	31°6	17.3	6,06	31°7	17,4	4,37	28°7	0,856
	l	1	i	[l ł	5,37	28°3	0,856
6.0	31°8	18,2	7,06	31°6	18,8	6,37	27°9	0,853
				J	1 1	7,37	27°8	0,853
7.0	31°9	20,7	8,06	31°7	20,9	8,37	27°8	0,852
		1]	9,37	27°7	0.850
8,0	32°0	23,5	9,06	31°8	23,4	10,37	27°7	0,817
1			-,		-,	11,37	27°5	0,816
9,0	32°1	26,5	10,06	31°9	25,5	12,37	27°5	0,819
		55,6	10,00	, ,,	2.5	13,37	27°4	0,822
10,0	32°1	28,9	11,06	31°9	27.2	14,37	27°4	0,822
}	}]	11,00	, ,,	27.2	15,37	27°3	
11.0	32°1	30,7	12.06	31°9	28,6			0,832
''	32 1] 30,7	12.00	1 31 9	28,0	16,37	27°2	0,833
12,0	32°1	32,0	12.06	3380	00.5	17,37	27°2	0,837
12.0	32.1	32,0	13,06	32°0	29,5	18,37	27°3	0,863
1 ,,,	2200	1 22 2	1.400			19.37	27°3	0,866
13.0	32°0	32,8	14,06	32°0	30,2	20.37	27°2	0,866
l						21,37	27°3	0,866
14,0	32°0	33,5	15,06	32°0	30,7	22,37	27°3	0,866
		1 1		J		23,37	27°3	0,866
15,0	32°0	34,0	16,06	32°0	31,2	24,37	27°3	0,866
	1	1		i	i J	25,37	27°4	0,866
16,0	32°0	34,5	17,06	32°0	31,7	26,37	27°4	0,866
				ľ		27,37	27°4	0,866
17,0	32°0	34.8	18,06	32°0	32,1	28,37	27°4	0,866
			1	}		29,37	27°4	0,866
18,0	32°0	35,2	19,06	32°0	32,4	30,37	27°4	0,867
						31,37	27°5	0.867
19.0	32°0	35,5	20,06	32°0	32,7	32,37	27°5	0,867
				ł	1	33,37	27°6	0,866
20,0	32°1	35,9	21,06	32°1	33,1	34,37	27°6	0,866
						35.37	27°7	0,867
21.0	32°1	35.9	22,06	32°1	33,1	36,37	27°7	0,867
			1			37,37	27°7	0,867
22.0	32°1	36,0	23,06	32°1	33,2	38,37	27°8	0,867
					55,5	39,37	27°8	0,867
23,0	32°1	36,0	24,06	32°1	33,2	40,37	27°9	0,867
			1 .,,,,		33,2	41,37	27°9	
24,0	32°2	36,1	25,06	32°2	33,3	42,37		0,867
,,,		55,1	2,55	72.2	33,3	1	28°0	0,867
24,5	32°2	36.3	26,06	32°2	227	43,37	28°1	0,868
	J. 2	50.5	20,00	32.2	33.7	44,37	28°2	0,867
2,5	32°2	26,8	26,45	32°3	24,0	45,37	28°2	0,867
	J. L		20,75	32 3	27,0	46.37	28°2	0,867
								L

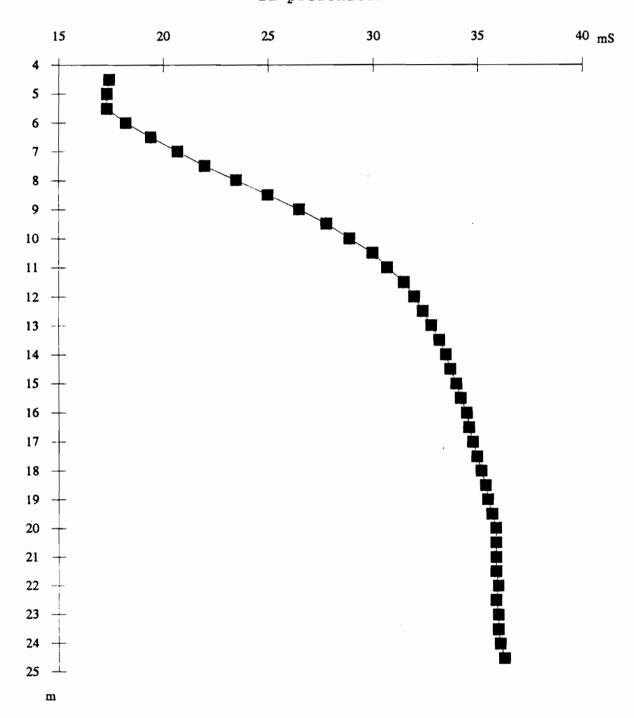
Variation relativement forte de la conductivité (EC) et faible variation de la température (T).

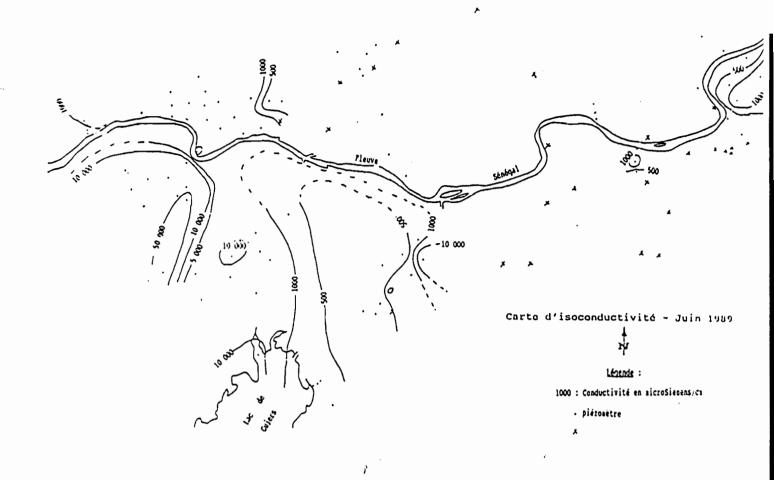
Faible variation de EC et T

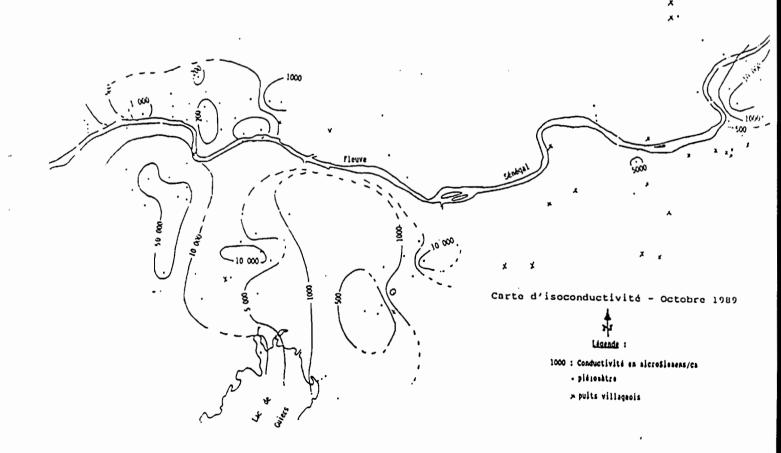
EC : conductivité ; T : température

	est Statique A St				-20 6 1400-4970		
Prof.(m)	Cond.(microS)	Temp.	Prof.(m)	Cond.(microS)	Temp.		
Surf.	902	27°4	Surf.	915	28°1		
4.00	960	26°6	3.00	942	27°7		
5.00	965	26°6	4.00	941	27°7		
			5.00	943	27°8		
fond à 5.35 m	l		6.00	941	27°8		
			8.00	941	28°0		
Prélèvement à	3.0 m		10.00	942	28°0		
Temp. : 26°7			12.00	940	27°9		
Cond. : .951			14.00	940	27°7		
pH:6.8			16.00	979	27°6		
•			18.00	980	27°5		
			20.00	1182	27°5		
and the second s	LONG TERROR DE LA COMPANION DE						
GA:192	carl Stal que this	92 mg 1848	fond à	20.00 m			
Prof.(m)	Cond.(microS)	Temp.	Prélèvement à	18.0 m			
surf.	950	28°0	Temp. : 27°5	i			
4.00	970	27°7	Cond.: 0.942	2 mS			
6.00	974	27°8	pH: 7.3				
8.00	975	28°0	1				
10.00	971	28°0	1				
12.00	951	27°9					
14.00	950	27°7	1				
16.00	954	27°6	1				
18.00	958	27°5	1				
20.00	976	27°5	1 '				
22.00	978	27°5]				
24.00	977	27°5	GA 264 NI	(eat) Statique à 28	2 00 000		
26.00	976	27°6					
28.00	979	27°6	Prof.(m)	Cond.	Temp.		
30.00	979	27°7	surf.	957	29°3		
32.00	979	27°7	4.00	956	29°1		
34.00	980	27°8	6.00	958	29°1		
36.00	978	27°9	8.00	958	29°2		
38.00	979	28°0	10.00	958	29°2		
40.00	981	28°1	12.00	953	29°1		
42.00	981	28°2	14.00	953	28°9		
44.00	981	28°3	15.80	994	28°7		
46.00	980	28°5					
fond à 50.0 n	1		fond à 15.80				
Prélèvement i	46.0 m		Prélèvement à 14.0 m Temp.: 28°8				
Temp.: 27°7			Cond.: 0.899 mS				
•			1	, 100			
Cond.: 0.94	7 mS		pH: 7.5				

A1-5 : GA201 Variation de la conductivité avec la profondeur

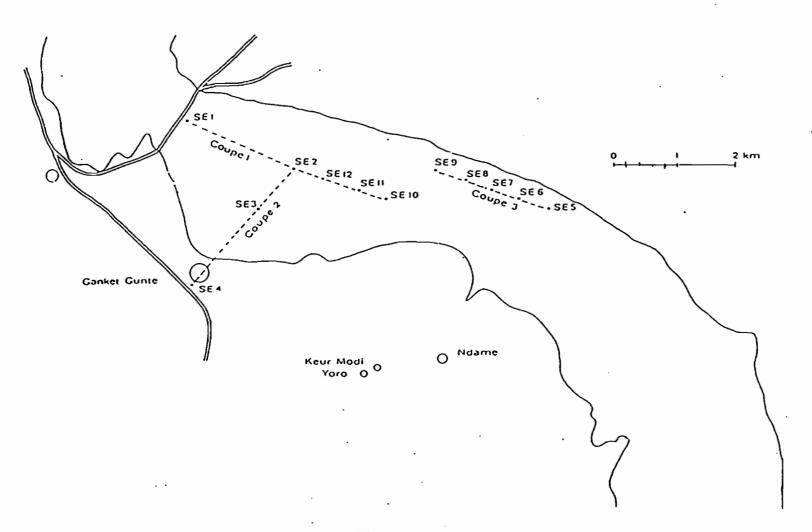






ANNEXE II

- A2.1-Carte de situation des coupes de sondages électriques (TOGUYENI, 1986).
- A2.2-Description du résistivimètre SYSCAL R1.
- A2.3-Abaques utilisées (a,b,c) A2.4-Coupes de sondages électriques dans le Ferlo (TOGUYENI, 1986)
- a) coupe 1 et 2; b) coupes 3
 - A2.5-a) Feuille de terrain de la lère mission
 - A2.5-b) Feuille de terrain de la 2ème mission



A2-1 : LOCALISATION DES SONDAGES DANS LA VALLEE DU FERLO (TOGUYENI, 1986)

DESCRIPTION

Le Syscal R1 est contenu dans un boitier antichoc étanche au ruisellement. Le boitier comprend outre le couvercle supérieur, la partie centrale qui contient la face avant et la partie électronique, et la partie inférieure qui contient les piles d'alimentation.

La face avant comprend : un bouton Marche Arrêt (ON/OFF).

un clavier de fonctions (12 touches) permettent de choisir les paramètres nécessaires à la mesure, d'effectuer une nesure, de lire les résultats, de les stocker.

un clavier numérique (13 touches) permettent d'introduire des données (n° de station, longueur de lignes ...).

un afficheur alphanumérique de deux lignes, pour l'affichage des questions du menu, et des résultats.

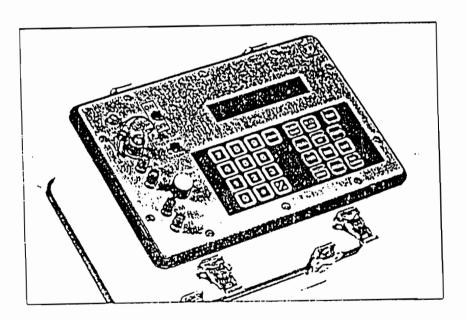
quatre bornes pour la connection des électrodes (A et B : électrode d'émission de courant ; M et N : électrodes de réception).

un condutateur de tension de sortie à quatre positions (10-30 V, 55 V, 110 V, 220 V).

une sélection de source Interne Externe

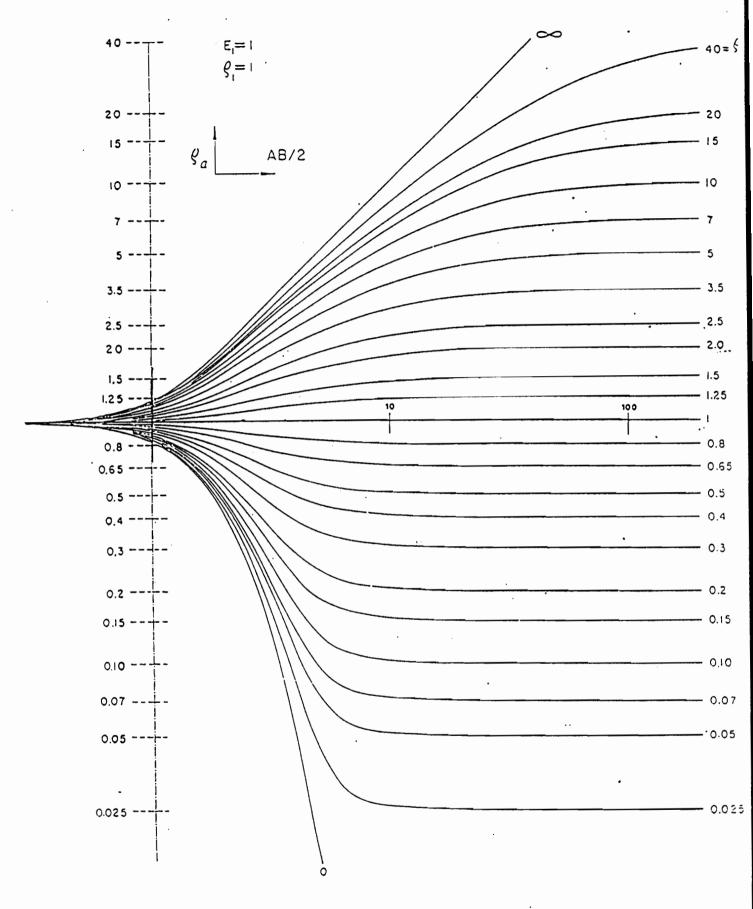
deux bornes pour la connection d'une source externe (10-30 V).

une prise pour la liaison série (transfert de données).



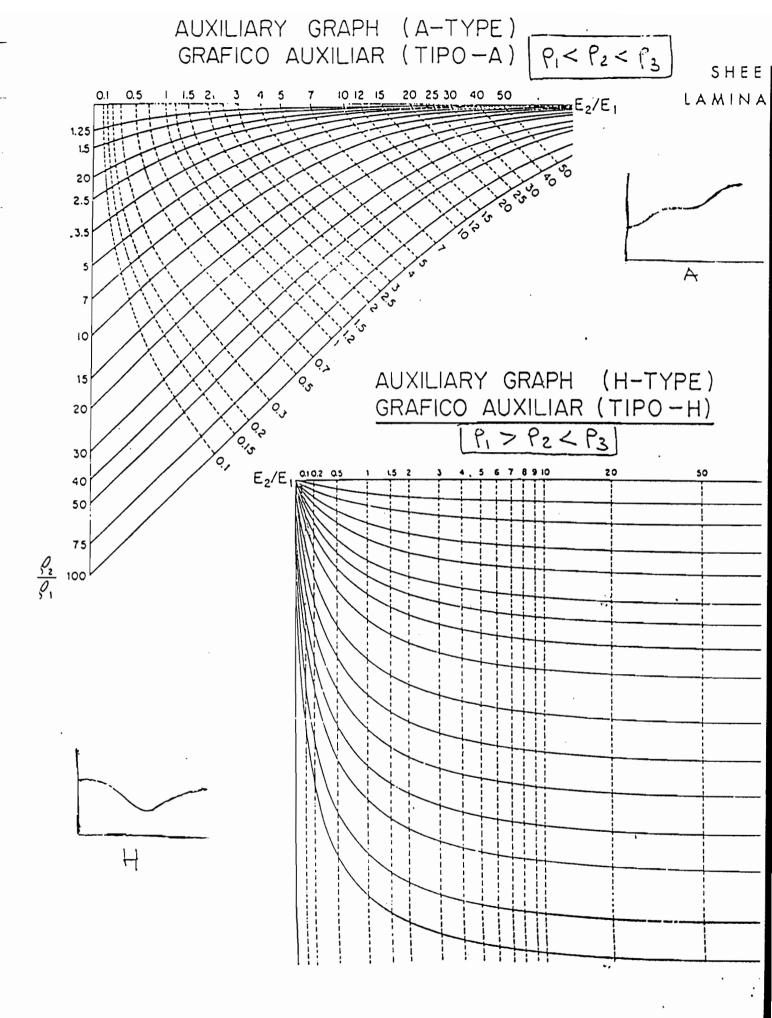
A2-2 SYSCAL R1

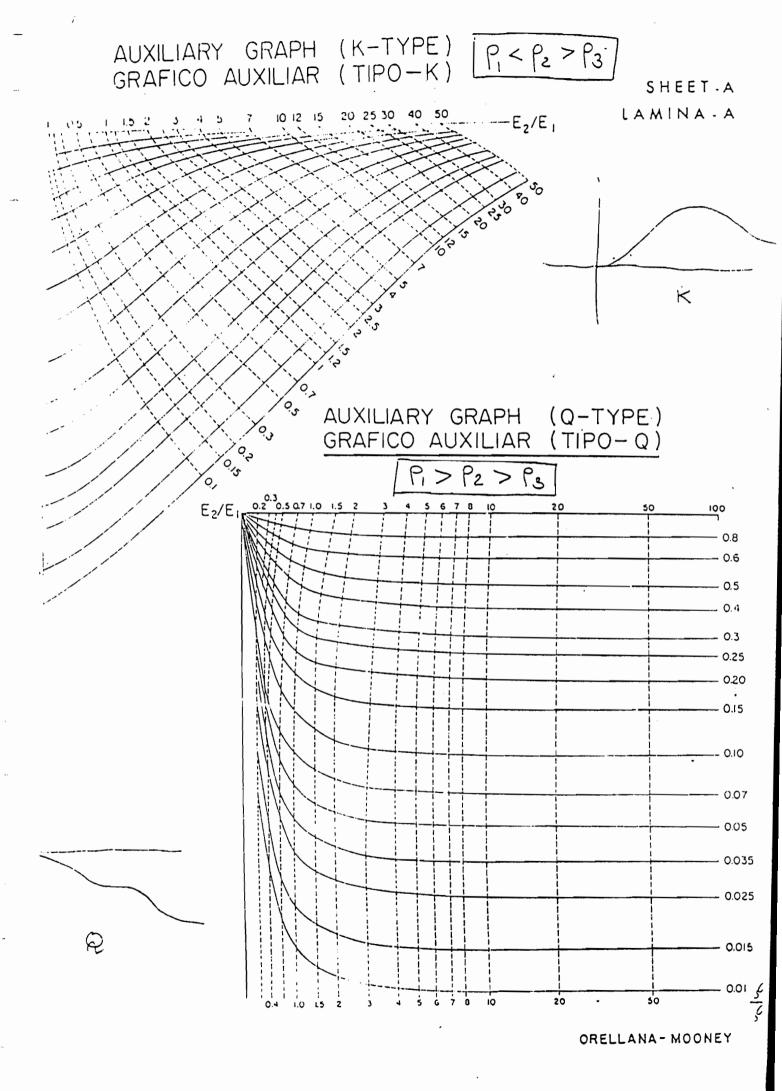
Résistivimètre pour le Génie Civil et l'Hydrogéologie



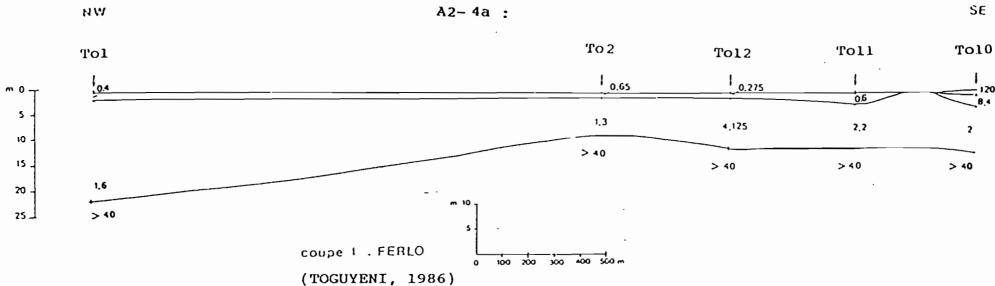
ORELLANA—MOONEY
MASTER CURVES FOR V.E.S.
CURVAS PATRON PARA SEM.

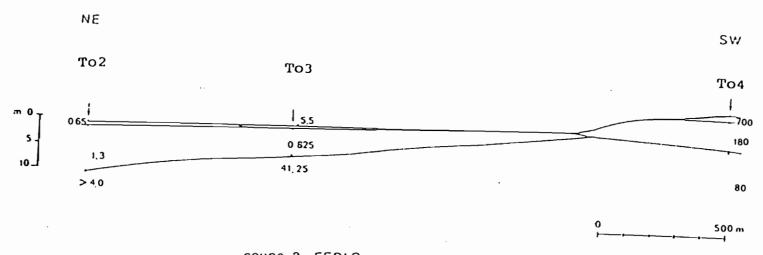
TWO - LAYER CURVES - CURVAS DE DOS CAPAS



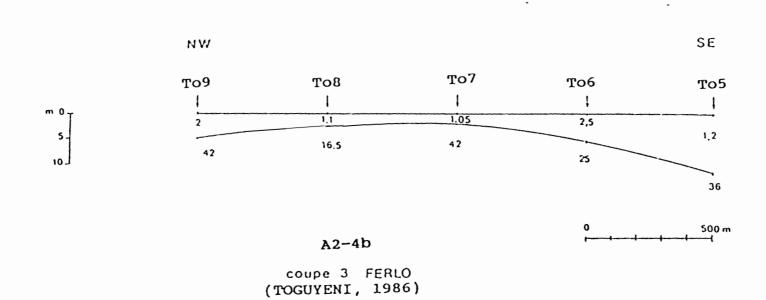








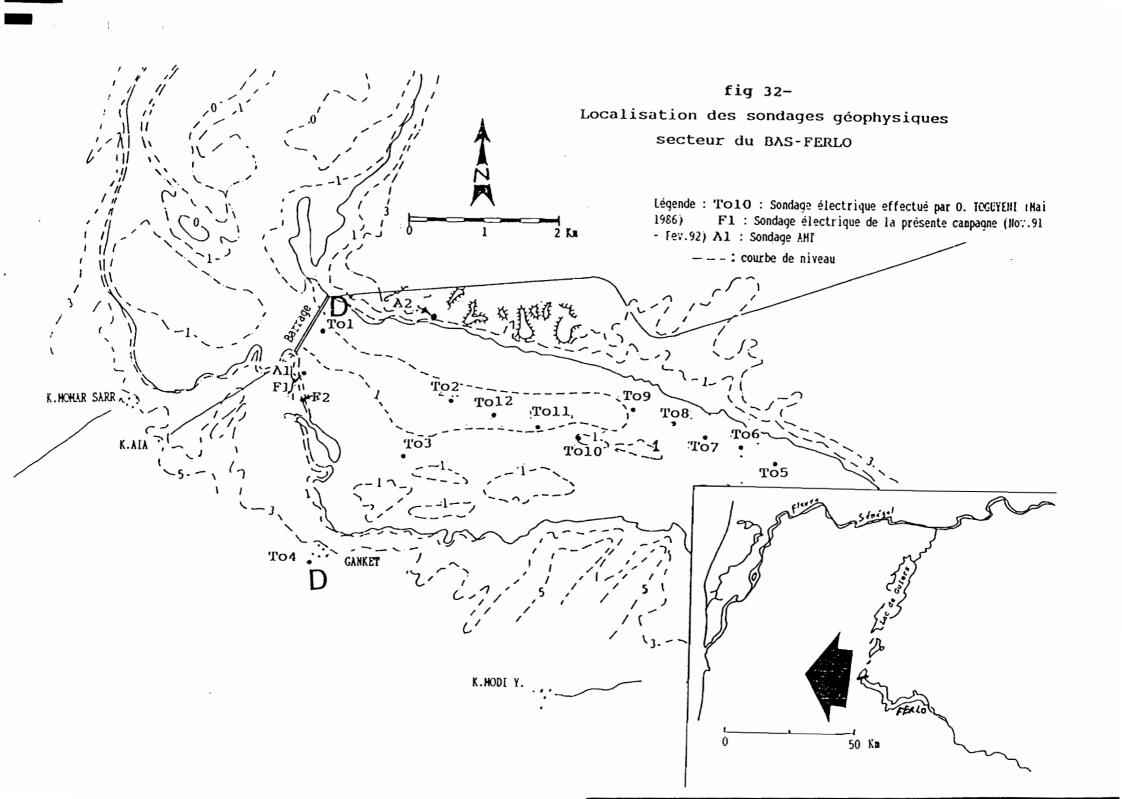
coupe 2. FERLO (TOGUYENI, 1986)



SONDAGE ELECTRIQUE/Schlumberger
Mission I SE N° Coordonnées Azimut Date

AB/2 (m)	MN/2 (m)	к	Color	Vm	Im	Ps	Résistivité
1	0.2	7.575					
1.5	0.2	17.4	1R				
2	0.2	31.1	1R				
2 .	0.5	11.72					
3	0.5	27.5	1R				
4	0.5	49.5	1R				
5_	0.5	77.75	1R				
6	0.5	112.5	1R				
8	0.5	200	1R				
8	1	100					
10	1	155.5	1J				
10	0.5	314					
12	0.5	451	1R				
12	1	224					
15	1	358	1R				
20	1	628	1JV				
25	1	980	1R				
25	5	188					
32	5	318	1R				
32	1	1600					
40	5	495	2JV2R				
50	5	777.5	2R				
60	5	1125	1R				
80	5	2000	2JV				
80	20	478					
100	20	755	1J				
100	5	3140					
120	20	1132	1R				
150	20	1715	1JV				
200	20	3115	2JV				
200	40	1508					
250	40	2392	3JV				

SON	DAGE E	ELECT	RIQUE TYP	E SCHLUMB	ERGER - F	EUILLE DE	TERRAIN			
	SION	_				/		? :		
l	DAGE :				COORD :		ALT :		AZIMUT :	
С		AB/2	MN/2	К	V		Ps		RO	Observ
		m	m		mV	mA				
R		1	0.2	7.60						
R		1	0.5	2						
J		2	0.5							
J		2	1							
В		3	1							
В		3	0.5	27.5						
R		4	0.5	49.5						
R		4	1							
J		5	0.5	77.8						
J		5	1							
В		7	1							
В		7	0.5	153						
R		10	0.5	313						
R		10	1							
J		15	1							
J		15	0.5	706						
В		20	0.5	1256						
В		20	1							
R		25	1							
R		25	0.5	188						
J		30	5	275						
В		35	5	376						
В		35	1							
R	1 -	40	1							
R		40	5	495						
R		50	5	778						
R		50	1							
J		60	1							†
J		60	5	1123						
В		80	5	2002						
В		80	1							
1		110	5	3793						
1		110	10	1884						
J		130	10	2638						
J		130	5	5301						
В		160	5	8034						
В		160	10	4005						
R		185	10	5360						
2		210	10	6911						
J		260	10	10602						
J		260	25	4208						
3		310	25	5998						
3	3	310	10	15079						
J		360	25	8103						
4		410	25	10522						
4	1	410	50	5202						
В		485	25	5202						
В		485	50	6569						ļ
9	5	520	50	8092						



Tab. 8a : Résistivités en Ohm m aux différentes stations pour diverses fréquences(AMT)

Sondage	A	۲۱	A T	2		A Fl		A F2	A Richard	[oll
Orientation	EO	NS	EO	NS	EO	NS	EO	NS	EO	NS
Fréq.(Hz)										
1.2										
2									4.40E+02	
3.3								[
5 .	:								-	
8									2.50E+03	
10							961.00	1530.00	2.20E+03	
12.5									1.50E+03	
20	2.80E+04						120.50	134.50	6.50E+02	
33.3	2.00E+04		2.20E+03		7.20E+03	8.50E+03	5.80	53.00	4.40E+03	
55	2.00E+04		4.00E+04		4.80E+03	4.70E+03	16.20	19.00		
80	2.80E+03		3.60E+04		5.30E+03	3.00E+03	9.90	24.20		
100	9.70E+03		2.40E+04	, ,	6.00E+03	2.00E+04	6.20	28.30	3.00E+03	
125	1.30E+04		2.20E+04		7.00E+03	1.60E+04	8.90	14.60	5.60E+03	
200	1.30E+04		4.80E+04		7.30E+03	1.80E+04	7.60	20.50	2.10E+03	
333	1.70E+04		4.10E+04		1.10E+04	2.10E+04	20.60	28.00	6.80E+03	
500	1.85E+04		2.90E+04		2.20E+04	6.30E+04	173.00	62.70	2.30E+03	
800	1.70E+04		2.20E+04		4.90E+04	2.50E+04	32.00	37.60	3.60E+03	
1000	1.20E+04		9.00E+04				240.00	259.00	2.10E+03	
1250	1.00E+04		1.30E+04				1500.00	665.00	6.10E+03	
2000	5.90E+04		3.20E+03				461.00	188.00	5.00E+04	
3333	3.20E ± 03		3.60E+03				136.00	181.00	2.30E+04	
5000	2.00E+03		2.20E+03				131.00	190.00	1.50E+04	

Tab. 8b: Profondeurs d'investigation (en Km) selon les fréquences d'ondes (AMT)

Sondages	A '	<u> </u>	A '	Γ2	A	F1	A FZ		Rd To	Ü
Date	20/11	/1991	20/11	/1991	19/1	1/1991	19/1	1/1991	21/11	/1991
Orientation	EO	NS	EO	NS	EO	NS	EO	NS	EO	NS
Fréq.(Hertz)										
1.2										
2										
3.3										
5		!								
8									8.9	
10		!					4.9	6.2	7.5	
12.5									5.5	
20	18.82						1.2	1.3	2.8	
33.3	12.4		4.08		7.4	8.04	0.21	0.6	5.8	
55	9.7	!	13.6		4.7	4.65	0.27	0.3		
80	2.9		10.7		4.1	3.1	0.18	0.28		
100	4.95		7.8		3.9	7.24	0.13	0.27	2.76	
125	5.13		6.7		3.8	5.7	0.13	0.17	3.4	
200	4.06		7.8		3.04	4.77	0.09	0.16	1.63	
333	3.6		5.6		2.9	4	0.13	0.15	2.3	
500	3.06		3.8		3.3	5.64	0.29	0.18	1.08	
800	2.32		2.6		3.9	2.8	0.1	0.11	1.07	
1000	1.7		4.8				0.25	0.26	0.73	- 2 -
1250	1.4	i	1.6				0.55	0.37	1.1	
2000	0.86		0.64				0.24	0.15	2.5	
3333	0.49	i	0.52				0.1	0.12	1.3	
5000	0.32	!	0.33				0.08	0.09	0.87	

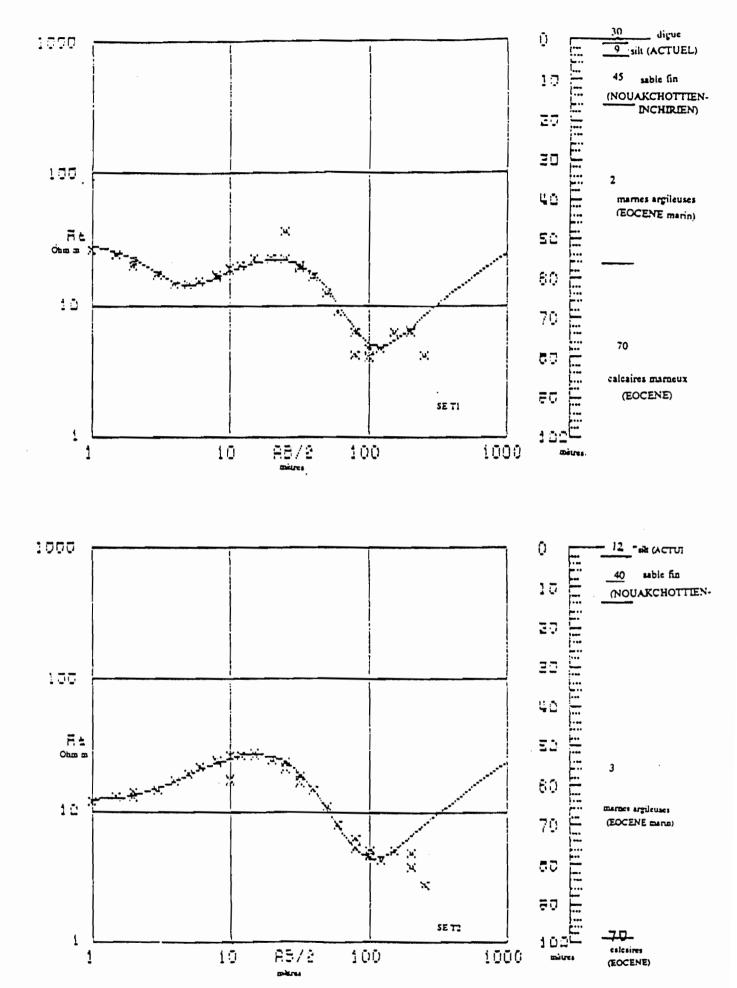


fig. 33- Courbes de sondages électriques T1 et T2 dans le secteur Nord-Guiers ; interprétation lithologique des modèles de sondages électriques

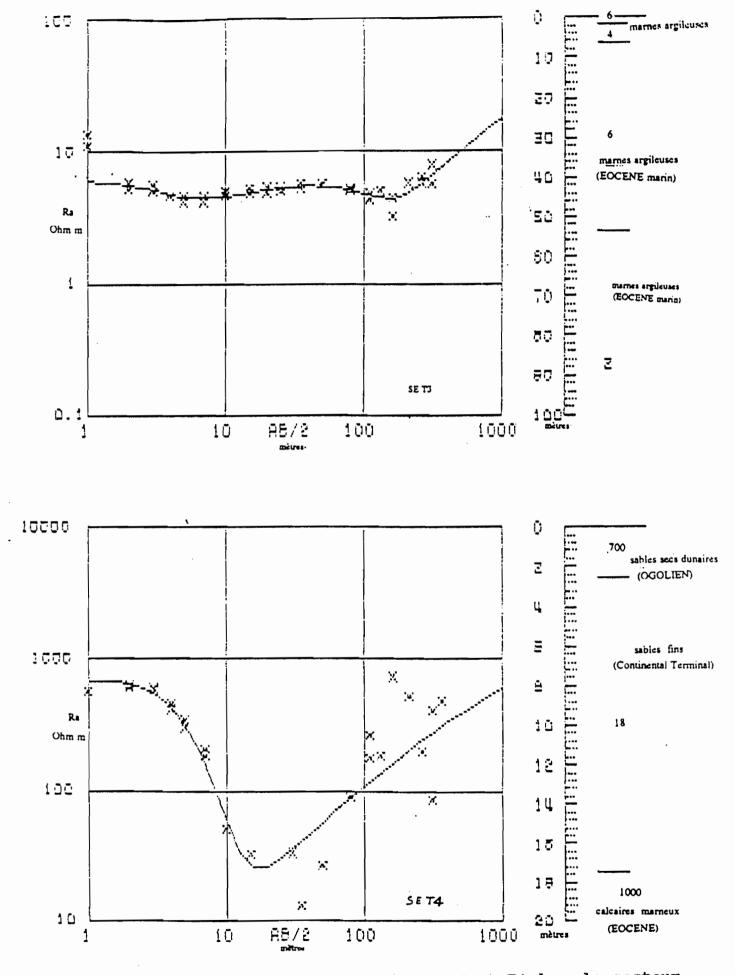


fig. 34- Courbes de sondages électriques T3 et T4 dans le secteur Nord-Guiers ; interprétation lithologique des modèles de sondages électriques

à la suite, se trouve une couche de 18 Ohm m (15 m d'épaisseur) qui correspondrait à des sables aquifères du Continental Terminal;

la dernière couche plus résistante (1000 Ohm m) représenterait le substratum formé de calcaires paléocènes dont le toit est à 18 m environ sous le sol.

Discussion:

Excepté le sondage SE T4, la corrélation entre la courbe expérimentale et la courbe modélisée est bonne. Cependant, les courbes des sondages SE T1 et SE T2 montrent une dispersion des points expérimentaux pour les grandes longueurs de lignes AB; la tendance à la décroissance de ces points laisse penser à l'effet de la pollution saline des calcaires..

la courbe du sondage SE T3 commence avec des résistivités plus basses que celles du début des courbes deux premiers sondages : la première couche de terrain en SE T3 correspond à l'avant dernière couche des sondages SE T1 et SE T2.

4-1.1-2 SECTEUR DU MEANDRE DE DAGANA

Deux sondages ont été effectués à l'intérieur du méandre (SE D1 et SE D2) et deux autres (SE D3 et SE D4) dans le Diéri à l'Est des habitations de Madina Chérif, comme l'indique la figure 18b. Les modèles de sondages suivants ont été retenus pour des lithologies correspondantes ci-après (fig. 35 et fig. 36):

*SE D1

La première couche de 4 Ohm m d'argiles et de silts argileux de la cuvette de Dagana, repose sur 3,2 m silts affectés par la langue saline -Nouakchottien- (0,5 Ohm m; 3,2 mètres) et des silts argileux (Inchirien) identiques à la première couche ci-dessus décrite, avec une résistivité de 4 Ohm m.

*SE D2

Ce sondage effectué à la suite du précédent et suivant la même direction, montre une identité entre les couches de terrains observés (tab. 5, fig.35) mais il apparaît 15 mètres d'un horizon résistant (sables lessivés : 40 Ohm m, 15 mètres) au dessus de la deuxième couche d'argiles silteuses (4 Ohm m).

*SE D3

La couche superficielle (1 m) de sables secs dunaires du Diéri a une résistivité de 600 Ohm m; le Continental Terminal sableux a une résistivité de 35 Ohm m pour une épaisseur de 9 mètres; enfin une couche de marnes calcaires (600 Ohm m) termine le sondage.

*SE D4

La couche superficielle est formée de sables dunaires (80 Ohm m; 0,6 mètre) auquel succède 12 mètres de sables du Continental terminal (12 Ohm m) qui sont imbibés d'eau douce (1 à 0,1 g/l NaCl dans les puits GB848 et GB117; nous ne retrouvons plus la partie supérieure de l'Eocène observé plus haut, mais il s'agit de calcaires massifs de résistivité estimée à 1500 Ohm m.

N.B.: Les abaques et le logiciel de modélisation utilisé ne pouvant donner une courbe théorique qui se superpose parfaitement à la dernière branche de pente supérieure à 45°, la résistivité de la dernière couche (1500 ohm m) n'est que indicative.

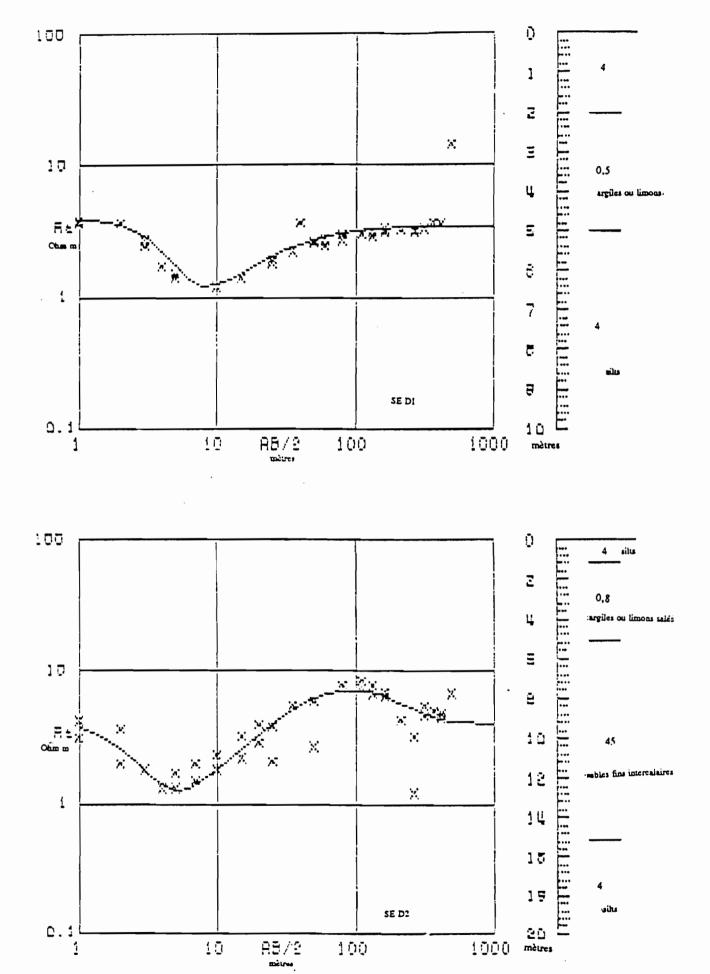


fig 35- Courbes de sondages électriques D1 et D2 dans le secteur de Dagana (Ouallo) ; interprétation lithologique des modèles de sondages électriques

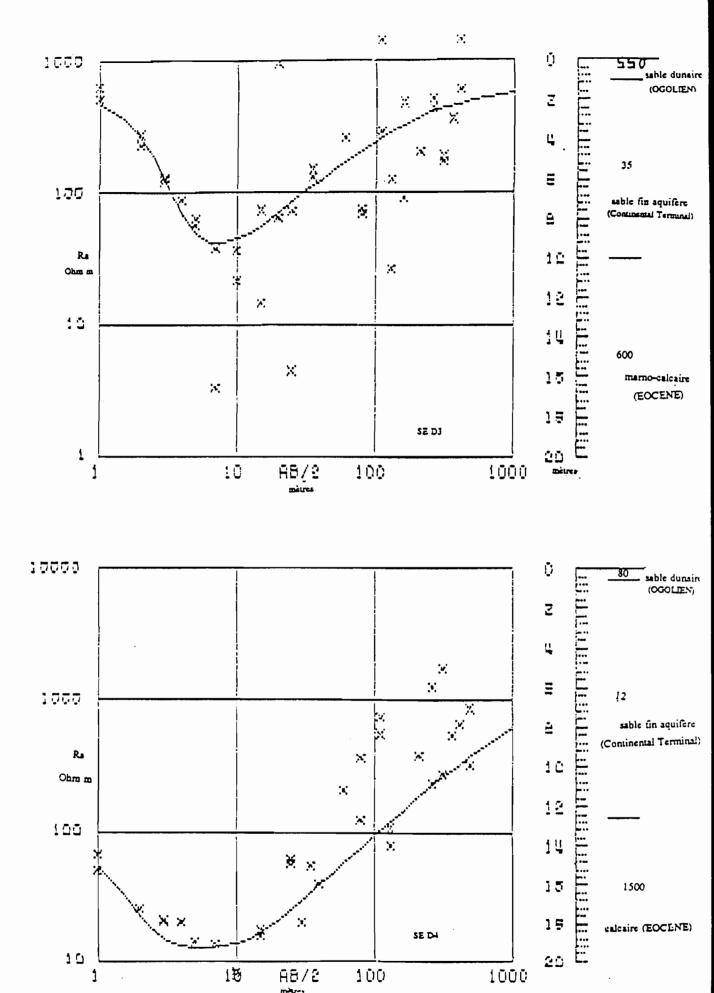


fig 36- Courbes de sondages électriques D3 et D4 dans le secteur de Dagana (Diéri) ; interprétation lithologique des modèles de sondages électriques

Discussion:

La distribution des points expérimentaux des sondages SE D1 et SE D2 permet de voir compte clairement les points correspondant aux faibles valeurs de MN quand AB reste constant et ceux relatifs aux plus grandes valeurs de MN (au dessus).

Du fait que les couches du Ouallo de ce secteur sont conductrices, la profondeur d'investigation est reduite. Le substratum n'est donc pas atteint.

La forte dispersion des points expérimentaux observée en SE D3 et SE D4 traduirait la proximité d'un accident (voir paragraphe suivant).

Par ailleurs, les gammes de résistivités dans le Ouallo -10 Ohm m-sont nettement en dessous de celles dans le Diéri -100 Ohm m (fig. 35 et 36).

4.-1.1-3 Secteur de la Cuvette de K.Momar Sarr (FERLO)-fig. 37

*SE F1

On distingue:

-des vases et argiles (4 Ohm m) de la vallée du Haut-Ferlo (TOGUYENI, 1986) qui forment un horizon de 0,3 mètre ;

-un horizon de 30 Ohm m (2 mètres) représentant les sables rouges ogoliens imbibés d'eau salée ;

-une couche de 20 mètres de sables argileux salifères nouakchottiens (1,2 Ohm m);

-des sables argileux intercalaires et épais (6 Ohm m, 50 mètres) du Tchadien ;

-enfin, une couche résistante (90 Ohm m) qui correspondrait au substratum sur lequel se sont déposés ces alluvions ; il s'agirait des calcaires marneux qui apparaissent à 72 mètres de la surface du sol.

*SE F2

Ce sondage électrique est centré à 300 mètres au Sud du précedent et garde la même direction de ligne Est-Ouest.

La courbe expérimentale obtenue montre une grande dispersion de points ; néanmoins, le modèle retenu permet l'interprétation lithologique suivante :

-le niveau de sables ogoliens qui affleurent a une résistivité de 120 Ohm m avec une épaisseur de 2 m;

-une couche de sables argileux nouakchottiens définis dans le sondage précédent (2 Ohm m, 48 m);

-une couche résistante (90 Ohm m) de base qui correspondrait au substratum de calcaires marneux (Eocène) dont le toit est à 50 mètres de la surface du sol.

Discussion:

Nous avons tenu compte des points expérimentaux isolés aux grandes longueurs AB pour SE F1, ce qui nous a permis de mettre en évidence un substratum résistant.

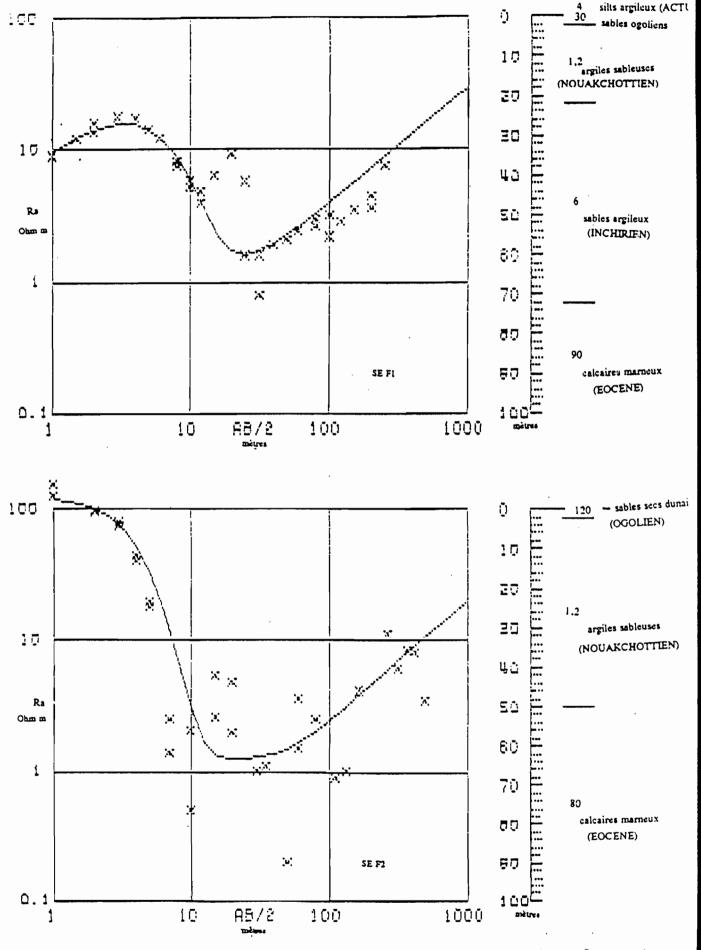


fig 37- Courbes de sondages électriques F1 et F2 dans le secteur du Ferlo (Cuvette de Keur Momar Sarr) ; interprétation lithologique des modèles de sondages électriques

4-1.2 LES COUPES DE SONDAGES ELECTRIQUES

Dans ce paragraphe, nous nous efforcerons à lier la géophysique avec l'hydrogéologie locale, l'hydrochimie (mesure physicochimiques dans des piézomètres et les analyses d'eau); des coupes de sondages électriques nous permettrons de corréler les niveaux repères du toit du substratum des aquifères alluviaux.

4-1.2-1 SECTEUR NORD-GUIERS

La figure 30 montre une coïncidence parfaite entre la base géologique des niveaux fluvio-lacustres (Actuel, Post-Nouakchottien) et la limite de la couche de 9 à 12 Ohm m (SE T1 et SE T2).

Les marnes argileuses de l'Eocène marin (Eocène Supérieur) affleurent dans ce secteur (3 à 6 Ohm m); ce résultat confirme les connaissances déjà acquises dans la zone. En effet, des calcaires et marnes sub-affleurants ont été signalés sur la rive Est du lac de Guiers (fig. 18) par les travaux antérieurs (AUDIBERT, 1970; MICHEL, 1973).

Le toit du substratum de calcaires fracturés est répérable dans tous nos sondages géophysiques du secteur Nord-Guiers (fig. 39) avec une pente moyenne très faible (3 vers le NE). En effet, le toit du substratum est à une profondeur de 56 mètres au SE T1, à 123 mètres au SE T3, mais ce toit est à 20 mètres en moyenne dans le Diéri (SE T4 et GA194).

Ainsi, nous mettons en évidence une faille entre les sondages T3 et T4. Cette faille subverticale de direction NNE-SSO est traversée par le sondage SE T4 suivant le chemin menant à Richard-Toll; elle figure sur l'esquisse géologique (fig. 18).

4-1.2-2 SECTEUR DU MEANDRE DE DAGANA

La figure 40 montre bien le phénomène d'hétérogénéité latérale des faciès par l'existence dans une lentille salée (0,5 à 4 Ohm m), d'un horizon plus lessivé donc plus résistant (45 Ohm m): ce sont des sables fins à eau moins salée, dont la qualité hydrodynamique serait intéressante.

Une faille dont le rejet atteint 100 mètres affecte le toit du substratum des alluvions dans le Diéri (fig. 41). Si nous nous reférons à la carte tectonique photo-interprétative (LE PRIOL, 1985), cette faille a une direction subméridienne (car elle n'est pas recoupée par la coupe des sondages SE D1 et SE D2, fig. 31) et correspondrait à la "faille de Dagana".

4-1.2-3 SECTEUR DU BAS-FERLO (CUVETTE DE KEUR MOMAR SARR)

Les anciens sondages de TOGUYENI ont montré une extension de la langue saline dans l'axe du lit asséché du Ferlo jusqu'au sondage électrique To12. Notre campagne géophysique dans la vallée morte du Ferlo a montré que la zone saline s'étend plus au Sud de la ligne (F1 et F2) ci-dessus mise en évidence.

La coupe des sondages électriques To4-F2-F1-To1 (fig. 42a et 42b) montre une couche intercalaire de sables argileux (SE F2) pouvant constituer un chenal de plus grande qualité hydrodynamique. Les horizons salifères témoignent le golfe marin dans la région lors de la transgression nouakchottienne.

Tout comme dans le méandre de Dagana, les formations alluviales sont hétérogènes en témoigne le niveau intercalaire de 6 Ohm m apparaissant dans un ensemble salé comme l'illustre la figure 42b (les échelles verticale et horizontale sont identiques).

En joignant les niveaux repères du toit des calcaires marneux donnés par les différents sondages électriques, nous mettons en évidence la vallée fossile du ferlo. Cette vallée fossile a

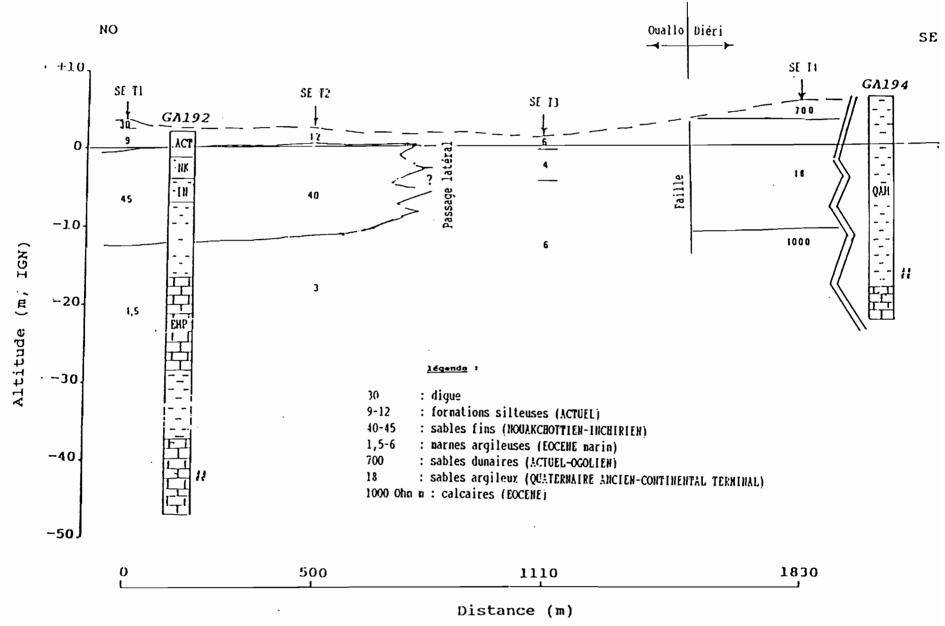


fig 38- Coupe λλ' des 4 premières couches dans le secteur Nord-Guiers : contacts anormaux (passage latéral de faciès entre SE T2 et SE T3 ; faille à la limite Ouallo/Diéri)

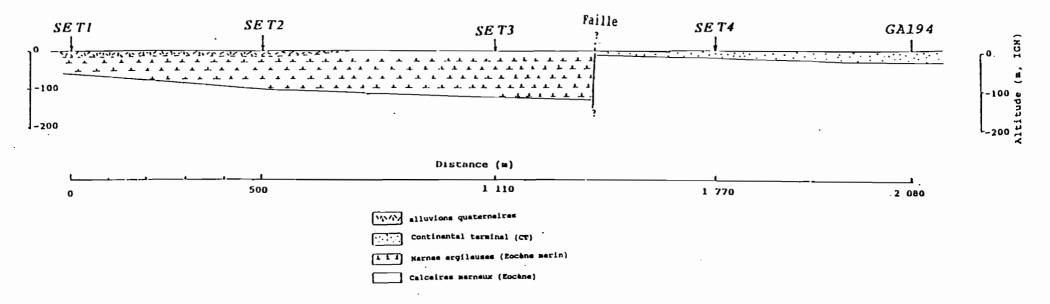
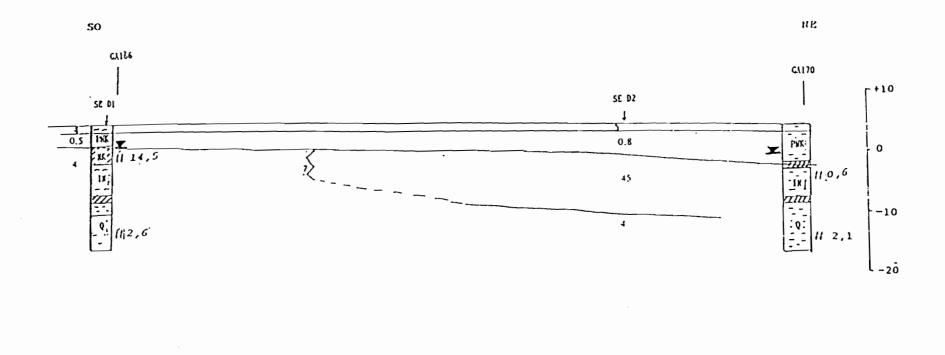
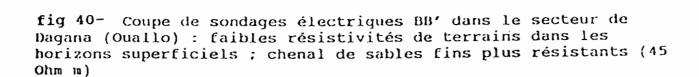


fig. 39- Coupe de sondages électriques AA' dans le secteur Nord-Guiers montrant les limites des alluvions quaternaires et le substratum de marnes et calcaires marneux éocènes ; substratum affecté par une faille verticale.



820 m



Distance (m)

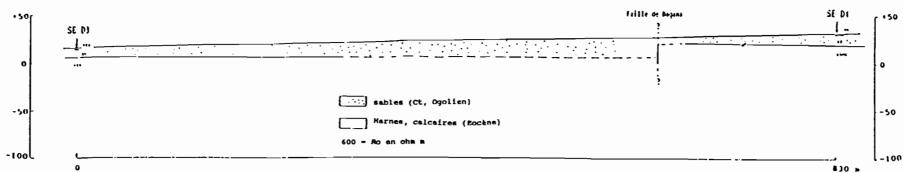


fig 41- Coupe de sondages électrique CC' dans le secteur de Dagana (Diéri) : faille de Dagana

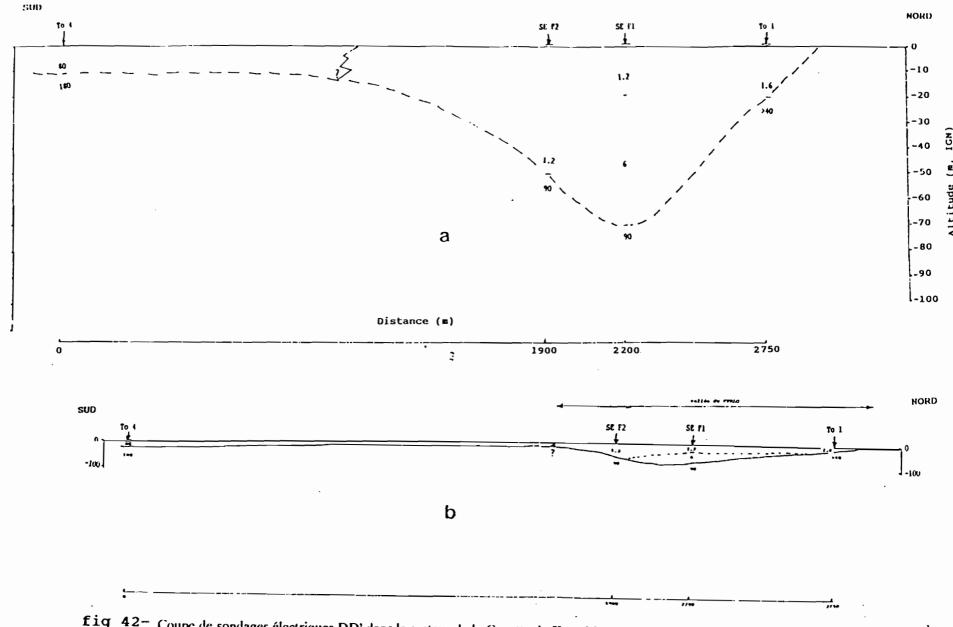


fig 42- Coupe de sondages électriques DD' dans le secteur de la Cuvette de Keur Momar Sarr : vallée fossile du Ferlo creusée dans les calcaires marneux (80 à 90 Ohm m) ; remplissage alluvial salé avec un chenal argilo-sableux à la base (6 Ohm m)

été creusée dans les calcaires marneux sur une profondeur maximale d'environ 80 m et a été comblée par des alluvions (sables argileux, argiles sableuses, argiles, vases). Le manque de coupes de sondages électriques parallèles à la coupe DD' ne nous a pas permis de localiser la direction d'allongement (vers l'est) de l'axe de cette paléo-vallée.

CONCLUSION:

Les sondages électriques effectués rendent compte de plusieurs faits géologiques et hydrogéologiques dans les secteurs d'études.

Les variations latérales de faciès qui caractérisent bien les dépôts alluvionnaires de façon générale ont été mis en évidence dans les trois secteurs; de plus une forte variation verticale de faciès est révelée par l'Electrique, ce qui n'a permis de détecter le niveau hydrostatique.

Dans le secteur de Dagana, les sondages géophysiques (SE D1 et SE D2) montrent une hétérogénéité et verticale des alluvions fluviatiles et leur structure lenticulaires. Cela est lié à une sédimentation chaotique typique des méandres (érosion sur la partie concave et dépôt sur la partie convexe). Les nappes ne sont interdépendantes qu'à grande échelle du fait des niveaux imperméables argileux discontinus. La lithologie et par conséquent la salinisation primaire (cas de couches nouakchottiennes et zones captives hypersalées) est fortement déterminante de la résistivité de terrains.

Dans la cuvette de Keur Momar Sarr, les minéralisations sont fortes surtout pendant l'étiage (présence de cristaux de sel). Les vases argileuses salifères de ce secteur montrent que les infiltrations sont reduites voire nulles (localement) d'où la concentration superficielle du sel allant jusqu'à la cristallisation par suite de l'évaporation.

Les failles verticales des secteurs d'études montrent l'importance de la tectonique postéocène dans cette partie du bassin (anticlinal faillé de Guiers). Ces failles auraient fonctionné depuis le Pliocène notamment pendant la transgression Aouïjienne au moment du changement du cours du Fleuve Sénégal du Nord vers l'Est (AUDIBERT, 1970).

La continuité hydraulique entre les aquifères du secteur Nord-Guiers se traduit par des conductivités des nappes qui sont presque identiques à une période donnée. Cependant, les résistivités des aquifères respectifs qui tient compte de sa nature lithologique sont nettement plus représentatives de l'origine marine des formations aquifères.

Le principal salant est le NaCl selon les résultats de BONKEL (1989). Cette salinisation est omniprésente dans les secteurs d'étude malgré la mise en service du barrage anti-sel de Diama. Il s'agit d'une salinisation primaire liée aux transgressions marines successives qui ont eu lieu dans la vallée. Ces eaux salées sont refoulées saisonnièrement par les eaux du fleuve et les eaux d'inondation mais pas suffisamment pour en enrayer les trâces.

4-1.3 RESISTIVITE DES EAUX ET RESISTIVITE DES TERRAINS

La résistivité de l'eau interstitielle (inverse de la conductivité des eaux) et celle de l'ensemble de l'aquifère sont liées entre elles par la relation illustrée par la courbe de la figure 43 : si la résistivité de terrain est faible, il y a une relation linéaire entre les deux ; si la résistivité du fluide interstitiel est élevée, celle-ci influence la résistivité du terrain.

D'après nos résultats géophysiques, nous pouvons tirer les relations suivantes entre résistivités de l'eau interstitielle et celles des terrains (Tab. 9):

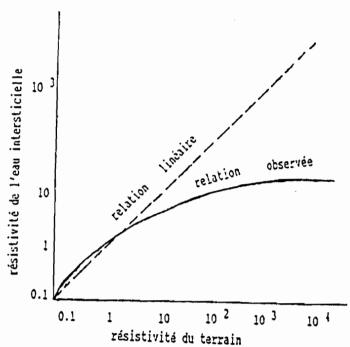


fig. 32- Résistivité des fluides intersticiels et résistivité du terrain (4º 1914 11/112) « FILEMENT, 1944)

Tab. 9 Résistivités des terrains (géophysique) et résistivités des eaux

Ouvrage	Rés Eaux Ohm m	Rés Terrain Ohm m			
GA 165	0.47	4			
GA 166	2.33	4			
GA 170	2.62	4			
GA 192	9.63	1.5			
GB 867	28.09	12			
GA 194	11.20	18			
GB 117	9.89	35			
GA 169	9.05	40			
GA 189	9.24	45			
GA 191	10.45	45			
GA 264	10.11	45			
GB 852	55.56	550			

Il n'y a pas de corrélation possible entre les deux paramètres. Toutefois, en fonction de la lithologie et de la phase sédimentaire de la formation, la résistivité du terrain peut être estimée. Ainsi, les couches sableuses du Nouakchottien et de l'Inchirien ont des résistivités de 40 à 45 Ohm m; les silts et argiles donnent des résistivités de 1,5 à 4; les vases argileuses salifères du Nouakchottien de 0,5 à 2 Ohm m. Les dunes sableuses ont des fortes résistivités (550 à 700 Ohm m). La conductivité de l'eau est élévée dans les zones en charge (faibles résistivités - au GA165).

La résistivité des terrains (inverse de la conductivité des terrains) est non seulement liée à la lithologie, mais également à la chimie des fluides qui l'imbibent.

4-2 INTERPRETATION DES SONDAGES AMT

Le résistivimètre d'enregistrement AMT de marque SAGAX, Montréal-Canada fonctionnant sur une gamme de fréquence de 1 à 5000 Hertz a donné les résultats consignés sur le tableau 8a :

La comparaison entre les valeurs de résistivité pour les deux directions EO et NS montre des différences notables (A F2 à 300 mètres environ à l'Ouest de A F1 montre des discordances de résistivités entre les deux directions à partir de 5 000 mètres de profondeur) ; cela dénote des anomalies de structures géologiques (contacts anormaux) dans ces deux directions.

Compte tenu des ordres de grandeur très différents entre les résistivités de terrains voisins, la fiabilité des mesures données par le résistivimètres reste posée. De plus, les profondeurs d'investigations très élevées (plusieurs milliers de mètres) -tab. 8b-; elles ne seraient applicables que pour les nappes profondes (le Maastrichtien est à une profondeur de 10 à 80 mètres dans les secteurs d'études). Les résultats de l'Electrique ne peuvent ainsi être corrélés avec ceux de l'AMT dont les plus faibles profondeurs (c'est-à-dire celles correspondant à la fréquence 5000 Hertz) ne sont atteintes par l'Electrique.

CHAP. 5 - AVANTAGES ET LIMITES DES METHODES GEOPHYSIOUES UTILISEES

5-1 METHODE ELECTRIQUE

La méthode de sondages électriques verticaux de type Schlumberger est bien adapté pour l'étude des aquifères alluviaux de la vallée et pour l'étude des structures de son substratum. Les longueurs de ligne AB/2 portées de 250 à 520 mètres ont permis d'atteindre des profondeurs plus élevées. Les terrains des secteurs d'études ont une bonne conductivité électrique sauf sur les dunes et sur les sables secs du Continental Terminal (Diéri) où nous avons eu recours fréquemment à la masse pour enfoncer davantage les électrodes d'injection.

Le marquage préalable des longueurs AB/2 sur la bobine que nous avons effectué avons la deuxième mission sur le terrain a accéléré (on ne se sert plus du décamètre pour positionner les électrodes AB/2) le rythme des manipulations. Ainsi, pour chaque station de mesure de résistivités nous avons mis un temps moyen de 1 Heure 30mn pour une ligne de 485m (38 mesures en moyenne).

Deux types de feuilles de terrains ont été utilisés (A2-5a et b): la première pour AB/2 = 250 mètres maximum comprend 36 mesures pour chaque station; la seconde est conçue pour AB/2 = 520 mètres maximum comprend au total 44 mesures pour différentes longueurs de MN/2. Dans ce dernier cas, les petites valeurs de MN/2 permettent d'avoir des courbes précises mais elles présentent l'inconvénient de ne pas être proportionnelles aux grandes longueurs de AB/2; ce qui donne des faibles potentiels (V) et par là des valeurs abbhérentes de résistivités apparentes. Nous avons été amenés à

supprimer quelques valeurs de terrains pendant le dépouillement des sondages électriques.

Les couches de faibles épaisseurs ainsi que les petites lentilles d'eau douce n'ont pu être mises en évidence selon le principe d'équivalence. Les sondages électriques effectués par ILLY (1973) ont eu ces mêmes limites de précisions.

La grande variation latérale des faciès lithologique n'a permis une mise en évidence des niveaux hydrostatiques qui sont biaisées.

5-2 METHODE AMT

L'efficacité de cette méthode dans la cartographie des lentilles d'eau salée, des lentilles d'eaux douces piégées et dans la détermination des structures de l'aquifère ets attestée par de multiples applications à travers le monde : STEWART, 1982 ; BALLESTRACCI et al, 1985 ; REYNOLDS, 1987 ; BERNADI et al, 1988 ; VAN OVERMEEREN, 1989).

Cependant, le choix judicieux des fréquences d'ondes est important pour atteindre les buts recherchés. Plus la fréquence d'ondes est élevée, plus la profondeur d'investigation est faible; aussi, des appareillages émettant des fréquences de 10 à 30 KHz (BUSH et DUPUIS, 1991) pourraient nous renseigner davantage sur la lithologie, la géologie et l'hydrogéologie des nappes alluviales.

Par ailleurs, le résistivimètre AMT utilisé (SAGAX, Montréal-Canada) est tributaire, pour son bon fonctionnement, de l'agitation magnétique du soleil ; le champ magnétique est souvent très faible et les résistivités lues ne sont pas significatives ; la connaissance préalable des périodes de forte agitation magnétique solaire est difficile car il s'agit d'une grandeur variable dans le temps : c'est une limite au niveau de la méthode AMT elle-même.

CONCLUSIONS GENERALES

Les sondages électriques réalisés dans le cadre de ce mémoire montrent diverses formations alluviales dans la Basse vallée du Sénégal :

-des silts (Actuel): 9 à 12 Ohm m,

-des argiles, vases et argiles sableuses (0,5 à 6 Ohm m),

-sables fins nouakchottiens et inchiriens (40 à 45 Ohm m).

L'épaisseur de ces assises est variable (12 à 80 m) selon les zones et selon l'importance de failles post-éocènes à proximité. Ainsi, une puissante série alluvionnaire dont la base n'est pas connue, occupe l'intérieur du méandre de Dagana

Le substratum de ces alluvions, lorsqu'il est atteint (secteurs Nord-Guiers et du Haut-Ferlo) est formé:

-de marnes argileuses (1,5 à 6 Ohm m),

-de calcaires marneux éocènes fracturés (70 à 90 Ohm m) avec la possibilité de développement de karsts dans cette zone orientale du lac de Guiers comme l'a signalé P.MICHEL (1973).

Les formations du Bassin sédimentaire sénégalais ont subi des fractures verticales comme les sondages électriques l'ont montré, confirmant ainsi les travaux antérieurs.

La méthode de prospection électrique a pu atteindre les résultats attendus sur l'étude des aquifères et des nappes quaternaires.

Les failles méridienne N170°E à N190°E décrites à Guiers-Nord, à Dagana et dans le Bas-Ferlo génèrent des structures en horst (Guiers, Thilogne-Boki Diavé). Cette tectonique se traduit par l'épaississement des alluvions quaternaires dans des dépressions tectoniques (Nord-Guiers, Dagana) avec les mêmes traits géomorphologiques. Par ailleurs ces failles décrivent les contours des lits des réseaux hydrographiques avoisinants : Tahouey, Sénégal au Nord et à l'Ouest de Dagana et notamment entre Semmé et Bogué (Matam).

Sur le plan hydrogéologique, l'Electrique a montré l'existence de nappes salées dans notre zone d'études d'où les faibles résistivités observées. Cette faible résistivité des terrains est prononcée dans le Ferlo qui a connu une évolution de mangroves et l'évaporation intense qui reduit l'extension du salant due aux inondations saisonnières, et aux pluies dans une oindre mesure. Les conductivités dans les nappes alluviales attestent bien cette forte minéralisation chlorurée sodique dans ce secteur.

La construction du barrage anti-sel de Diama a reduit la contamination saline secondaire des nappes alluviales et partant la pollution des nappes sous-jacentes qui sont en communication (secteurs du dôme de Guiers et de Matam). Les eaux d'infiltration du fleuve refoulent les langues salées résiduelles (salinisation primaire) surtout pendant la période de remontée des eaux du Sénégal. En saison sèche, les eaux deviennent plus chargées avec des résistivités de terrains plus faibles.

Le barrage de Manantali sur le cours supérieur du Sénégal permet actuellement de réguler le débit du Sénégal. Ce qui reduit de manière significative les inondations saisonnières, d'où une diminution de l'alimentation des nappes superficielles et la recharge des nappes profondes.

Les profondeurs d'investigations données par l'AMT étant trop élevées pour ce type de nappes (alluvions quatenaires, nappes de l'Eocène/Paléocène et du Maastrichtien sub-affleurant), nous n'avons pu corréler ces résultats avec ceux de l'Electrique. La gamme de fréquences (1-5000 Hertz) de fonctionnement de l'appareil utilisé n'est pas adaptée pour l'étude hydrogéologique des aquifères de ce type. Un appareillage fonctionnant avec des fréquences de 12 à 30 kiloHertz (Radio-Magnéto-Tellurie) permettrait d'étudier les aquifères superficiels (Quaternaire ou anté-Quaternaire) de cette partie du bassin sédimentaire Sénégalais.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIOUES

- AUDIBERT M. 1962 Etude hydrogéologique de la nappe profonde du Sénégal : "nappe maestrichtienne".

 Mém. BRGM, 1962,N° 41.
- AUDIBERT M.-1970- : Delta du Fleuve Sénégal Etude hydrogéologique I Généralités ; II Géologie

 OERS/PNUD/FAO Projet AFR/REG 61 Juin 1970.
- ASTIER J.L. 1971 Géophysique appliquée à l'hydrogéologie. Masson et Cie, Paris - 1971
- BALLESTRACCI R., NOUGIER J.et BENDERITTER Y. 1985 Intermediate tectonic pattern and hydrodynamic process deduced from audiomagnetotelluric investigations on volcanic island of Mayotte.

 Tectonophysics, 115 (1985), 45:60.
- BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES: 1962 Notice explicative de la carte géologique du Sénégal échelle 1/500 000° 4 feuilles. Service des Mines et de la Géologie, BRGM, Dakar, 1962.
 - 1967a Notice explicative de la carte géologique de Dagana (1/200 000°). Service des Mines et de la Géologie. BRGM, Dakar, 1967.
 - 1967b Notice explicative de la carte géologique de Louga (1/200 000°). Service des Mines et de la Géologie BRGM, Dakar, 1967.
 - 1989 Réalisation d'une campagne de forages profonds avec contre-puits. Premier Programme d'Hydraulique Villageoise et Pastorale CEAO, 1989.
- BUSH D., DUPUIS A. 1991 Exemples d'application de la radioMT aux problèmes de drainage en terrains sédimentaires.

 Hydrogéologie, n 2, 1991.
- COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE (C.G.G.) 1956-1957 Reconnaissances hydrologiques et structurales par sondages électriques au Sénégal, en Mauritanie et en Casamance.

 15 Nov. 1956-23 Juilet 1957
- DEGALLIER R.- 1956 Hydrogéologie de la feuille de Louga au 1/200 000° (Sénégal). Direction Fédérale des Mines et de la Géologie, 1956.
 - 1962 Possibilités de la nappe maastrichtienne du Sénégal. Mem. BRGM, Dakar, 1962
- DEPAGNE J., MOUSSU H. 1967 Notice explicative des cartes hydrogéologiques (1 500 000°) et Hydrochimique (1/1 000 000°) du Sénégal.

 Mém. BRGM, Dakar, 1967.
- DIAO S.M. 1992 Etude des aquifères alluviaux de la vallée du fleuve Sénégal (secteur Rosso-Dagana-Lac de Guiers).

 Mém. DEA, Fac. Sc., Dept. Géologie, UCAD Dakar.
- DIAGANA A. 1990 Etudes des paramètres hydrodynamiques des aquifères de la Basse vallée du Fleuve Sénégal entre Saint-Louis et Podor.

 Mem. DEA, Fac. SC., Dépt. Géologie, UCAD Dakar.

- DIOP M. 1984 Le Delta sous-lacustre du Guiers. Etude géomorphologique. Mém.de Maîtrise, Univ. Dakar, 94p.
- FAURE H., DEMOULIN D., HEBRARD L., NAHON D. 1970 Données sur la néotectonique de l'extrême Ouest de l'Afrique. Conf. on African Geol., Ibadan, Déc. 1970.
- GAC J.Y., CARN M., SAOS J.L. 1986 L'invasion marine dans la basse vallée du Fleuve Sénégal:

I- Période 1903 / 1980

II-Période 1980 / 1983

Rév. Hydrobiol. trop. 19(1 et 2) - 1986.

- GAUCHER G. et BURDIN S. 1974 Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés.

 Presses Universitaires de France, 1974.
- GOUZES R. 1968 Etude de la réalimentation et de la salinité de la nappe des "sables maastrichtiens" du Sénégal.

 Interprétation des mesures périodiques de niveau et des données nouvelles.

 Min. Dev. Ind. BRGM 69 DAK 12.
- ILLY P. 1973 Etude hydrogéologique du Nord-Est du fleuve Sénégal. Projet Hydroagricole du bassin du fleuve Sénégal; RAF 65/061, Juin 1973.
- INTERNATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE (ISTI) 1990 Rapport de synthèse hydrogéologique Delta du Fleuve Sénégal. Projet OMVS/USAID - Eaux souterraines Vol. II, 1990.
- KHATIB R., LY A., SOW E-H., SARR R. 1990 Rythmes sédimentaires liés aux variations eustatiques globales au Campanien et Maastrichtien du Sénégal. Révision stratigraphique de la série du Crétacé Terminal du Cap de naz. C.R. Acad. Sc. Paris, T. 311, Série II, p. 1089-1095.
- LALEYE J. 1965 Interprétation des fluctuations des nappes du Haut Delta du Fleuve Sénégal (Sénégal Mauritanie).

 M.A.S., 1965.
- LE PRIOL J. 1985 Synthèse hydrogéologique du Sénégal 1984-1985. Direction des Etudes hydrauliques N° 01/85/MH/DEH, Juin 1985.
- LOMPO M. 1987 Méthodes et étude de la fracturation et des films, exemple de la région du Cap-Vert (Sénégal).

 Mém. DEA, Fac. Sc. Dakar, Octobre 1987.
- LOYER J.Y. 1989 Les sols salés de la basse vallée du Fleuve Sénégal. Editions de l'ORSTOM, Coll. Etides et Thèses - Pais, 1989.
- MARTIN G. et MOUSSU H. 1975 Mise au point des connaissances hydrogéologiques du Sénégal.

 Mém. BRGM, Dakar, 1975.
- MICHEL P. -1973 Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie : Etude géomorphologique. Mém. ORSTOM, 3 t., 1973, n°s 62-63-64.
 - -1985 Séchéresse et transformation de la morphodynamique dans la vallée et le Delta du sénégal.

Rév. de Géomorph. Dyn. - CNRS XXXIV ° N°4 - 1985.

- MICHEL P. et ELOUARD P. 1960 Etude géologique et géomorphologique du bassin versant du Sénégal et ses affluents.

 Mém. BRGM Dakar 1960.
- MONTEILLET J. 1967 Contribution à l'étude géologique du lutétien de la région de Louga. Labor. Géol. Fac. Sc. Dakar, rapport n° 20, Juin 1967.
- PONSARD J.F. 1985 La marge du craton Ouest Africain du Sénégal à la Sierra Leone Interprétation géophysique de la chaîne panafricaine et des bassins du protérozoïque à l'actuel. Travaux des Lab. des Sc. de la Terre, St Jérôme MARSEILLE 1985, série B, n 25.
- PRAKESH O.V. and BISCHOFF J.H. 1989 Laboratory and field studies of the application of electromagnetic prospecting for groundwater on Marajo Island, Brazil. Geophysics, Vol. 54, N° 1, 1989, 23:30.
- PUYOO S. et STEENHOUDT M. 1990 Etude en vue de l'élaboration du Plan Directeur de l'Hydraulique Rurale du Sénégal.

 Rapport N 2, BRGM -1990.
- REYNOLDS J.M. 1987 The role of surface geophysics in the assessment of regional ground-water potential in Northen Nigeria.

 Geol. Soc. Engineering Geol. Spec. Public. N°4, 185:190.
- SAOS J.L. 1990 Etude du fonctionnement des nappes et relations eaux de surface/eaux souterraines.

 Programme CEE-ORSTOM n° TS2 0198-F (EBD), Rapport Scientifique Avril 1990.
- SAOS J.L; COGELS F.X CASTA L.; FABRE M.; FAURE H. et GAC J.Y.-(1981-1982) Etude préliminaire de deux sondages dans les sédiments holocènes du Lac de Guiers (SENEGAL).

 Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol., vol. XII, n°1, 1981-1982: 61-71
- STEWART T. M. 1982 Evaluation of electromagnetic methods for rapid mapping of salt-water interfaces in costal aquifers.

 Groundwater, Vol. 20, N°5, Sept.-Oct. 1982, 538:545.
- THIERRIN J. et MULLER I. 1988 La méthode VLF-résistivité multifréquence, un exemple d'exploration hydrogéologique dans un synclinal Crétacé à la Brevine (Jura Neuchatelois).

 Ann. Scient. Univ. Besançon, Mem. hors série N°6.
- TOGUYENI O.- 1986 Essai de prospection par sondages électriques appliquée à l'étude d'aquifères du Sénégal soumis à des invasions marines actuelles ou récentes (Ferlo, Tanma, Nianing).

 Mém. Ing. Géol. I.S.T., Univ. Dakar N°IST/0003 16 Juillet 1986.
- TRENOUS Y.J. 1968 Rapport de mission dans la région du lac de Guiers, la vallée du Ferlo, la zone Linguère-Dahra-Coki-Louga. Labor. Geol. Fac. Sc. Dakar, 1968.
- TRENOUS Y.J.et MICHEL P. 1971 Etude de la structure du dôme de Guiers (Sénégal Nord-Occidental).

 Bull. Soc. Géol. de France, XIII, 1971, n°s 1-2-, pp. 133-139.
- VAN OVERMEEREN R. A. 1989 Aquifer bounderies explored by geoelectrical measurements in the costal plain of Yemen: A case of equivalence.

 Geophysics Vol. 54, N 1, January 1989, 38:48.

ANNEXE I

- Al.1-Tableau des caractéristiques techniques et physicochimiques des ouvrages.
- Al.2-Log de carottage près de la digue de K. Homar Sarr Al.3-Comparaison entre niveau statique au GA201 et niveau du lac de Guiers (J.L. SAOS, 1990)
- Al.4a-Hesures de gradient de conductivités, 5/90
- Al.4b-Hesures de gradients de conductivités, 5/91
- Al.5-Variation de la conductivité en fonction de la profondeur (GA202) (J.L. SAOS, 1990)
- Al.6-Cartes d'iso-conductivités (Oct. et Juin 89).

A1.1 - Caractéristiques techniques et piézométriques des ouvrages

1	2	3	4	5	G	7	8	9	10	11	12	13
Ouvrage	Cote	Prof.	Prof.	Ns	lsop.	Litho.	Subs.	T	•	EC	Sel	Date
	IGN	m	éq. m	m		(åge)	(m)	°C		mS		
GUIERS			<u> </u>						1			1
GA 150	2.39	6.47	7.53		0.41	QAM		30	7.8	0.4	0.1	5/12/91
GA 151	2.33	11.39	30.63	4.26	-1.9	EMP	8	29	7.2	2.93	1.7	5/12/61
GA 152	2.36	11.01	43,3	4.23	-1.9	M	9	29	7.8	0.974	0.5	5/12/91
GA 153	2.45	5.9	6.34	1.85	0.6	QAM	_	28	8.1	0.498	0.2	5/12/91
GA 154	2.9	6.83	6.35	2.52	0.38	QAM	_	30	7.4	18.56	12.6	5/12/91
GA 155	2.87	20.18	20.63	4.83	-2	PNK/NK	6	30	8.1	2.16	1.2	5/12/91
GA 158	2.71	19.44	20.45	2.14	0.57	EMP	14	30	7.5	1.211	0.6	5/12/91
GA 159	2.6	5.96	6.94	2.28	0.32	QAM	_	29	7.8	0.552	0.2	5/12/91
GA 160	2.57	20.49	20.52	2.28	0.29	EMP	13	29	7.3	1.597	0.9	5/12/91
GA 189	2.13	5.35	6.8	1.46	0.67	IN	_	28	7.8	0.957	0.5	5/12/91
GA 191	2.04	19.49	18.79	1.38	0.66	EMP	18	30	7.9	1.082	0.6	5/12/91
GA 192	2.05	2.05	49.92	1.42	0.63	QAM	18	30	7.8	1.038	0.5	5/12/91
GA 194	7.93	25.08	25.75	9.83	-1.9	QAM	26	30	8.3	0.893	0.4	5/12/91
GA 198	7.27	49.67	49.48	6.48	0.79	EMP	15	31	7.5	3.91	2.4	28/11/91
GA 199	7.28	30.7	30.6	6.64	0.64	EMP	15	30	7.5	7.8	4.9	28/11/91
GA 200	6.31	11.58	11.56	6.65	-0.4	QAM		30	7.7	4.32	2.6	28/11/91
GA 201	5	26.52	26.45	4.81	0.19		21	31	6.9	31.7	22.5	28/11/91
GA 202	4.95	9.27	9.66		0.25			30	7.1	28.9	20.4	28/11/91
GA 203	3.98	48.61	51.03	4.15		EMP	25	28	7.1	61.3		28/11/91
GA 204	3.98	6.2	7.57	4.28		NK			6.8	68.1		28/11/91
DAGAN						Sejama/wasashaharan ar ar				Å.		
GA 166	4.75	9.54	9.68	4.11	0.64	QT	>>	29	7.8	4.29	2.6	5/12/91
GA 165	4.7	20.73	20.53	3.85	0.85	IN	>>	30	7.4	21.3	14.5	5/12/91
GA 169	3.93	9.14	9.43	4.02	-0.1	IN	>>	30	8	1.105	0.6	5/12/91
GA 170	3.93	19.07	20.54	4.55	-0.6	QT	>>	30	7.9	3.81	2.1	5/12/91
GA 180	5.11	6.43	7.51	6.28	-1.2	PNK/NK		28	7.3	0.477	0.2	5/12/91
GA 182	6.16	8.5	8.56	5.43	0.73	NK	>>	29	6.7	12.19	7.9	5/12/91
GA 186	5.67	8.55	8.54	6.58	-0.9	QT	>>	29	7.1	32.8	23.3	5/12/91
GA 188	5.84	29.25	29.8	6.62	-0.8	QT	>>	29	8	0.433	0.2	5/12/91
GA 163	2.91	5.58	5.58	2.24	0.67	NK	>>	30	8.3	0.384	0.1	5/12/91
GA 164	2.96	19.32	20.59	3.88	-0.9	IN	>>	30	8.4	0.478	0.2	5/12/91
GA 173	4.36	9.83	9.46	3.16	1.2	CT	>>	31	8.1	0.252	n/n	5/12/91
GA 176	4.45	8.63	9.5	4.01	0.44	CT	>>	29	7.5	0.23	n/π	5/12/91
GA 177	4.47	18.66	20.45	4.02	0.44	CT	>>	29	7.7	0.313	0.1	5/12/91
DAGAN	PIER	16:/:::	1	5-11-2-31-1	Lustra Sanda		THE PERSON		N. 2 4 1 11 1	VI S C POSCO	14 T	1137
GA 181	5.09	8.13	15.53	6.28	-1.2	CT	14		7.4	1.135	0.6	5/12/91
GA 210	3.92	25.22	25.42	4.5	-0.6	M	2	28	7.9	0.73	0.3	5/12/91
GA 211	3.98	8.49	8.5	4.56	-0.6	M		30	7.8	1.6	0.9	5/12/91
GA 212	4.79	49.15	50.09	6.08	-1.3	M	27	31	8.1	1.529	0.8	5/12/91
GA 213	10.28	26.53	27.47	12	-1.7	M	néant	32	8.3	1.026	0.8	5/12/91
GB 117	0 75	40.75	48.98		-1.4			30	7.7	1.011	0.5	5/12/91
	8.75	40.73	40.70									
GB 848	13.25	17.75	18.55					29	7.7	1.822	1	5/12/91
GB 848 GB 852				15.9 8.83	-2.6	-	_		7.7 7.8	1.822 0.18		5/12/91 5/12/91
	13.25	17.75	18.55	15.9	-2.6 -1.5		-	29	7.8	0.18	n/n	5/12/91
GB 852	13.25 7.37	17.75 9.03	18.55 9.69 14.69	15.9 8.83	-2.6 -1.5 -1.4	-		29 31	7.8 8.1	0.18 0.356	n/n 0.1	5/12/91 5/12/91
GB 852 GB 867	13.25 7.37 11.6	17.75 9.03 13.86	18.55 9.69 14.69 11.21	15.9 8.83 13 8.76	-2.6 -1.5 -1.4 -0.6		-	29 31 29	7.8 8.1 8	0.18 0.356 0.361	n/n 0.1 0.1	5/12/91 5/12/91 5/12/91
GB 852 GB 867 GB 851	13.25 7.37 11.6 8.29	17.75 9.03 13.86 10.1	18.55 9.69 14.69	15.9 8.83 13	-2.6 -1.5 -1.4 -0.6 -2.4		-	29 31	7.8 8.1	0.18 0.356	n/n 0.1	5/12/91 5/12/91

^{1 :} N°du piézomètre ou du puits villageois ; 2 : cote de l'ouvrage au sol ; 3 : profondeur de la zone crépinée par rapport au sol ; 4 :profondeur totale de l'ouvrage ; 5 : niveau statique ; 7 :lithostratigraphie de l'aquifère capté ;

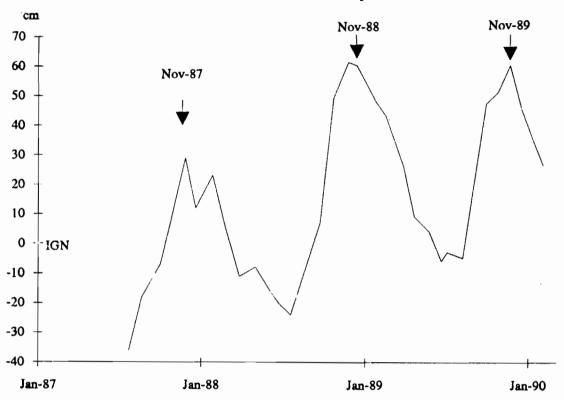
^{8 :} profondeur du toit du substratum des alluvions ; 11: conductivité de la nappe captée ;

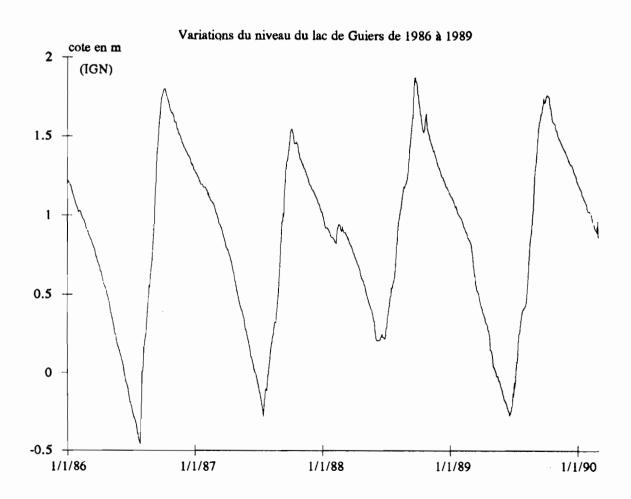
^{12:} salinité en g/l de NaCl.

coquille de Lanellibranches argile a gypse (10 YR 4/3) + compacte (10 YR 4/1) coquilles de Gastéropodes argile compacte avec coquilles (<1 cm) cristaux de sel petites coquilles 5 YR 5/1 argile compacte avec coquilles argile compacte grise sans coquilles, cristaux de sel sable brun argile 5Y 5/1 sable fin avec passées d'argile(brun) sable grossier 7/4 10 YR argile sableuse petites poches de sable + sableux argileux sable fin (brun) passée d'argile (clair) natière organique (toujours) argile très légèrement sableuse oxydée en surface sable fin marron grès ferrugineux, gravillons poche de sable avec débris de végétaux argile grise natière organique sable jaune, sable 7/2 argile avec passée sableuse sable 8/8 10 YR sable 8/8 10 YR argile grise nouchetéé de noir sable rour sable argileux gris argile grise à passées sableuses sable roux avec débris végétaux argile gris-noir argile sableuse

A1-2 : Log de carottage près de la digue de K.Momar Sarr (SAOS, inédit)

A1-3: Piezomètre GA201 Variation du niveau statique





Al-4a : Evolution de quelques paramètres physico-chimiques en fonction du temps (DIAO, 1992).

N°Pićzo: GA 201

Date: 19 Février 1990

prof. totale: 25,0 m

pH: 7,28 (à 17°28)

N°Piézo: GA 201

Date: 14 Mai 1990

prof. totale: 26,45 m

pH: 7.28 (à 35°2)

N°Piézo: GA 192

Date: 15 Mai 1990

prof. totale: 46,37 m

pH: 7.48 (à 36°5)

pf.(m)	T(°C)	EC(mS)	pf.(m)	T(°C)	EC(mS)	pf.(m)	T(°C)	EC(mS)
4.52	30°9	17,4	5,06	32°5	17,1	2,37	29°9	0,890
[i	1 ,		ĺ		3,37	29°5	0.875
5.0	31°6	17.3	6,06	31°7	17,4	4,37	28°7	0,856
1	ļ	łĺ		[5,37	28°3	0,856
6,0	31°8	18,2	7,06	31°6	18,8	6,37	27°9	0,853
1	ĺ	'			1	7,37	27°8	0,853
7.0	31°9	20,7	8,06	31°7	20,9	8,37	27°8	0.852
1						9,37	27°7	0,850
8,0	32°0	23,5	9,06	31°8	23,4	10,37	27°7	0,817
	""	55,5	',	"	-,	11,37	27°5	0,816
9,0	32°1	26,5	10,06	31°9	25,5	12,37	27°5	0,819
,,,	32 .	20,5	10,00	",	20,5	13,37	27°4	0,822
10.0	32°1	28,9	11,06	31°9	27,2	14,37	27°4	0,828
]	32 '	20,5	11,00	J. ,	21,2	15.37	27°3	0,828
11.0	32°1	30,7	12.06	31°9	28,6		27°2	
1	32 1	30,7	12.00	31.9	20,0	16,37		0,833
12.0	32°1	32,0	12.06	32°0	20.5	17,37	27°2	0,837
12.0	32 1	32.0	13,06	32-0	29,5	18,37	27°3	0,863
1,20	2280] 22.0	1	2222		19.37	27°3	0,866
13.0	32°0	32,8	14,06	32°0	30,2	20.37	27*2	0.866
	2222					21,37	27°3	0,866
14.0	32°0	33,5	15,06	32°0	30,7	22.37	27°3	0,866
					1. 1	23,37	27°3	0,866
15,0	32°0	34.0	16,06	32°0	31,2	24,37	27°3	0,866
		1			1	25,37	27°4	0,866
16,0	32°0	34,5	17,06	32°0	31,7	26,37	27°4	0,866
	}					27,37	27°4	0,866
17,0	32°0	34.8	18,06	32°0	32,1	28,37	27°4	0,866
1						29,37	27°4	0,866
18,0	32°0	35,2	19,06	32°0	32,4	30,37	27°4	0,867
		1			1 1	31,37	27°5	0.867
19,0	32°0	35,5	20,06	32°0	32,7	32,37	27°5	0,867
			1]	33,37	27°6	0,866
20,0	32°1	35,9	21,06	32°1	33,1	34,37	27°6	0,866
						35.37	27°7	0,867
21.0	32°1	35.9	22,06	32°1	33,1	36,37	27°7	0,867
[37,37	27°7	0,867
22.0	32°1	36.0	23,06	32°1	33,2	38,37	27°8	0,867
ł						39,37	27°8	0,867
23,0	32°1	36,0	24,06	32°1	33,2	40,37	27°9	0,867
						41,37	27°9	0,867
24.0	32°2	36,1	25,06	32°2	33,3	42,37	28°0	0,867
					,	43,37	28°1	0,868
24.5	32°2	36,3	26,06	32°2	33.7	44,37	28°2	0,867
						45.37	28*2	0,867
2,5	32°2	26,8	26,45	32°3	24,0	46,37	28*2	0,867
			,		- 1,5			1,30,

Variation relativement forte de la conductivité (EC) et faible variation de la température (T).

Faible variation de EC et T

EC : conductivité ; T : température