

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

GC.0314

PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE :

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DES  
PUITS DE KEUR MOMAR SARR :  
QUALITE, NIVEAU D'EXPLOITATION

Directeur : FRANÇOIS MOUSSEAU TREMBLAY

Auteur : CHEIKH BA

Collaborateur : NOUFOU BEREMWODOUGOY

Année scolaire : 1984-85

À mon regretté père qui a conduit mes premiers pas sur cette voie un jour d'Octobre 1966.

À tous mes parents et amis qui m'ont toujours témoigné de leur sympathie tout au long de mes études.

À tous les ingénieurs qui font honneur à leur noble mission.

## Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui de près ou de loin, de par leurs actes ou leurs conseils ont aidé à la réalisation de cet ouvrage.

En particulier nous adressons nos plus vives remerciements à :

Monsieur François Mauseu Tremblay professeur d'hydrologie à l'école Polytechnique qui n'a ménagé aucun effort dans la direction de ce projet.

Monsieur Gervais Leclerc responsable du laboratoire de génie sanitaire à l'E.P.T qui nous a témoigné d'un soutien sans précédent tout au long de cette étude.

Monsieur Beck responsable de la station de traitement des eaux de Gnith

Monsieur Kane technicien à la station de Gnith

Nos remerciements vont aussi à :

Monsieur Abdoulaye Sène directeur de l'entretien et de la maintenance au Ministère de l'hydraulique à Dakar.

Monsieur Mouhamadou Malichtar Dièye D.E.H au M.H à Dakar

Monsieur et Madame Cissé chef du C.E.R de Keur Momar Sarr

Monsieur Anona Diop chef du service de la scolarité à l'E.P.T

Mademoiselle Seynabou Dieng secrétaire dactylographe à l'E.P.T.

Je n'aurais clore cette page sans pour autant remercier vivement mon cher ami et frère, le Camarade Noufou Béremwou dougou qui n'a ménagé aucun effort et qui a fait preuve d'une parfaite collaboration tout au long de ce projet.

## SOMMAIRE

Nous avons choisi d'articuler notre étude en trois principales parties :

- D'abord une première phase consistant en la recherche d'une documentation dans le but de collecter le maximum de données existantes.
- Ensuite des visites sur le chantier, ce qui nous a permis d'échantillonner le maximum de puits et forages existants dans la zone d'étude.
- Enfin une campagne d'analyse visant à déterminer l'ensemble des paramètres physico-chimiques.

Cette dernière phase nous a permis de dégager l'hydrochimie de la région et par suite dresser les cartes de concentrations totales et des courbes isochlores.

L'ensemble de ce travail nous a conduit à l'établissement d'une fiche type pour chaque point d'eau échantillonné, ce qui permettra de suivre dans le futur l'évolution de la qualité des eaux.

<u>Table des matières</u>	<u>Pages</u>
Introduction . . . . .	1
Partie I -II Contexte Géographique . . . . .	3
Carte 1 - Situation Géographique . . . . .	4
-I-2 Hydrographie . . . . .	5
I-3 Climatologie . . . . .	7
3-1 Précipitation . . . . .	7
3-2 Température . . . . .	8
3-3 Vents . . . . .	8
I-4 l'organisation de l'économie rurale de Keur Momar Sarr . . . . .	16
4-1 le secteur agricole . . . . .	16
Partie II Stratigraphie - Structure géologique et Hydrogéologique.	
II-1 Structure géologique et hydrogéologique . . .	19
1 le maestrichtien . . . . .	19
2 le Paléocène . . . . .	20
3 l'éocène . . . . .	20
4 le Continental Terminal . . . . .	21
5 la Quaternaire . . . . .	21
II-2 Géologie de la région proprement dit . . .	22
II-3 Hydrogéologie . . . . .	25
1 Introduction . . . . .	25
2 Description des nappes superficielles . . . .	26
3 la nappe profonde du Sénégal . . . . .	29
Partie III HYDROCHIMIE . . . . .	35
III-1 Tableau de résultats (Partie Nord) . . . . .	42
Graphiques Comparatifs . . . . .	43

III-2 Hydrochimie	48
1 Confrontation des résultats	48
2 Tableau récapitulatif	49
3 Courbes isochores	50
4 Courbes de concentrations totales	51
5 Graphiques Comparatifs	52
6 Commentaires	62

#### Partie IV

Conclusion et recommandations	65
1 Conclusion	65
2 Recommandations	66

#### Partie V Annexes

1 Fiches Types de Point d'eau	70
2 Nappes phréatiques du Sénégal (aérien sec)	80
Bibliographie	78
1. bibliographie	81

## Introduction

Le présent travail est la première partie d'une étude hydrogéologique de la zone autour de Keur Momar Sarr, que nous avons entreprise depuis Octobre 1984 dans le cadre d'un projet de fin d'études initié par le Church World Service et dirigé par Monsieur François Tremblay professeur d'hydrologie à l'école polytechnique. En fait le Church World Service est l'organisme promoteur du projet de développement intégré de Keur Momar Sarr. Le projet a plusieurs objectifs parmi lesquels on peut citer entre autres:

- Augmenter la production maraîchère.
- Améliorer l'alimentation en eau des populations.
- Accroître les revenus.
- Promouvoir des actions de reforestation.
- Créer des perspectives de développement réduisant l'exode.
- Favoriser la création d'unités capables de produire et de consommer... etc.

En somme un ensemble d'objectifs dont la réalisation ne peut se faire sans eau, d'où la nécessité de faire un bilan hydrogéologique global de la région.

Pendant la saison des pluies de juillet à Octobre la région est parcourue par les élévés pentes et leurs troupeaux de bovins qui se rassemblent tous en saison sèche autour du lac et autour des rares puits permanents et forages de la vallée du Ferlo. Il faut cependant noter que ces puits et forages con-

naissent au jour d'hui une forte activité due à l'introduction d'une nouveauté à la levure des cartes superficielles profondes que superficielles.

La carte des affleurements de façon générale sur le Sénégal a nécessité l'étude du sous-sol par d'autres procédés : puits, forages, méthodes géophysiques... d'étude systématique des puits et leurs débais permet en générale de reconnaître la nature du sous-sol, au moins jusqu'à la nappe aquifère, ce que nous allons essayer de faire pour la région considérée sur la carte se situe en général à 6 mètres.

Nous nous occuperons ici des cartes phréatiques et hydrogéologiques et des formations qui les contiennent.

Une vingtaine de puits ont été inventoriés par nous même et les analyses des échantillons ont été effectuées pour nous même en collaboration avec les laboratoires de l'école polytechnique et de la station de traitement des eaux du lac de Guiers à Guitté.

Il convient de signaler que cette étude scindée en deux parties (Nord, Sud) à cause de l'étendue de la zone, est menée parallèlement dans le Nord et le Sud de leur l'amas Saur.

Finalement nous allons procéder à une confrontation des résultats des deux études en vue de présenter des conclusions pratiques, voire même des recommandations aux autorités nationales visant à apporter des solutions aux problèmes soulevés.



# I Première Partie

## I-1 Contexte Géographique

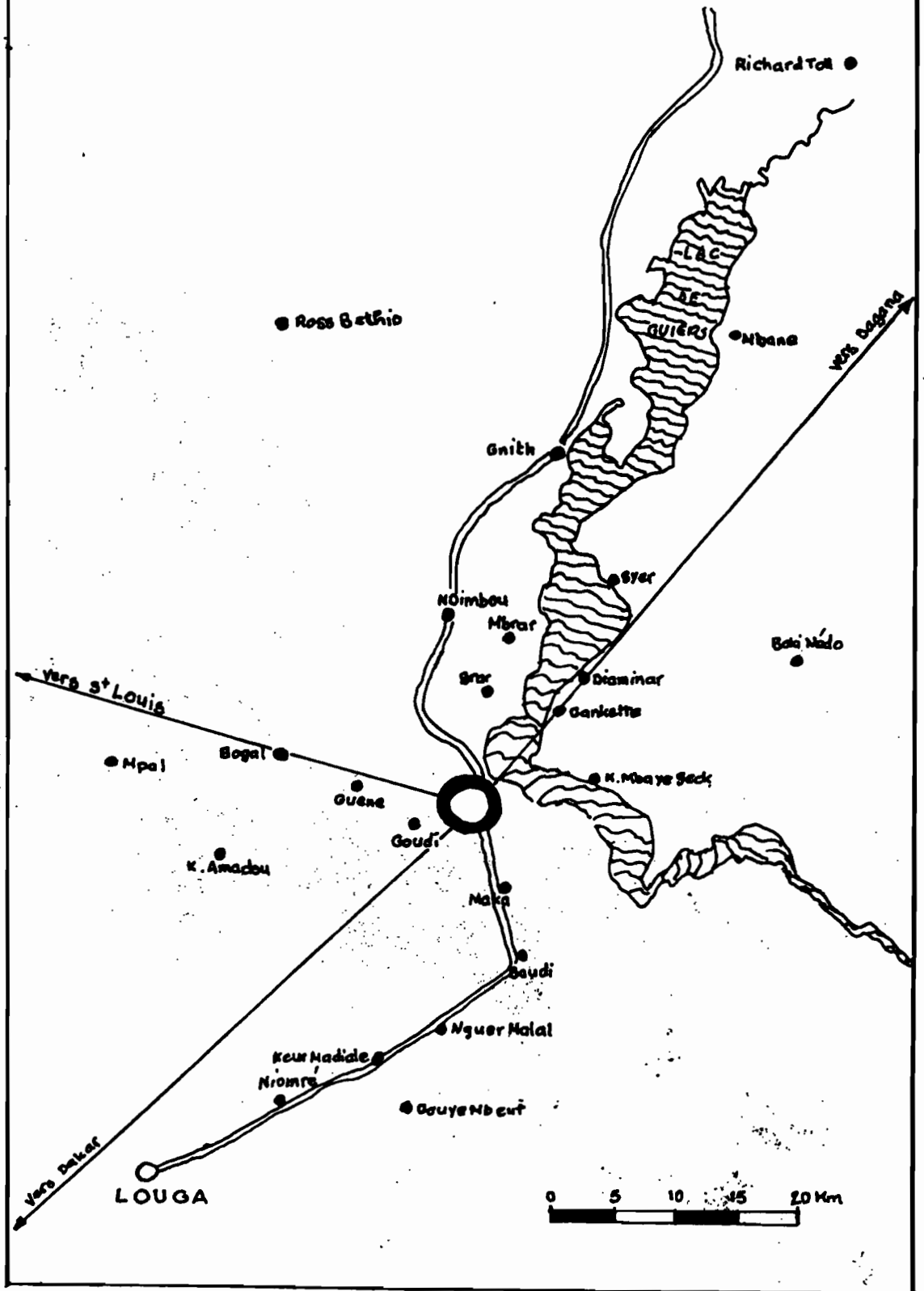
La région étudiée est située sur la rive sud du lac de Guiers autour de Keur Momar Sar et couvre environ une superficie de 4000 ha.

Du point de vue géologique, la région est dominée par des dunes rouges recouvrant entre autres; les dunes littorales (actuel, subactuel) l'holocène, des dépôts marins ou fluviaux rencontrés actuellement à Nouatchok. En outre, on y trouve les formations de l'éocène inférieur à moyen. Du point de vue climatique, nous avons une région tributaire du climat sud-saharien marqué notamment par le fameux processus de désertification et une mauvaise pluviométrie.

Nous étudierons successivement l'orographie et l'hydrographie avant d'aborder la climatologie qui fera l'objet d'un développement plus important motivé par les relations étroites qui existent entre elle et l'hydrogéologie, notamment en ce qui concerne l'alimentation des nappes.

Si possible, une étude de l'aspect démographique de la région sera envisagée afin de situer les besoins réels en eau dans le futur.

# SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE



## I-2 Hydrographie

Comme cours d'eau importants, on peut citer essentiellement le lac de Guiers, la vallée du Ferké et du Bouroum.

### 1° le lac de Guiers

Provenant des différentes crues du fleuve Sénégal, le lac de Guiers s'étend au sud de la basse vallée du Sénégal, à Dagana. Il communique avec le fleuve par la Taoué, marigot très sinueux d'une longueur d'environ 25 km.

Le lac s'étire selon une direction sud-sud-ouest sur une trentaine de kilomètres jusqu'à l'étranglement à Sier. Ses rives sont souvent dentelées: des presque îles isolent de petites cuvettes, sa largeur varie de 2 à 7 kilomètres.

A l'est ses eaux lèchent le bas plateau cuirassé du Ferké septentrional. Les alignements de dunes courtes finies, dominent les terrains plats.

La dépression du lac s'élargit à nouveau après l'étranglement de Sier et se prolonge vers le sud-sud-ouest jusqu'à Keur Noman Sarr; son fond est coloré d'alluvions.

Des levées aplaties séparent plusieurs bras parallèles parfois divergents; c'est l'extrémité d'une ancienne vallée alluviale, elle est entièrement submergée aux hautes eaux mais pendant la baisse de niveau en saison sèche apparaissent de nombreuses îles.

À la hauteur de Keur Noman Sarr, cette vallée décrit un coude faisant un angle de 90° puisqu'elle est en outre orientée ouest-nord-ouest - Est-sud-est.

### 2° Les vallées mortes du Ferké et du Bouroum

Le réseau de la vallée morte du Ferké débouche en effet

dans la dépression du lac de Guies à cet endroit.

Ce réseau commence à se dessiner au sud-ouest de Bakal sur la partie haute du plateau formé par les grès du continental terminal à une altitude de 80 mètres. Il est très ramifié, ses branches se rejoignent après Lingüere pour former la vallée du Bounoum. Sa largeur augmente progressivement vers l'aval : de 200 mètres à Mbeyène, elle passe à 3 kilomètres près de Bankette-Crent. Ce grand sillon creusé dans le socle éocène se coupe perpendiculairement toute une succession de cordons dunaires. Les chenaux d'écoulement sont bien visibles dans certains secteurs.

Lorsque les eaux du fleuve remplissent le lac de Guies, elles remontent dans la vallée du Bounoum plus ou moins vers l'amont selon l'importance de la crue annuelle.

Depuis 1957 la crue du fleuve n'inonde plus la vallée du Bounoum par suite de la construction du barrage de Keur Noma Sam qui augmente la réserve d'eau du lac de Guies servant à l'irrigation du casier agricole de Richard-Toll.

Maintenant les anciens chenaux ne sont plus jalonnés que par des mares temporaires, qui disparaissent au début de saison sèche à cause de la forte évaporation et de l'abreuvement de nombreux troupeaux.

Dans le Ferkel central et oriental, la surface des plateaux cuirassés est localement déprimée par suite des tassements ou de légers effondrements.

Les eaux cuirassées au cours des fortes averses stagnent

dans ces creux de terrains sous forme de marais.

La décantation argileuse des eaux a imperméabilisé le fond des dépressions par colmatage des fissures et des vacuoles de la cuirasse.

### I-3 La climatologie

Les facteurs climatologiques jouent vis à vis des nappes aquifères un rôle au lequel il est inutile d'insister tant en ce qui concerne les possibilités d'alimentation que les pertes par mécanismes évaporatoires.

Nous donnerons néanmoins un bref aperçu du climat de la région tel que le présentent les publications de la météorologie nationale, notamment avec les données des stations de Keur Noman Sar, Louga et Saint Louis.

#### 3-1 Les précipitations

Pour cette étude nous n'allons considérer que les données des stations de Keur Noman Sar, Saint Louis et Louga pour la période allant de 1979 à 1984.

##### Répartition mensuelle des pluies

Les tableaux ci-joints montrent la distribution des précipitations ainsi que leur répartition. On remarque qu'elles sont très faibles (200 à 500 mm/an) et très mal réparties dans la saison des pluies allant de par l'essentiel de juin à Septembre. En pourcentage cette répartition est encore plus marquée et les mois de juillet, Août Septembre accusent plus de 80% du total pluviométrique dont 40% au seul mois d'Août.

La carte des précipitations ci-jointe montre, qu'elles

augmentent tant soit peu du Nord au Sud et les isohyètes sont grossièrement parallèles et orientées Ouest - Est.

En somme on voit que les principales isohyètes (200 et 300 mm) sont en dessous du seuil ~~de~~quel de Hubert (400 mm) seuil en dessous duquel, sauf conditions locales particulières de ruissellement l'alimentation directe des nappes est impossible; donc les précipitations ne jouent pas un rôle important pour l'hydrogéologie de la région.

### 3-2 Les températures

Du contraire des isohyètes, les isothermes (carte 2), sont approximativement orientées Nord - Sud. On observe un accroissement graduel des températures relativement au sud du pays avec la diminution de l'effet de l'Alizé et l'augmentation de l'effet du vent saharien et de l'Harmattan. En saison des pluies, les températures tendent à s'uniformiser (environ 30°C) dans toute la région avec l'installation de la mousson.

Les données mensuelles et annuelles sont regroupées au tableau 5 ci-joint.

### 3-3 Les vents

L'étude du régime des vents peut être considérée comme un premier facteur du contexte morphoclimatique. On peut distinguer essentiellement les vents réguliers et les vents locaux.

#### 3-3-1. Les vents réguliers.

Au mois de Février en pleine saison sèche le régime des alizés et de l'Harmattan prédomine partout. Autour du lac de Guiers nous avons des alizés maritimes de

direction Nord, Nord-ouest. En juin commence généralement la saison des pluies, ce qui donne aux vents des directions variables.

### 3.3.2. Les vents irréguliers.

En fin de saison sèche, nous avons souvent la brise de mer et les vents de sable. L'air surchauffé au ras du sol est très instable et crée des tourbillons qui prennent naissance dans les heures les plus chaudes de la journée.

Pour illustrer cette étude sur le régime des vents nous allons considérer les données recueillies au niveau de la station de Longa (vents moyens en m/s) qui peuvent constituer une assez bonne approximation des données de la région proprement dite.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1975	1.5	2.0	2.0	2.6	-	2.3	1.7	1.9	1.4	1.7	1.9	1.5
1976	1.5	2.4	2.4	1.9	2.1	2.4	1.8	2.7	2.1	2.7	-	-
1977	3.7	1.5	3.3	4.1	3.5	4.8	4.3	3.8	3.1	2.6	-	-
1978	3.2	2.3	-	2.6	3.5	-	3.5	3.2	2.5	2.3	2.1	1.8
1979	2.1	2.4	3.5	2.7	-	-	3.0	2.7	2.4	2.5	3.0	2.5
1980	1.7	1.8	3.0	3.3	2.9	4.9	3.4	-	-	2.1	2.2	-
1981	2.1	2.5	2.0	2.6	2.5	3.0	2.4	2.4	2.8	2.5	2.6	2.5

Tableau: Station de Longa : vents moyens en m/s

Mois	Keur Nomar Sarr		Saint-Louis		Louga	
	Hauteur (mm)	Nbre jours	Hauteur (mm)	Nbre jours	Hauteur (mm)	Nbre jours
Janvier	-	-	21.1	5	30.0	6
Février	-	-	-	-	-	-
Mars	-	-	-	-	-	-
Avril	-	-	-	-	-	-
Mai	-	-	-	-	-	-
Juin	49.3	3	28.2	3	9.2	1
Juillet	31.5	2	33.1	5	43.2	6
Août	27.7	2	52.9	6	102.9	8
Septembre	150.8	6	80.2	6	55.0	5
Octobre	11.6	3	2.2	2	10.3	2
Novembre	-	-	-	-	-	-
Décembre	-	-	2.8	1	1.8	1
Total	270.9	16	199.4	23	222.4	23

C Tableau 1: Répartition mensuelle des pluies pour l'année 1979

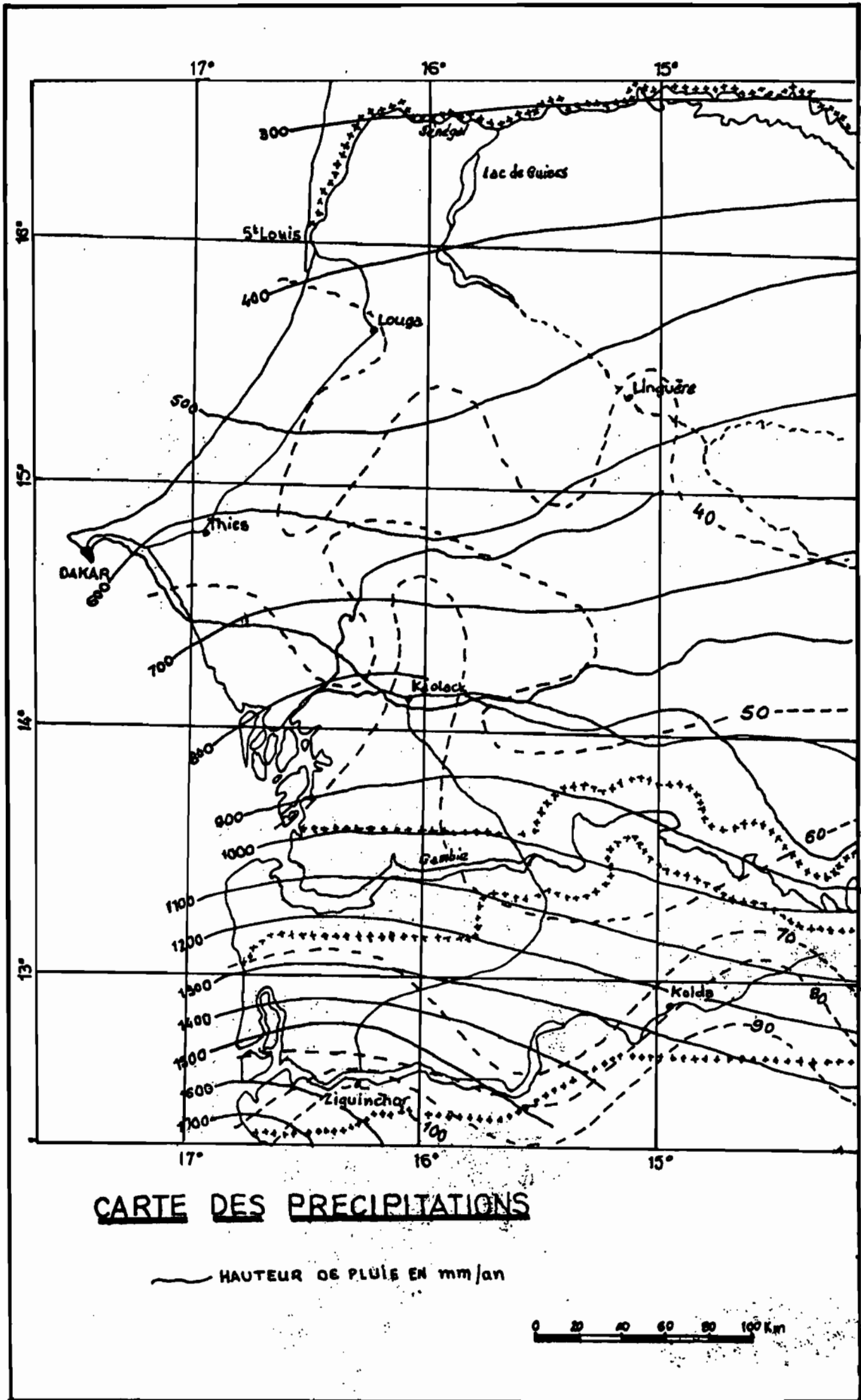


Mois	Keur Nomar Sarr		Saint-Louis		Lou ga	
	Hauteur (mm)	Nbr jours	Hauteur (mm)	Nbr jours	Hauteur (mm)	Nbr jours
Janvier	-	-	-	-	-	-
Février	-	-	5.4	2	6.4	2
Mars	7.9	1	-	-	-	-
Avril	-	-	-	-	-	-
Mai	-	-	-	-	-	-
Juin	-	-	-	-	0.2	1
Juillet	21.6	2	13.5	3	49.2	5
Août	109.9	8	92.4	10	-	-
Septembre	111.4	9	137.3	8	-	-
Octobre	47.8	1	45.1	1	19.4	3
Novembre	-	-	-	-	-	-
Décembre	-	-	0.6	1	-	-
Total	298.6	21	294.3	25	68.8	11

Tableau 2 : Répartition mensuelle des pluies pour l'année 1980

Mois	Keur Nomou San		Saint - Louis		Louga	
	Hauteur (mm)	Nbre jours	Hauteur (mm)	Nbre jours	Hauteur (mm)	Nbre jours
Janvier	-	-	-	-		
Février	-	-	-	-		
Mars	-	-	-	-		
Avril	-	-	-	-		
Mai	-	-	-	-		
Juin	-	-	-	-		
Juillet	76.3	4	82.1	7		
Août	93.8	6	92.7	7		
Septembre	6.9	2	3.8	4		
Octobre	10.5	1	12.7	3		
Novembre	-	-	-	-		
Décembre	-	-	-	-		
Total	187.5	13	101.3	21		

Tableau 3 : Répartition mensuelle des pluies pour l'année 1982  
 NB: Les données pour la station de Louga ne sont pas disponibles.



**CARTE DES PRECIPITATIONS**

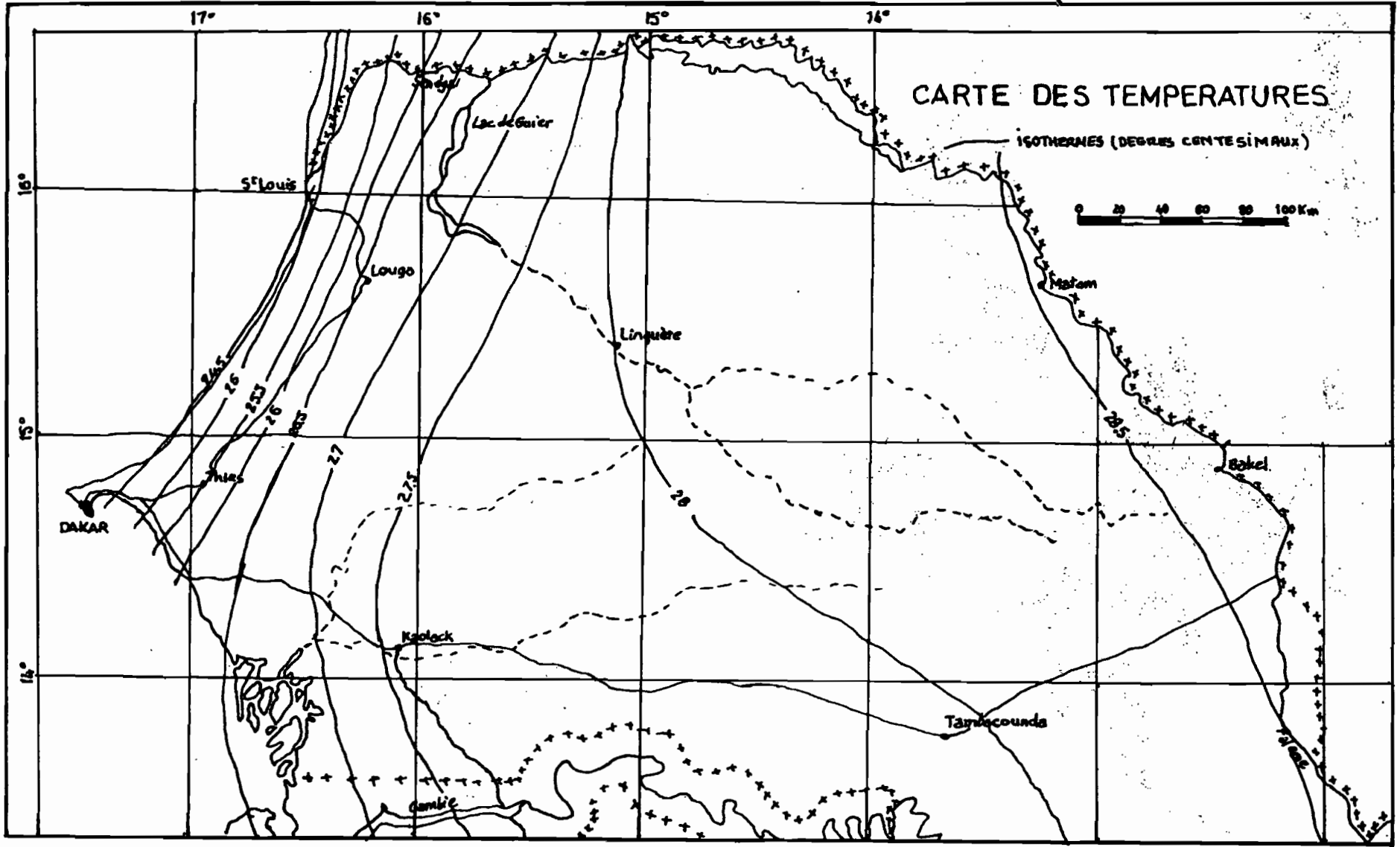
HAUTEUR DE PLUIE EN mm/an



Mois	1979	1980	1981	1982
Janvier	24.6	24.4	25.1	25.0
Février	28.0	26.7	25.2	24.8
Mars	27.0	26.1	28.4	25.6
Avril	28.4	27.9	27.6	26.1
Mai	27.4	26.9	27.3	26.0
juin	29.4	27.4	28.7	28.3
juillet	29.8	28.9	30.2	29.7
Août	30.3	29.8	30.4	30.1
Septembre	31.3	30.5	30.6	31.6
Octobre	30.4	29.6	30.6	30.7
Novembre	29.1	28.3	29.2	28.9
Décembre	28.0	25.2	26.6	24.7
Moyenne	28.6	27.6	28.3	27.6

Tableau 4

température en degré celsius  
à leur Niveau Scau



## I-4 L'organisation de l'économie rurale de Keur Homar Sarr

La région de Keur Homar Sarr intensément exploitée du point de vue pastoral et agricole est une transition entre le vieux bassin arachidier et la vallée du fleuve Sénégal. Dans cet espace en mutation, vivent des hommes de races différentes, aux genres de vie différents mais complémentaires : Ouolofs souvent agriculteurs, Peulhs essentiellement pasteurs, Maures artisans et commerçants soit un nombre de 9310 h/bt répartis dans 61 villages d'après le recensement de la sous-préfecture de Septembre 1980.

### 4-1° Le secteur agricole

#### 4-1-a Introduction

L'arachide a été jusqu'à une date récente l'une des principales occupations des agriculteurs de la région.

Actuellement les aléas climatiques tendent à limiter son rôle. En effet, ici comme en d'autres endroits, le paysan a renoncé à une partie des superficies consacrées à cette culture au profit des productions vivrières afin d'assurer sa sécurité alimentaire.

1-b Les cultures sous pluies ou est culture de Dieri et des degrés différents, toutes les ethnies pratiquent ces types de culture. Les principales spéculations sont : l'arachide, le mil, le niébé et le bœuf.

La faiblesse des résultats s'explique par diverses raisons :

- Sécheresse en 1980
- Epuisement des sols
- Recrudescence des déprédations (oiseaux et phacochères) parasites.

Beaucoup de villages auraient abandonné leur culture du mil à cause des riveaux.

#### 4-1-b Principales productions agricoles

Campagnes	Spéculation	Superficie (ha)	Rendement (kg/ha)	Production (tonnes)
1979-80 (1)	Arachide	8511	202	1719
	Mil	3815	112	427
	Niébé	950	200	190
1980-81 (2)	Arachide	2175	430	935
	Mil	945	100	94.5
	Niébé	230	300	69

tableau: 5

(1) source: Carte d'expansion rurale polyvalente de Keur momar Sar

(2) source: Société des terres neuves.

L'autoconsommation atteint 75% pour le mil, 5% pour l'arachide et 55% pour le niébé selon les informations données par les producteurs.

#### 4-1-c Les cultures de dérive

Le maraîchage ne s'est véritablement développé qu'à partir de la grande sécheresse des années 1972-73.

Limitée à quelques espèces au départ, la production s'est

peu à peu diversifiée, de 1978 à 1982 elle a été multipliée par 3. Beaucoup de terres disponibles restent inexploitées.

Comme cultures maraîchères on y trouve par ordre d'importance: tomates, courges, patates, gombo, pommes de terres.....



## II Deuxième Partie

### I-1 Structure Géologique et Hydrogéologique

#### Aperçu sur la géologie du Sénégal

De façon générale à l'exception du Sénégal Oriental, le territoire sénégalais est couvert par les formations du bassin sénégalais qui est composé essentiellement des formations suivantes :

- le Maestrichien
- le Paléocène
- l'Éocène
- le Continental terminal
- le Quaternaire

#### I-1-1 Le Maestrichien

Il est constitué sur la majeure partie du Sénégal par des sables plus ou moins grossiers et plus ou moins argileux. Localement ces sables s'indurent et passent à des grès. On observe comme c'est le cas de toutes les formations sédimentaires que le caractère argileux du Maestrichien s'affirme au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'océan en même temps que s'accroissent à la fois la profondeur et l'épaisseur de cette formation. Le rôle hydrogéologique de cette formation est extrêmement important.

Les sables maestrichiens contiennent une immense nappe qui forme la plus grande réserve d'eau dont dispose le Sénégal.

## 1-2 Le Paléocène

Cette formation est représentée essentiellement par des calcaires et des marno-calcaires et des marnes. Dans l'ouest du pays les calcaires paléocène ont subi le phénomène de la karstification et forment alors un excellent réservoir.

De tels calcaires caverneux contiennent par exemple les deux importantes nappes de Sébikhote et de Pout dans la presqu'île du Cap-Vert et qui sont exploitées pour l'alimentation en eau.

## 1-3 L'Eocène

Suivant les étapes on distingue l'éocène inférieur, moyen et supérieur.

### 1-3a - L'éocène inférieur

Mieux connu dans l'ouest du pays il présente de bas en haut la succession suivante :

- + Attapulgites : hydrogéologiquement, totalement défavorable
- + Marnes à Ostracodes qui constituent un aquifère peu intéressant sauf dans la région du Sine Saloum.
- + Marnes à lits de calcaires fossilifères de l'ypérien qui constituent le niveau le plus favorable, mais la fissuration et les variations rapides en font un aquifère non généralisé et incertain.

### 1-3b - L'éocène moyen (lutécien)

Le lutécien inférieur est constitué de marnes et de calcaires. Le lutécien supérieur est essentiellement calcaire.

La richesse en niveau calcaire en fait néanmoins un aquifère intéressant notamment dans le Nord ouest du

Sénégal où les ouvrages qui le captent ont de bons débits et une profondeur moyenne.

### 1.3c L'Eocène supérieur

Les formations de cet étage sont essentiellement argileuses et n'ont qu'un rôle négligeable dans l'hydrogéologie du Sénégal.

### I-1-4° Continental terminal

Recouvrant la presque totalité du pays il se présente sous forme de grès argileux et d'argile sableuse jaune et rouge, d'argile bariolée, lie-de-vin et blanche. Son épaisseur varie de quelques dizaines de mètres à 150 mètres vers Tambacounda.

La lithologie est hétérogène et les passages de faciès nombreux. La perméabilité est souvent bonne voire très bonne, quand le niveau de latérite ou de grès à canaux sont recoupés.

### I-1-5° Quaternaire

Les diverses formations quaternaires jouent un rôle hydrogéologique important au Sénégal; qu'il s'agisse de dépôts (limons, dunes) ou de produits de transformation récentes de terrains plus anciens (latérites, produits d'altération du Sénégal Oriental).

Les dépôts sableux très développés près des côtes atlantiques constituent un réservoir très intéressant, nous y distinguons de bas en haut:

- des dunes anciennes rouges de l'Ogolien.
- une plage à Arca sénilis du Nouakchottien.
- des dunes jaunes, des dunes blanches actuelles.

## II-2 Géologie de la région proprement dit

Après cet aperçu global de la géologie du Sénégal, nous allons maintenant faire une description plus précise des principaux faciès de la zone d'étude correspondant aux différents étages géologiques à partir des sondages de reconnaissance sur la rive occidentale du lac de Guiers.

L'étude d'une dizaine de sondages de reconnaissance sur la rive occidentale du lac de Guiers à Ngnith permet de confirmer l'existence de failles.

La faille de Ngnith affecte non seulement les couches de l'éocène mais aussi leurs recouvrements constitués de dépôts détritiques et de niveaux ferrugineux, probablement mis en place au quaternaire ancien et moyen. Elle a une direction sud-Ouest, Nord-Ouest parallèle à la rive du lac au nord de Ngnith mais s'écartant d'elle au sud de ce village.

Les coupes de sondages de Ngnith montrent aussi que les formations du quaternaire ancien et moyen sont très hétérogènes dans cette région s'étendant entre l'ancien golfe tafaricien et les bas plateaux du Ferkel.

Le niveau des graviers ferrugineux surmonte les dépôts de sable, de sable argileux ou d'argile. Un autre niveau de graviers ferrugineux existe en profondeur.

On constate à travers les coupes de sondage que souvent ces dépôts ne se raccordent pas bien que ceux-ci soient rapprochés. Ce qui prouve que la sédimentation déritique variée d'un point à un autre donc était très désordonnée.

Une migration d'éléments en relation s'est aussi produite

à certains niveaux.

Ainsi les différents sondages nous découvrent des croûtes latéritiques, un encroûtement ferrugineux recouvrant les calcaires argileux du substratum et enfin une mince couche de calcaire blanchâtre.

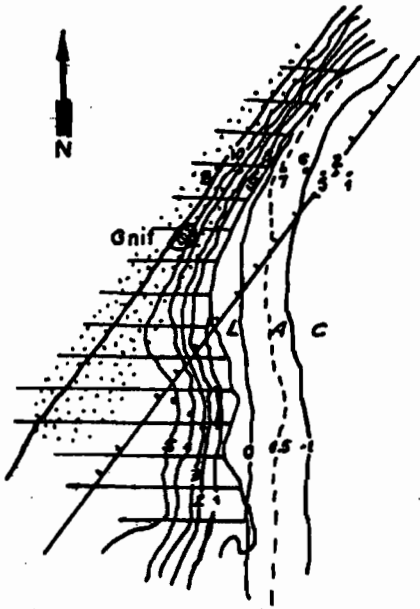
Les recherches des dernières années ont permis d'identifier une succession de failles traversant le flanc ouest de l'anticlinal à grand rayon de courbure du lac de Guiers.

Les failles principales orientées sud-ouest, Nord-Est sont parallèles à la ligne de faite de bombement qui s'allonge à l'Est du lac de Guiers jusqu'à Sagana.

Elles sont recoupées par plusieurs petites failles orthogonales de direction Nord-ouest, Ouest-Nord-Ouest.

Le rejet de ces failles à la bordure orientale du delta au cours du quaternaire ancien et moyen s'est répercuté directement sur la sédimentation qui dépendait des conditions locales. Mais l'alternance de niveaux détritiques grossiers et fins reflétera aussi dans une certaine mesure les variations climatiques du quaternaire ancien et moyen. Les niveaux composés surtout de débris de cuirasse et de graviers ferrugineux correspondent à des épandages sous climat semi-aride, les sables bien triés représentent peut-être du matériel remanié en dunes pendant des phases arides; tandis que les niveaux d'argile couleur verdâtre ou lie-de-vin témoigneraient au contraire des périodes plus humides.

L'ÉVOLUTION DES BASSES VALLÉES ET DES RÉGIONS LITTORALES

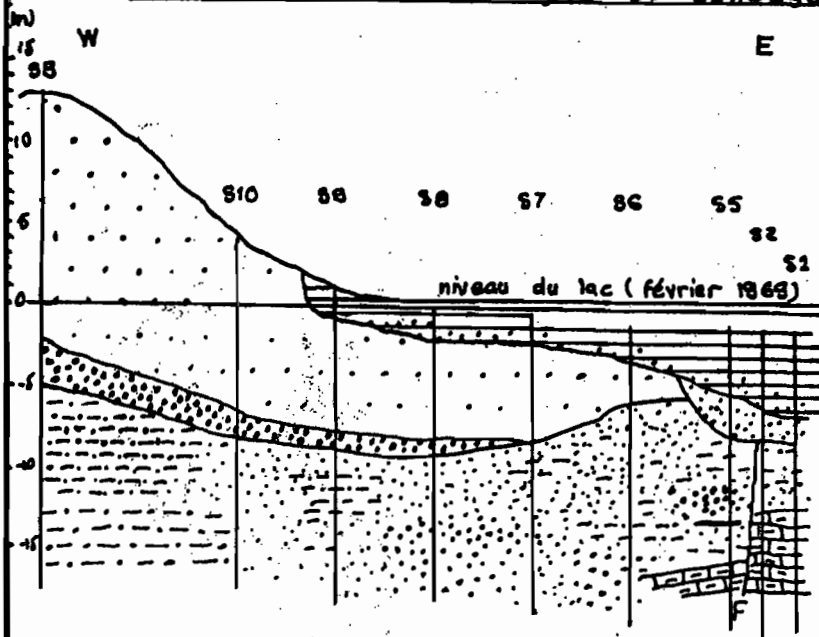


a - Croquis de situation

- Alignement dunaire
- Blocs de cuirasse
- Gravier ferrugineux
- Terres émergées
- Courbes de niveau (équidistance de 4m)
- Faille avec son regard
- B. 40 sondages d'étude



b - Coupe le long de la ligne de sondages



- Vase
- Sable vaseux
- Argile
- Argile sableuse ou grès argileux
- Sable d'épandage
- Sable de dunes rouges
- Gravier ferrugineux
- Encroûtement ferrugineux
- Calcaire argileux



Les formations du Quaternaire sur la rive occidentale du lac de Guier à Gnil

## II-3 HYDROGEOLOGIE

### 3-1 Introduction

La plupart des nappes de la région étudiée sont alimentées par le fleuve Sénégal et son défluent le lac de Guiers et pour une part peu importante par les pluies, du fait du déficit pluviométrique consécutif à la sécheresse de ces dernières années.

À l'exception de quelques petites nappes perchées, exploitées par céanes au bordure du lac (Par exemple à KEUR KANE) la nappe phréatique est unique du point de vue dynamique, quel que soit son gisement, son comportement et sa composition chimique différent notablement suivant la nature de la couche qui la recouvre.

Nous distinguerons dans cette étude hydrogéologique de la région en question deux catégories principales de ressources en eau :

- La nappe des « sables maestrichtiens » toujours profonde et exploitée par forages.

- La nappe « superficielle » ou « phréatique », ce sont les ressources en eau qui alimentent les puits traditionnels ou non et sont donc les premières que l'on recueille à partir de la surface.

Hormis ces deux principales nappes, on note la présence également d'une nappe intermédiaire : la nappe du paléocène exploitée elle aussi par forages dans certaines localités.

## II-3-2 Description des nappes superficielles

### - 1° La nappe du Ferlo

Son gisement comprend en majeure partie les sables et grès hétérogènes plus ou moins argileux du Continental terminal mais aussi des formations variées de l'Éocène : lutétien calcaire, marno-calcaire et gréseux, Yprésien marneux et marno-calcaire.

C'est une nappe déprimée. L'altitude du niveau piézométrique est presque constamment négative par rapport au niveau de la mer. La surface piézométrique dessine une vaste cuvette dont les bords relevés au Nord et à l'Ouest avoisinent la cote zéro, ont une cote positive à l'Est aux abords du fleuve Sénégal tandis qu'au centre du Ferlo septentrional, au sud de Linguère et immédiatement à l'Est de lac de Guiers, se dessinent des courbes fermées à l'altitude - 40 m (profondeurs jusqu'à l'eau voisine de 90 à 100 m). La perméabilité des terrains du Continental terminal (sable, grès, grès argileux à « canaux ») paraît dans l'ensemble assez comme le montrent les pentes régulières de la nappe. Il est possible de trouver dans ces formations des débits intéressants voir de plusieurs  $m^3/l/m$  d'une eau le plus souvent très peu chargée.

Dans les formations éocènes, il n'en va pas de même partout, dans les niveaux marneux en particulier se remarque une tendance à la stagnation comme le montre la fermeture des courbes d'altitude - 40 m. En outre, l'eau est quelquefois plus chargée, notamment en fluor par suite de la teneur en phosphate des terrains.



Il s'agit là d'une zone non alimentée, sauf sur ses bordures où le fleuve Sénégal apporte, lors des crues, une certaine quantité d'eau. L'alimentation par la surface semble peu probable par suite des conditions climatiques défavorables et de la grande profondeur de la nappe.

Il faut signaler la présence des « nappes perchées » dans les collas remaniés des marais, nappes le plus souvent temporaires mais d'un apport important pour l'élevage. Il n'y a aucune alimentation de la nappe du Continental terminal à partir de ces nappes perchées.

### 2° de nappe du Delta

Les formations du delta du Sénégal, alluvions marines et fluviales, ainsi que les terraces quaternaires situées à l'Est de Saint-Louis [collas, niveaux à coquilles (Arca senilis) détritiques] contiennent une nappe dont l'altitude, positive ou négative, est toujours proche du zéro.

Les perméabilités sont toujours médiocres, souvent même extrêmement faibles dans les alluvions très argileuses.

La principale caractéristique de cette nappe est sa forte salure (10 à 40 g de NaCl) qui pose des problèmes très particuliers à l'étude du projet de mise en valeur du delta du Fleuve. Tout aménagement du delta devra tenir compte de risque de remontée de la nappe salée dans la zone radioculaire lorsque l'on modifiera l'équilibre actuel qui voit cette nappe déprimée par l'évaporation.

### 3° La nappe de la région de Louga - Colé

Cette zone est celle des marais et de Falo, et la seule zone où nous avons pu distinguer deux niveaux qui forment dans

les «nappes superficielles».

En profondeur quel ques puits ont atteint, dans les marnes Ypremiennes, une nappe qui paraît être en continuité avec la nappe du Ferlo. Cette formation est encore déprimée et s'enfonce d'Ouest en Est. Son altitude voisine de zéro près de Koki, atteint - 30 m dans la région de Bouléle.

La perméabilité du terrain aquifère est très faible, les débits des puits médiocres et l'eau assez chargée (0.5 à 1 g/l). A faible profondeur, se trouvent des réserves d'eau qui forment un dôme centré sur Coki, lui même flanqué de deux petits dômes de moindre importance, l'un dans la région de Toubá-Mérins, l'autre près de Dabra. Cette nappe constitue un ensemble assez complexe dans le détail. Les zones les plus élevées (région de Coki par exemple) correspondent à des terrains aquifères essentiellement quaternaires. La proximité du sol est un critère favorable, mais les réserves sont peu abondantes. En effet, il s'agit surtout de nappes contenues dans des formations très peu épaisses, (sables, limonite) et dont le vidange à la saison sèche est rapide. Par contre, dans les zones où les formations éocènes (calcaires lutétiens principalement) constituent le gisement de la nappe, les réserves sont plus intéressantes bien que plus profondes. La karstification des calcaires est localement très développée et permet alors des débits importants comme le forage de Kéléma par exemple, dont le débit spécifique est voisin de  $60 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ .

La proximité de la région des marais assure l'alimentation de la nappe.

### II-3-3 La nappe profonde du Sénégal: «nappe maestrichienne»

Découverte en 1938, cette nappe est exploitée actuellement par une centaine de forages ( $7 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  en 1965) et s'étendant sur la plus grande partie du Sénégal, constituant l'un des principaux bassins artériens de l'Afrique Occidentale.

Elle supplée avec bonheur aux faibles ressources des nappes phréatiques et à leurs niveaux très profonds.

Les données acquises sur cette nappe se résume comme suit:

- La couche aquifère: C'est un ensemble de sables et grès plus ou moins argileux, d'âge principalement maestrichien.

Les faciès argileux prédominent à l'Ouest (presqu'île du Cap-Vert) au delà du méridien de Port. Des calcaires ou des sables et grès paléocènes participent au système aquifère.

- Son étendue. Elle couvre  $150\,000 \text{ km}^2$  environ.

- La puissance. Elle croît de l'Est, du Sud-Est et du Nord-Est vers la côte atlantique, de 0 à plus de 300 mètres, la moyenne étant de 200 à 250 m.

- La zone d'affleurement: l'aire en est limitée vers l'Ouest, à la région de NDiass.

- Le substratum: Il est formé par le socle primaire ou cristallin à l'Est et au Sud-Est, le crétacé au centre et à l'Ouest, dont l'eau est généralement salée. En pratique le «mur» de la nappe est constitué par l'interface séparant l'eau douce des eaux salées; un niveau argileux sépare le plus souvent les eaux douces des eaux salées sous-jacentes.

- Le toit: Il est constitué en grande partie par les marnes ou argiles éocènes et aussi par le «Continental terminal», argilo-gréseux à la périphérie, sans séparation nette avec le

Haestrichtien. La profondeur du toit de sables & grès de 0 à 150 mètres. Elle est dans l'ensemble supérieure à 100 mètres.

- La surface piézométrique: les pentes sont orientées principalement du Sud-Est, au Nord et au Nord-Ouest. Le gradient est compris entre  $10^{-4}$  et  $4 \cdot 10^{-5}$  avec une moyenne de  $2 \cdot 10^{-5}$ . L'altitude passe de 15 mètres au Sud Est à -2 m au Nord.

Une aire à pression inférieure au niveau de la mer se localise donc au Nord. En quelques secteurs, la position des niveaux piézométriques au dessus du sol permet des forages artésiens (vallée et îls du Saloum).

- L'évolution de la nappe: Aucune diminution de pression n'a été notée, mais on ne dispose il est vrai que d'observations restreintes. Ce point doit être vérifié au cours des années à venir.

- Les paramètres de l'aquifère:

\* Perméabilité:  $K$  compris entre  $10^{-3}$  et  $10^{-5}$  m/s, 1 à  $5 \cdot 10^{-4}$  le plus souvent

\* Transmissivité:  $T$  de  $2 \cdot 10^{-2}$  à  $0.5 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

\* Coefficient d'emmagasinement:  $S$ , de 1 à  $3 \cdot 10^{-4}$ .

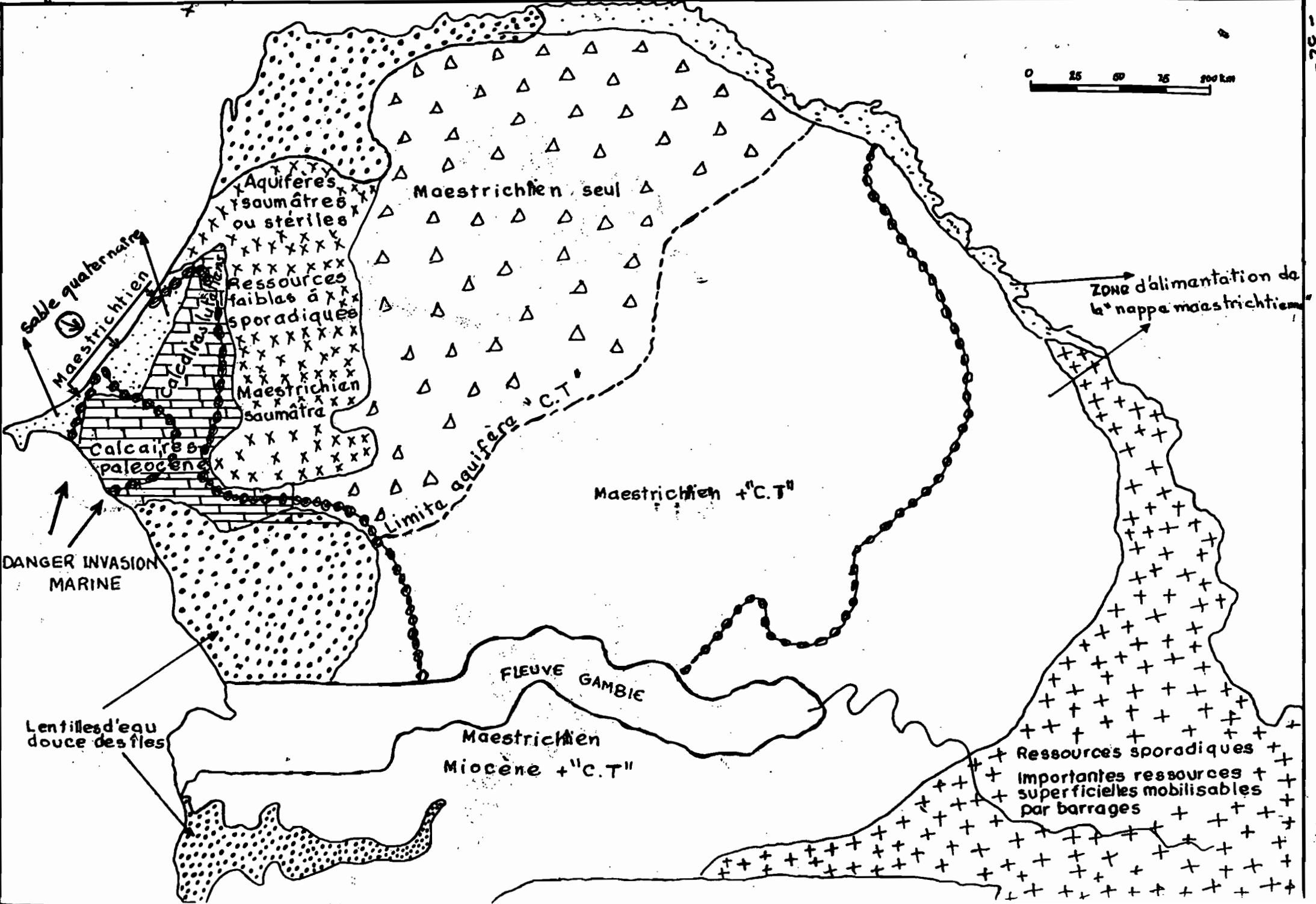
- Les caractéristiques chimiques: Eaux douces à légèrement salées (de moins de 0.5 à 3 g/l de concentration totale) passant du faciès bicarbonate calcique (jusqu'à 1 g/l) au faciès chlorure sodique (au dessus de 1 g/l) sensiblement dans le sens des pertes de charges et se caractérisant par un fort indice négatif d'échange de bases.

Les très faibles gradient de la surface piézométriques observés nous ont amené à nous interroger sur leur signification et l'hypothèse fut émise que la nappe pourrait

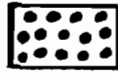
être en équilibre statique, donc n'être affecté d'aucun écoulement actuel. Pour expliquer la présence d'eau relativement douce, on suppose une alimentation fossile - la répartition des pressions serait, ainsi que l'eau, "héritée" d'une phase active ancienne (climat plus humide) et aujourd'hui "figée".

Néanmoins une alimentation actuelle même très faible, à partir de la périphérie (où la nappe est semi-libre et peut se confondre avec celle du Continental terminal) peut suffire à entretenir un certain renouvellement de l'eau. On peut admettre également que des pertes d'eau par le toit vers les nappes supérieures (drainance) peuvent équilibrer cette alimentation sans qu'il soit nécessaire de chercher d'autres exutoires à la nappe. La première est en effet supérieure, sur une grande étendue à celle des nappes libres de la couverture et l'écoulement actuel dans la nappe ne serait donc pas nul.

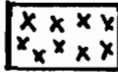
- L'exploitation: Une exploitation accrue de la nappe du Haestrichien est certainement possible, dans des limites imposées surtout par les risques d'intrusion de des forages, le coût de ceux-ci et les effets, à craindre sur l'équilibre entre les eaux douces et les eaux salées plus profondes.



Légende de la carte des ressources en eau du Sénégal.



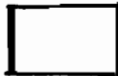
invasion marine généralisée



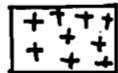
Ressources faibles et sporadiques.



Absence d'aquifères superficielles



Aquifère superficielle à ressources relativement importantes



Terrains anciens fracturés et altérés



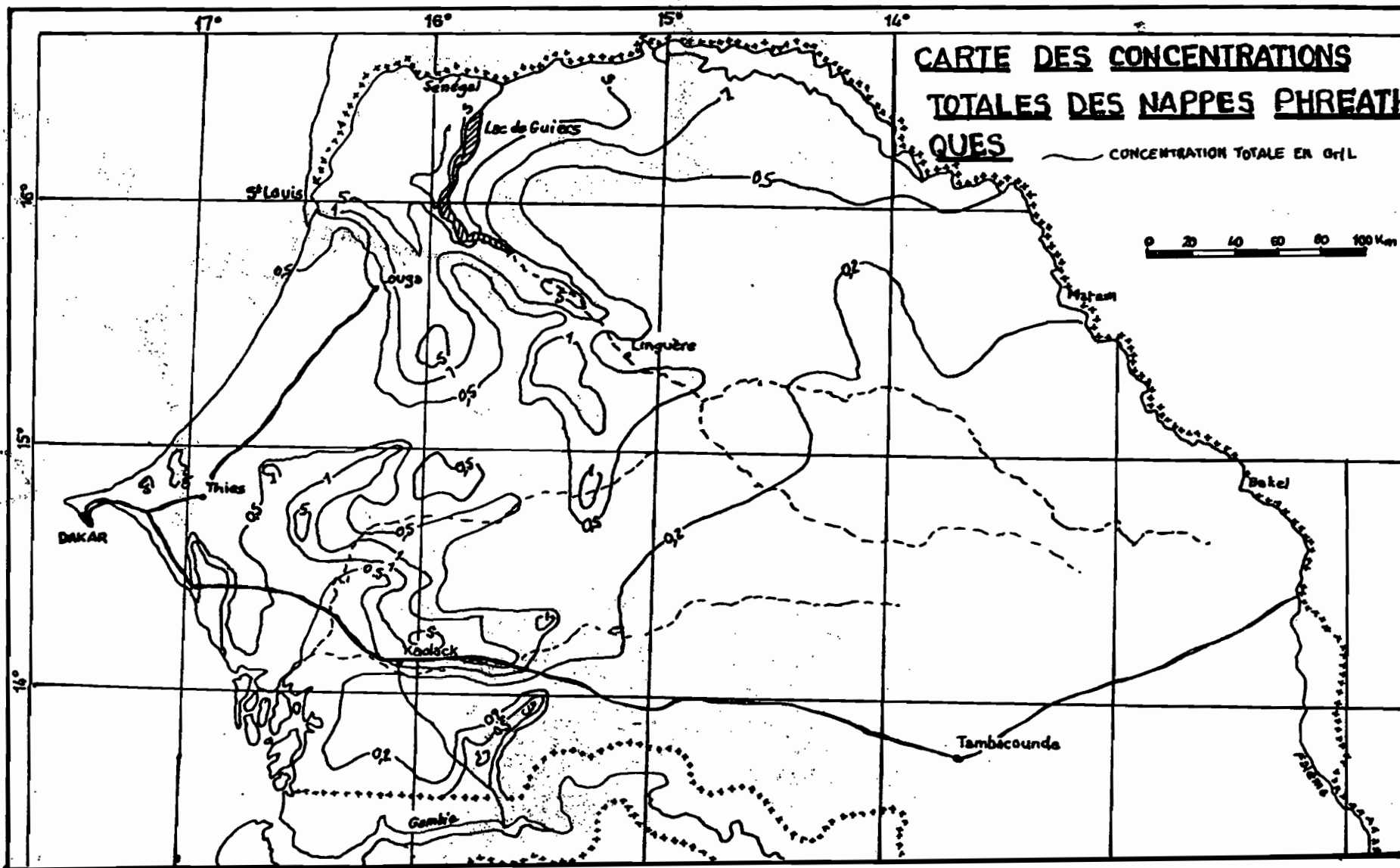
Front d'abaissement critique du plan d'eau (tropéage 0m de la nappe phréatique)



sur-exploitation danger

Recapitulatif des ressources en eau souterraine.

source: Ministère de l'hydraulique. D.E.H (sept 1983)





### III TROISIEME PARTIE

#### III-1 HYDROCHIMIE

##### a) Introduction

La présente étude hydrochimique concerne uniquement la partie nord de notre zone d'étude commune située dans la région du lac de Guiers autour de Keur Homar Saré. Par la suite une confrontation faite avec l'étude menée parallèlement dans la partie sud par le camarade Noufou Beremwoudougon permettra de dégager les caractéristiques d'ensemble de la région proprement dite.

La détermination des caractéristiques chimiques des eaux dans cette partie nord de Keur Homar Saré, s'est faite essentiellement à partir de la carte superficielle du Continental Terminal; dans la mesure où on y a rencontré aucun forage profond.

Tous les puits échantillonnés ont une profondeur moyenne d'environ 5 mètres et sont caractérisés par leur proximité du lac.

Les caractéristiques retenues nous permettant de définir les différentes eaux suivant leur famille chimique ou aussi suivant leur degré de potabilité sont les suivants :

- le résidu sec
- la température
- les ions prépondérants :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  de...

Toutefois certains ions importants tels que  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$  et surtout les ions secondaires tels que  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{K}^+$ , ainsi que les

teneurs en  $\text{CO}_2$  libre qui régissent le comportement des eaux dans les phénomènes d'attaques (corrosion, agressivité...) n'ont pas pu être déterminés malheureusement à cause; soit de la non disponibilité de certains matériels de laboratoire ou à cause du caractère assez fastidieux des manipulations ou les contraintes de temps rencontrées.

Nous allons également faire une comparaison entre les teneurs obtenues et les normes préconisées par l'Organisation Mondiale de la Santé : O.M.S vis à vis des eaux de boisson en vue de suggérer des méthodes de traitement visant à améliorer la qualité des eaux.

#### b) Le résidu sec

Le résidu sec ou concentration totale donne la quantité de matières solides en suspension dans un échantillon d'eau.

En ce qui concerne les eaux de cette région située au nord de Kaur Noman Sar nous avons un résidu sec moyen de  $2.8 \text{ g/l}$ ; il constitue un élément caractéristique des eaux en présence.

Ces eaux peuvent être classées comme chlorurées sodiques à partir du lac à hyperchlorurées sodiques vers le nord autour de NDAKHAR (au nord de HPAL).

En considérant les normes de l'O.M.S qui classe comme eau de bonne qualité, celles dont le résidu sec est compris entre  $500$  et  $1500 \text{ mg/l}$ , nous pourrions conclure que les eaux de cette région sont en général très minéralisées.

### c) La température

La température est le facteur le plus apprécié pour une eau de boisson avec la clarté et le goût, aussi est-on toujours attiré, non sans raisons par des eaux d'origine profonde dont la température est sensiblement constante, et pour la plupart fraîche tout au long de l'année, contrairement aux eaux de surface dont la température évolue couramment de 1 à 30°C suivant les saisons.

La température constitue également un facteur indispensable pour juger de l'équilibre d'une eau vis-à-vis du calcaire.

La température de l'eau de consommation ne doit pas dépasser 15°C, celle recommandée est comprise entre 9 et 12°C.

Les eaux souterraines dans cette région du nord de Koum Nomaou Sou ont en général une température moyenne de 25°C, ce qui est au delà des normes préconisées. Ainsi, il apparaît au niveau de ces eaux une modification de la saveur due à l'accélération des phénomènes de décomposition biologique de la matière organique.

### d) La turbidité

Elle donne une idée de la teneur en matières en suspension. Elle est liée à la transparence. Une turbidité de 10 gouttes de mastic donne une bonne transparence, mais on demande généralement pour les eaux potables une turbidité bien inférieure. Pour les eaux de la région considérée, la turbidité est surtout due au manque d'entretien des puits qui sont souvent laissés à ciel ouvert.

### e) Le fer

La présence excessive du fer dans l'eau entraîne souvent des inconvénients parmi lesquels on peut citer :

- Une coloration parasite
- Un goût désagréable
- Des dépôts et prolifération de ferobactéries etc.

L'organisation mondiale de la santé O.M.S fixe la teneur admissible dans les eaux de consommation à  $0.3 \text{ mg/l}$  et la teneur excessive à  $1 \text{ mg/l}$ .

Tous les puits que nous avons échantillonnés ont en général une teneur qui respecte les normes de l'O.M.S (teneur moyenne de l'ordre de  $0.36 \text{ mg/l}$ ) sauf le seul village de MBRAR dont la teneur est de  $2.3 \text{ mg/l}$ .

### f) Le Manganèse

Une teneur excessive en manganèse produit des effets indésirables dans les eaux de consommation.

Parmi ces effets on distingue entre autres : un goût désagréable, une coloration parasite, des dépôts dans les canalisations et une turbidité assez élevée.

L'ensemble des échantillons analysés présentent une moyenne de l'ordre  $0.2 \text{ mg/l}$  ce qui constitue une teneur raisonnable vis à vis des prescriptions l'O.M.S qui fixe la teneur admissible à  $0.1 \text{ mg/l}$  et la teneur excessive à  $0.5 \text{ mg/l}$ .

### g) Le sodium

Il n'y a pas de valeur limite pour la quantité de sodium contenue dans les eaux de consommation. Certaines eaux en contiennent beaucoup (les eaux saumâtres) et de ce fait ont un goût dés-

agréable. Le chlorure de sodium est perceptible nettement à partir de 500 mg/l.

### b) Le chlorure.

Comme dans toute la région du lac de Guiers le chlorure reste l'élément prépondérant dans les eaux du nord.

Les concentrations en  $\text{Cl}^-$  nous ont permis de distinguer deux zones nettement différentes.

- La zone autour du lac (dans un rayon de 3500 m) avec une concentration moyenne en chlorure de (0.390 g/l) recèle des eaux d'une salinité relativement acceptable. Ainsi les populations éprouvent moins de difficultés à s'alimenter à partir des puits.

Cette faible salinité s'explique par la proximité du lac qui permet une certaine recharge des nappes améliorant ainsi la qualité de l'eau en réduisant la salinité.

- La zone autour du village de NDakhar, plus au nord vers NP2, où les eaux se distinguent nettement par leur concentration élevée en sel (5 g/l).

Cette contamination de la nappe superficielle est due à l'avancée de la langue salée qui évolue du littoral vers l'intérieur.

La carte des courbes isochlores que nous avons établie à partir des résultats d'analyse montre que la zone autour de NDakhar se trouve en plein milieu du biseau salé ce qui explique la forte teneur en chlorure des eaux. L'Organisation mondiale de la santé O.M.S préconisent des teneurs comprises entre 200 et 600 mg/l. Ainsi on

voit que tous les puits situés dans la zone autour du lac présentent des eaux aptes à la consommation; contrairement à celles du nord qui présentent une teneur moyenne de l'ordre de 5 g/l; ce qui fait que presque tous les puits ont abandonnés dans cette zone et les populations s'alimentent à partir de la conduite principale du lac de Guies qui est souvent éloignée.

### i) Le calcium

Les teneurs en calcium sont assez élevées dans cette zone.

En effet la teneur moyenne est de l'ordre de 0.346 g/l.

Cette forte teneur en calcium s'explique par l'influence des roches calcaires proches dans lesquelles l'eau aurait circulé avant d'arriver au but.

Ces eaux sont souvent dites calcifiantes et provoquent des dépôts dans les conduites.

### Conclusion

La carte du continent terminal au nord de Keur Noman San contient d'une manière générale des eaux chlorurées. Plus on s'éloigne du lac, plus la prépondérance de cet élément devient nette.

A ce niveau on peut logiquement penser que cette dominance n'est pas seulement due à la nature des roches aquifères en place ou à la proximité du lac mais aussi à l'influence de la langue salée qui progresse au fur et à mesure que la carte phréatique baisse (phénomène causé par le déficit pluvio-

(métrique) tendant ainsi à remplir le vide laissé par celle-ci.

Hormis cette influence marine la composition chimique des eaux et les fortes concentrations peuvent s'expliquer aussi par l'existence d'un faciès nettement plus argileux et la forte évaporation observée dans cette région pendant la saison sèche.

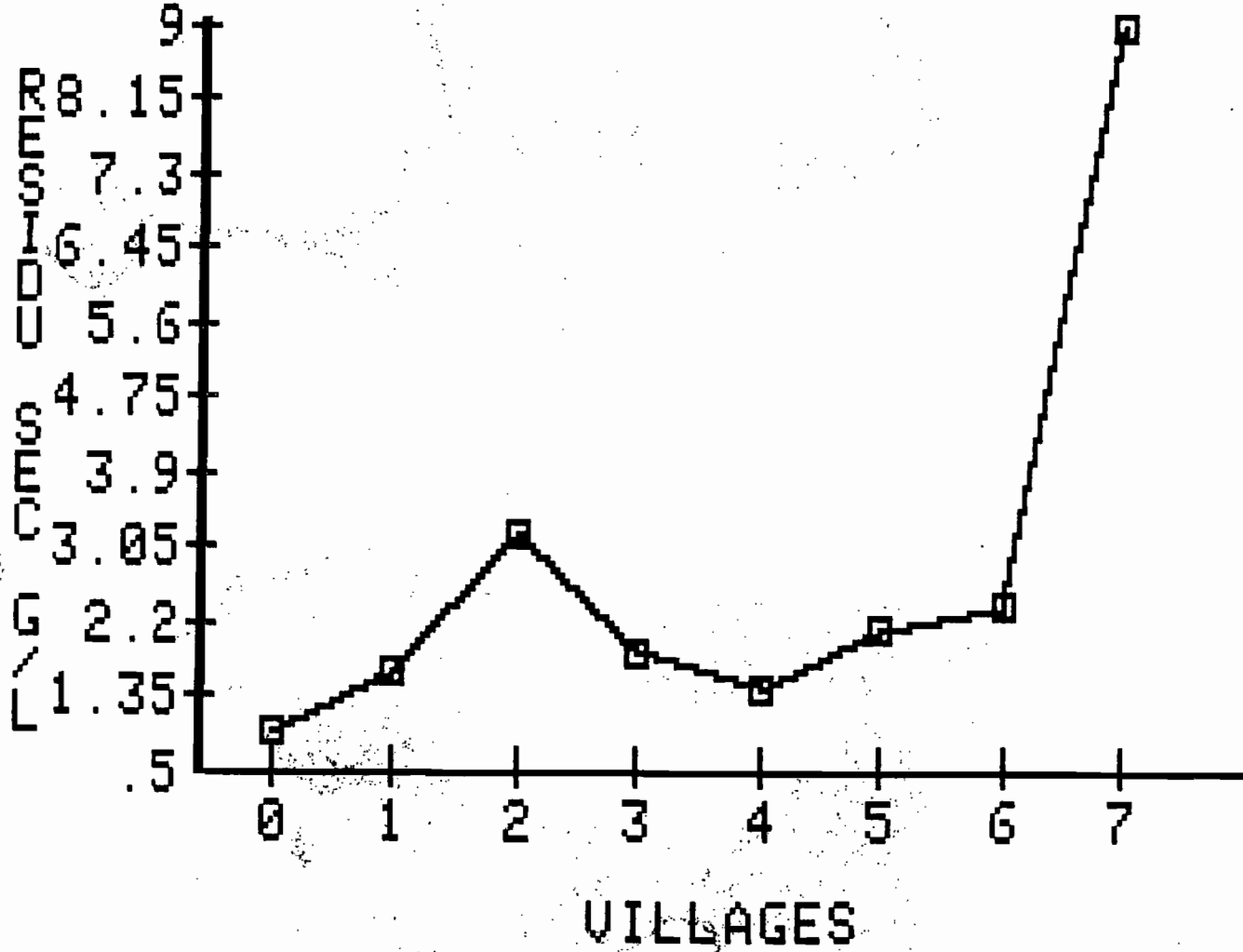
Cependant sauf pour l'extrême nord, aux environs de Ndakhar les eaux du nord sont assez potables. La présence des ions  $Mn^{++}$  et  $Mg^{++}$  n'est jamais telle qu'elle rende les eaux impropres à la consommation. Seul le résidu sec dépasse souvent la limite de potabilité et ce en considérant une moyenne globale qui est trop influencée par la forte teneur rencontrée à Ndakhar.

Tableau des résultats (g/l)

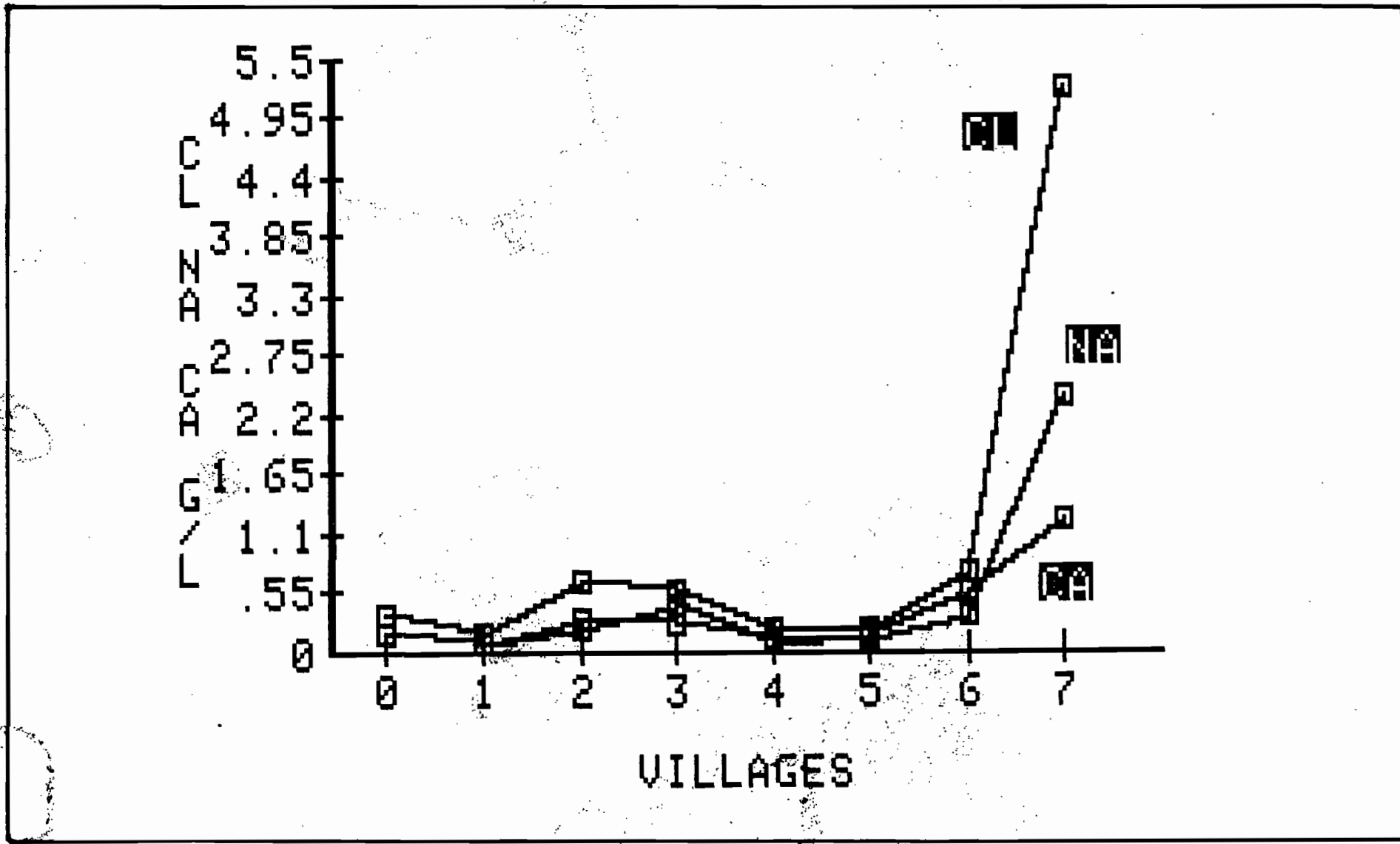
Villages	Residu sec (mg/l)	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	T (°C)	Distances entre points
NDIMBOU	0.86	0.0003	0.0002	0.12	0.14	0.16	0.31	27	8000
DIAMINAR LOYENE	1.6	0.00006	0	0.09	0.07	0.06	0.16	25	0
DIAMINAR KEUR KANE	3.2	0.00006	0	0.53	0.3	0.21	0.62	26	0
BRAR	1.8	0.0002	0.0004	0.24	0.24	0.4	0.54	20.5	3000
DIOKOUL	1.4	0.00008	0.00005	0.04	0.09	0.05	0.21	29	2000
FETO	2.1	0	0	0.14	0.09	0.16	0.21	26.5	2500
GANKET BALA	2.4	0.0001	0	0.29	0.33	0.53	0.73	27.5	0
NDAKHAR	9.0	0	0	0.63	2.34	1.2	5.2	26	23500
NORMES D.M.S	0.5 à 1.5	0.0003 à 0.001	0.0001 à 0.0005	0.050 à 0.15	—	0.075 à 0.2	0.2 à 0.6		—

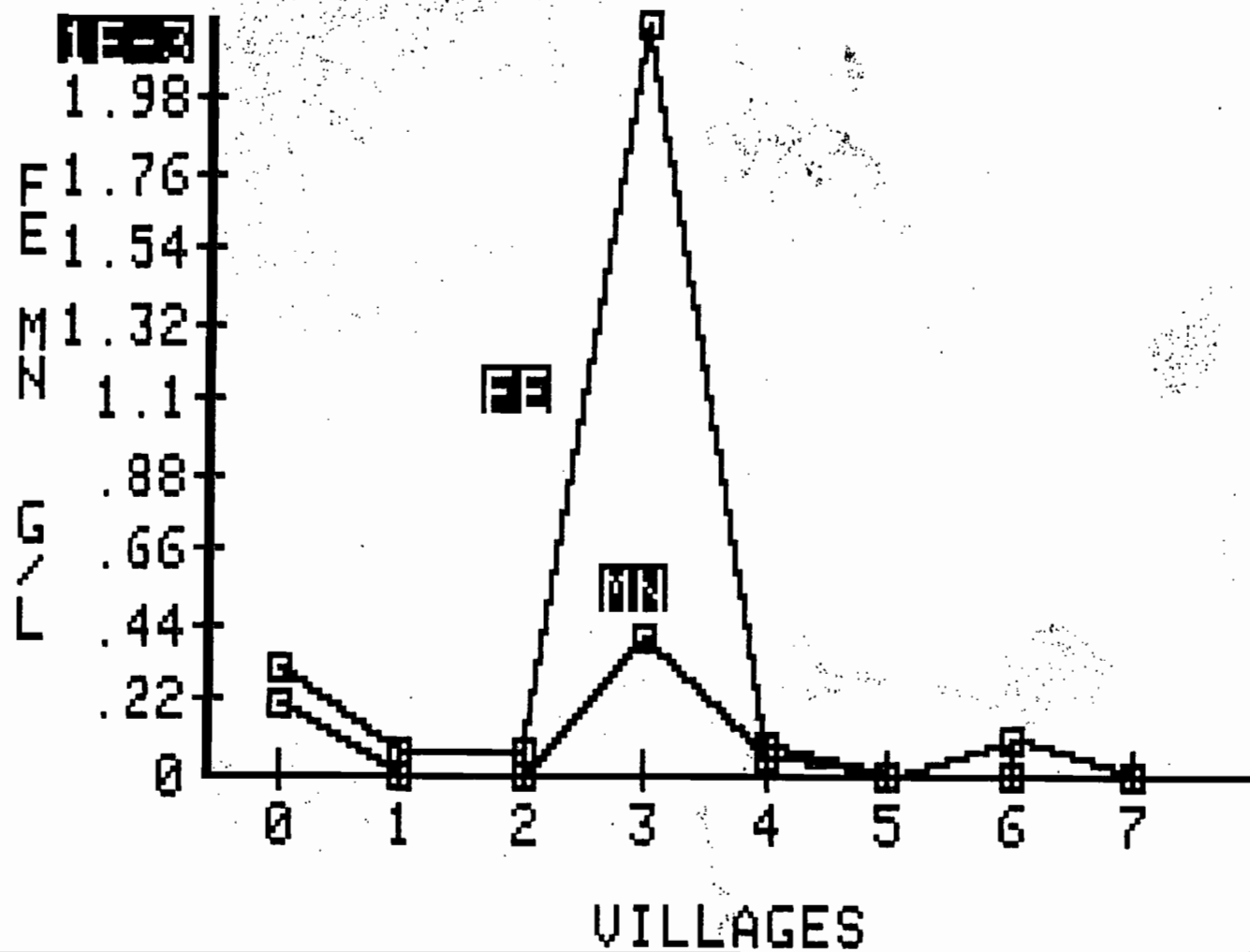
Tableau: 6

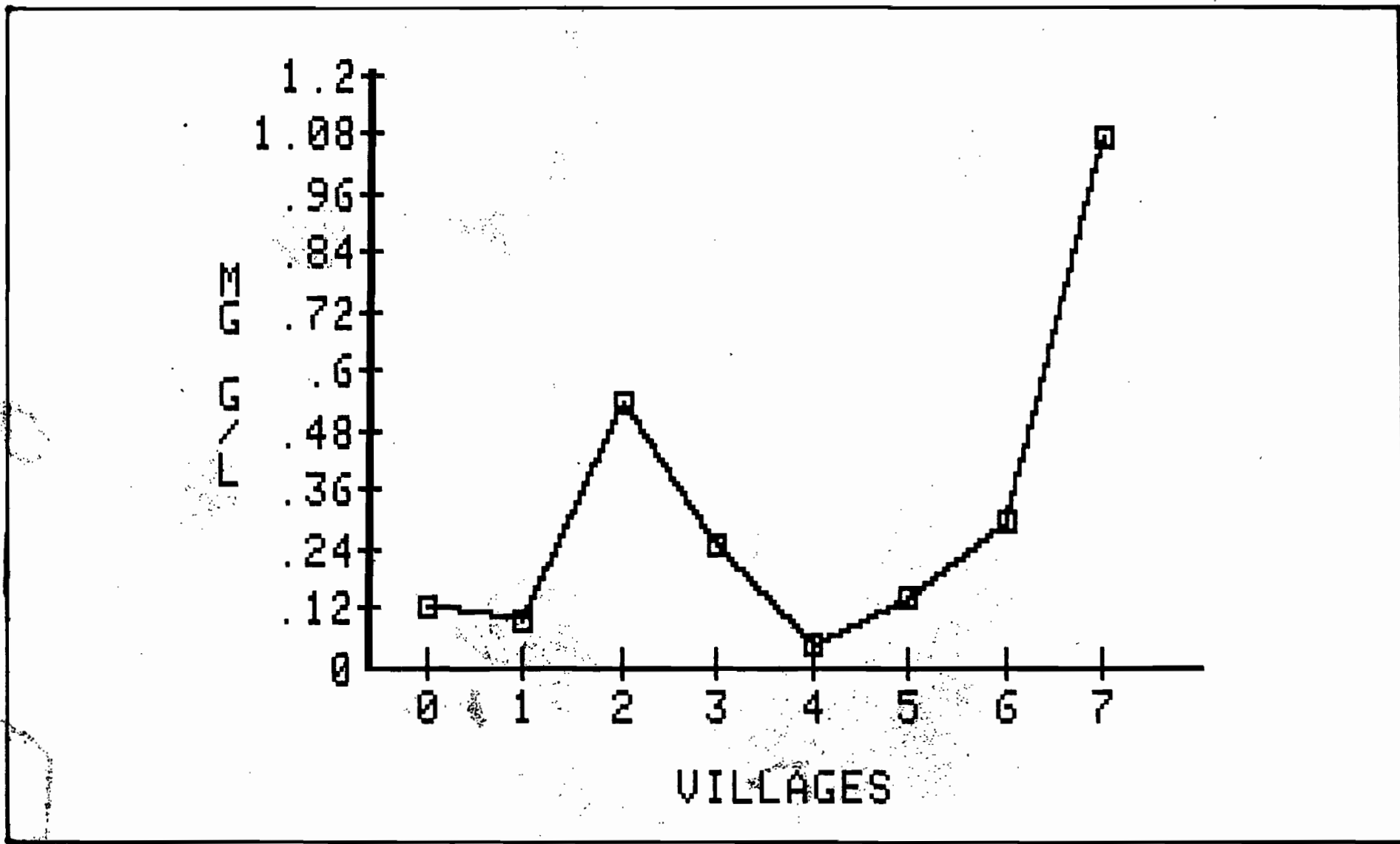


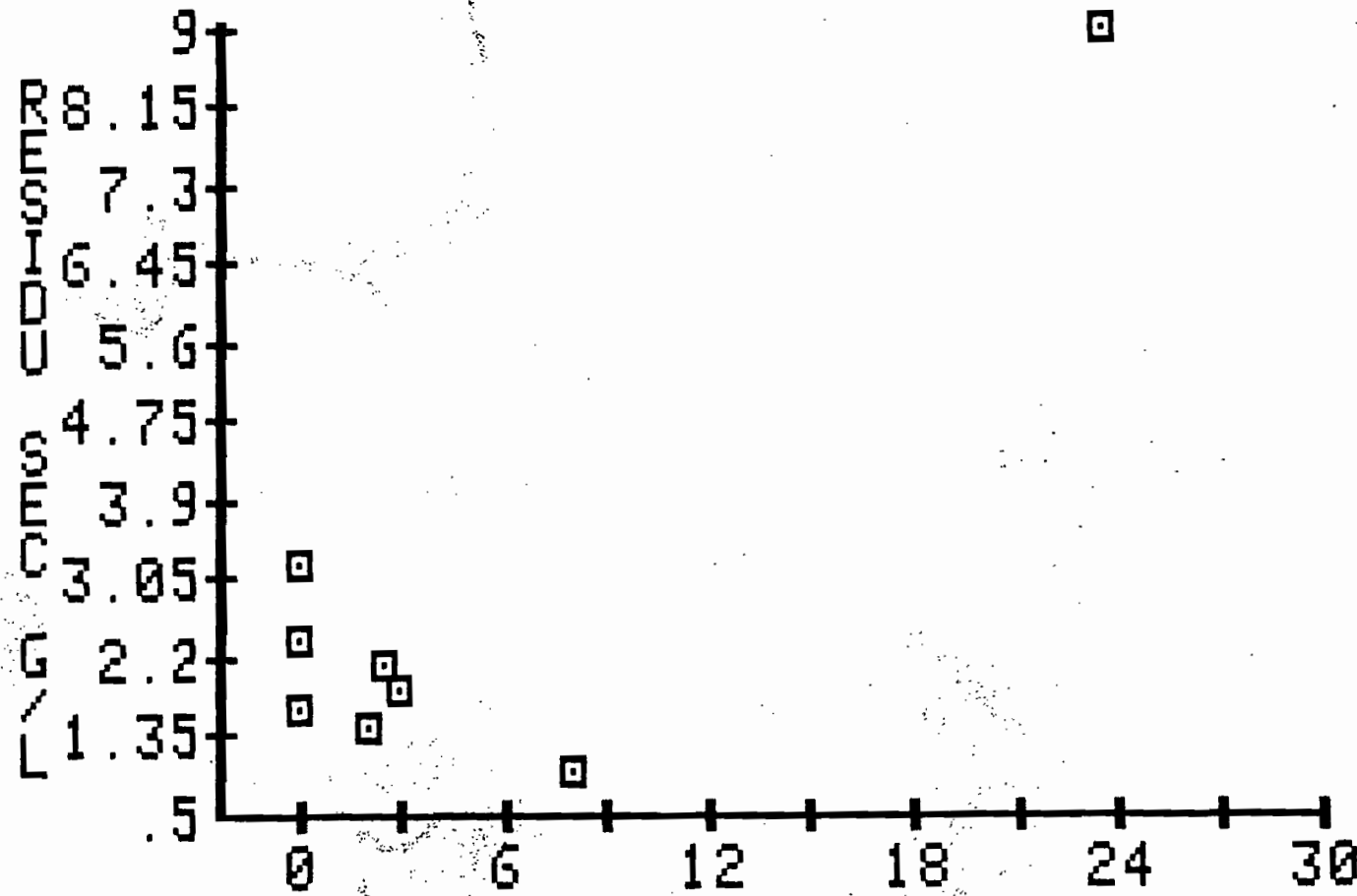


N.B : les chiffres en abscisse correspondent aux n° des échantillons.









DISTANCE AU LAG DE GUIERS M

X SCALE BY 1000

### III-2 HYDROCHIMIE

#### Confrontation des résultats du Nord et du Sud

##### Introduction

Dans le souci de présenter des solutions rationnelles et globales nous avons été amenés à confronter les deux études menées parallèlement dans le Nord et le Sud de Keur Noman San.

En effet cette confrontation permettra à l'organisme initiateur du projet intégré de Keur Noman San, en l'occurrence le Church World Service de disposer de conclusions générales en vue de prendre les décisions nécessaires pour la résolution de l'ensemble des problèmes posés par l'alimentation en eau des populations.

Nous allons présenter d'abord un tableau récapitulatif de l'ensemble des résultats ensuite une série de graphiques comparatifs et finalement les observations relevant de la confrontation.

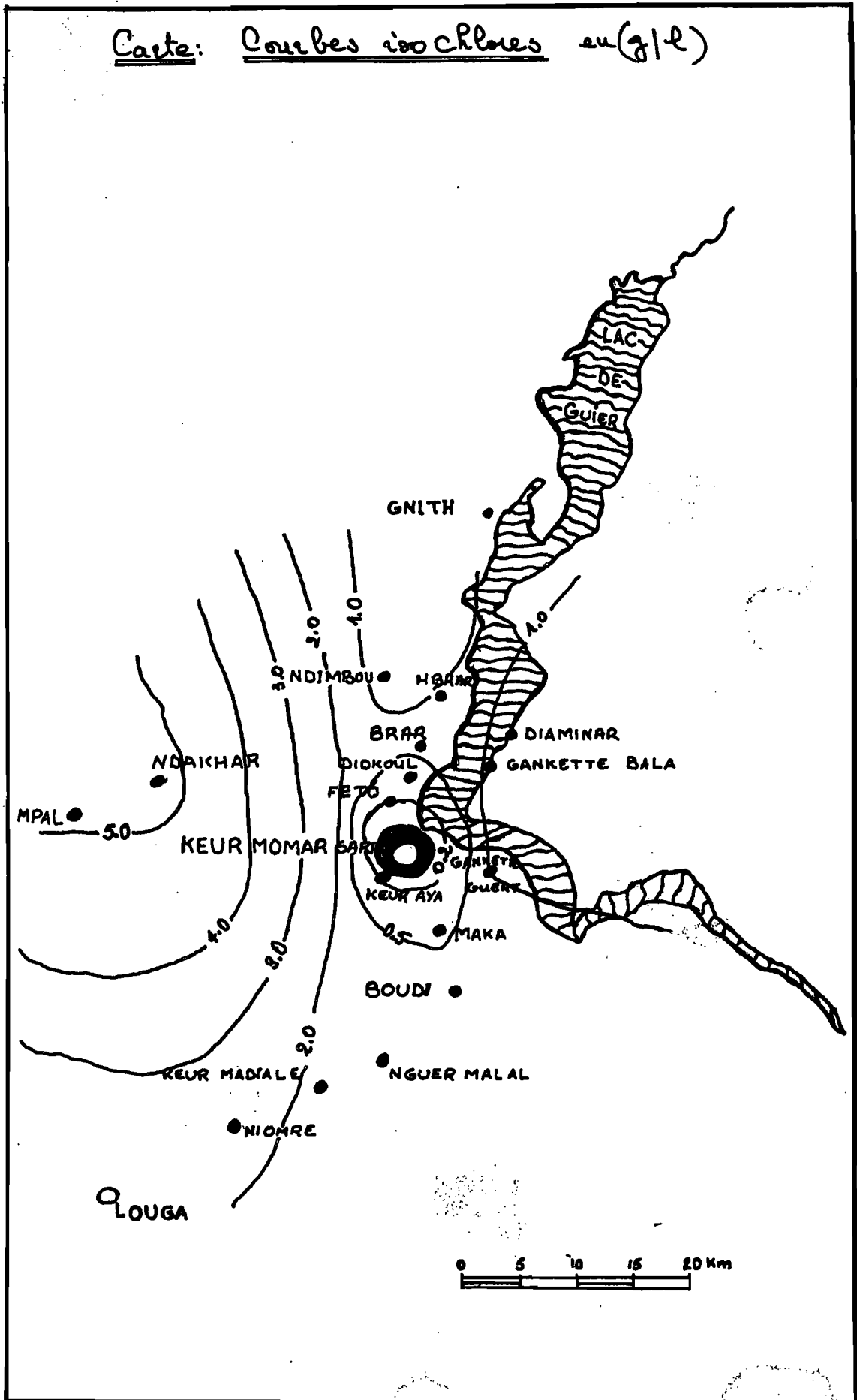
<u>Nappes superficielles: Puits Villages</u>								
Villages	Résidu sec (g/L)	Fe (g/L)	Mn (g/L)	Mg (g/L)	Cl <sup>-</sup> (g/L)	Na <sup>+</sup> (g/L)	Ca <sup>++</sup> (g/L)	d(cm)
BALA	2.4	10 <sup>-4</sup>	0	0.29	0.73	0.33	0.53	0
BRAR	1.8	22.10 <sup>-4</sup>	4.10 <sup>-4</sup>	0.24	0.54	0.24	0.4	3000
DIOKOUL	1.4	0.8 10 <sup>-4</sup>	0.5 10 <sup>-4</sup>	0.04	0.21	0.09	0.05	2000
GANKETT GUMENT	2.9	0	1.5 10 <sup>-4</sup>	0.6	1.00	0.45	0.58	2000
FETO	2.1	0	0	0.14	0.21	0.09	0.16	0
KEUR KANE	3.2	0.6 10 <sup>-4</sup>	0	0.53	0.62	0.3	0.21	0
K.M. SARR	2.3	0.6 10 <sup>-4</sup>	0	0.29	0.25	0.11	0.16	0
KEUR AVA	1.9	0	0	0.03	0.2	0.09	0.02	3000
LOVENS	1.6	0.6.10 <sup>-4</sup>	0	0.08	0.16	0.07	0.06	0
NDAKHAR	9.0	0	0	1.07	5.2	2.34	1.2	23500
NDIMBOU	0.96	3.10 <sup>-4</sup>	20.10 <sup>-4</sup>	0.12	0.31	0.14	0.16	8000
NGUER MALAL	2.5	0.8 10 <sup>-4</sup>	0	0.01	0.80	0.30	0.03	18500
NIOMRE	4.3	10.10 <sup>-4</sup>	25.10 <sup>-4</sup>	0.15	2.70	1.2	0.11	33500
<u>Nappes Profondes: Forages</u>								
BOUDI	1.5	0.8 10 <sup>-5</sup>	0	0.009	0.45	0.20	0.02	10000
KEUR MADINE	2.5	0	10 <sup>-4</sup>	0.07	0.13	0.06	0.03	25000
K.M. SARR	2.3	0	0	0.14	0.25	0.11	0.16	0
NGUER MALAL	2.8	0	0	0.05	0.15	0.07	0.17	18500

d = distance orthogonale au bc

Tableau 7

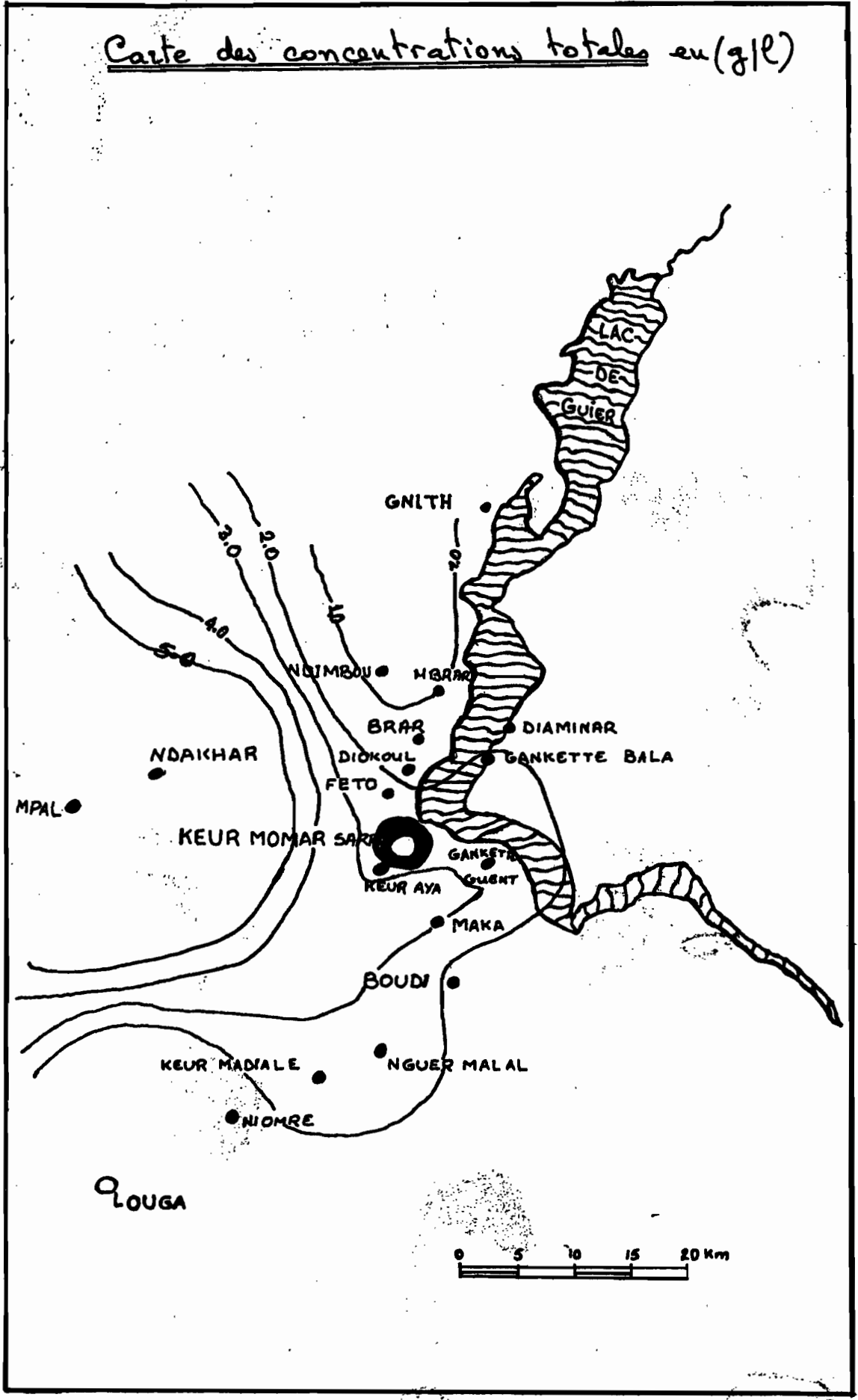
Tableau récapitulatif: des caractéristiques des eaux

Carte: Courbes isochlores au (g/l)





Carte des concentrations totales en (g/l)



Correspondance des chiffres mis en abscisse  
sur les graphiques comparatifs

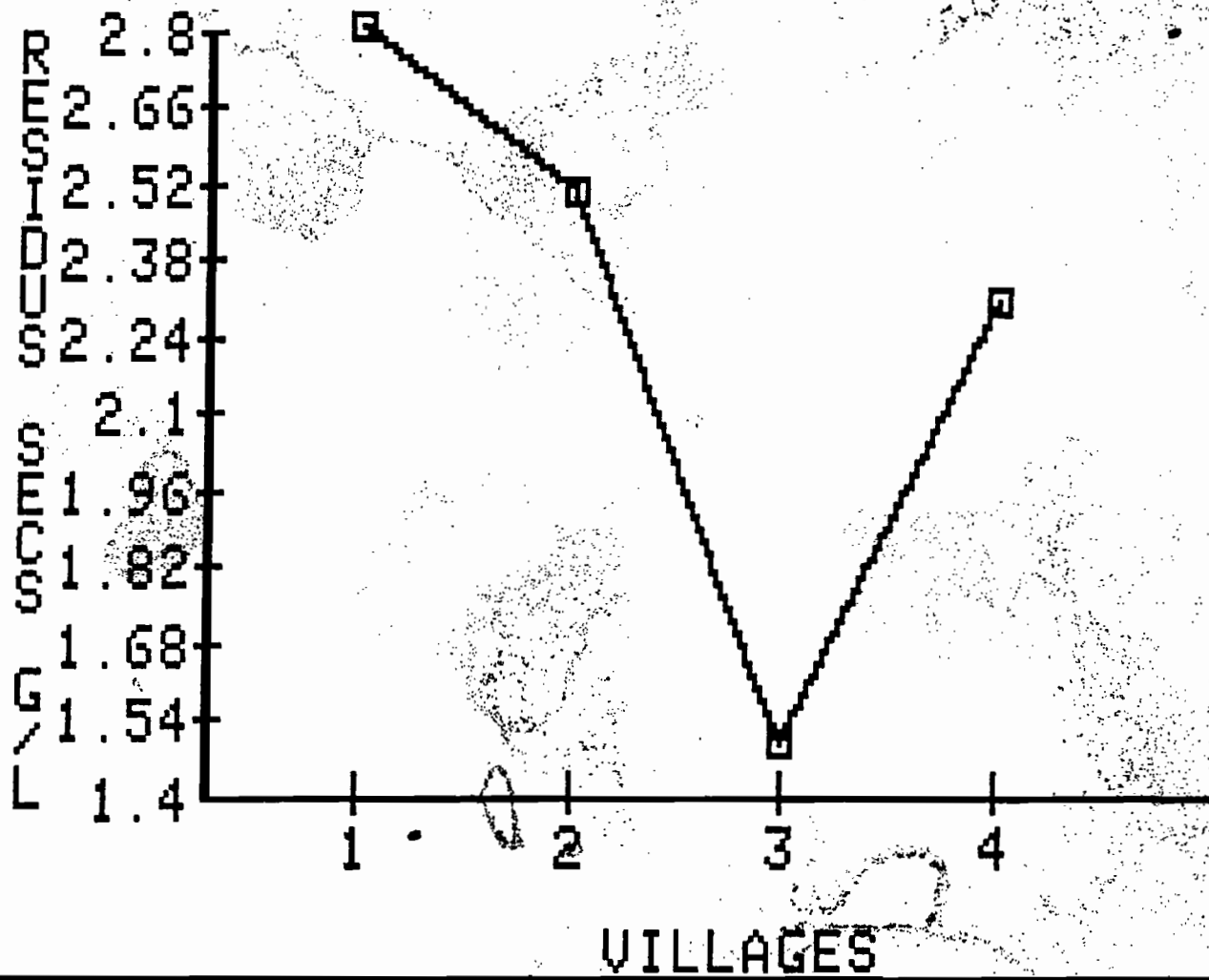
Puits villageois

- |    |                 |
|----|-----------------|
| 1  | Balla           |
| 2  | Niomré          |
| 3  | Guar Malal      |
| 4  | Diolkoul        |
| 5  | Ganketta Guant  |
| 6  | keur Homar Sarr |
| 7  | Dimbou          |
| 8  | keur Kane       |
| 9  | Brar            |
| 10 | Ndelkhar        |
| 11 | Feto            |
| 12 | Loyana          |
| 13 | keur Aya        |

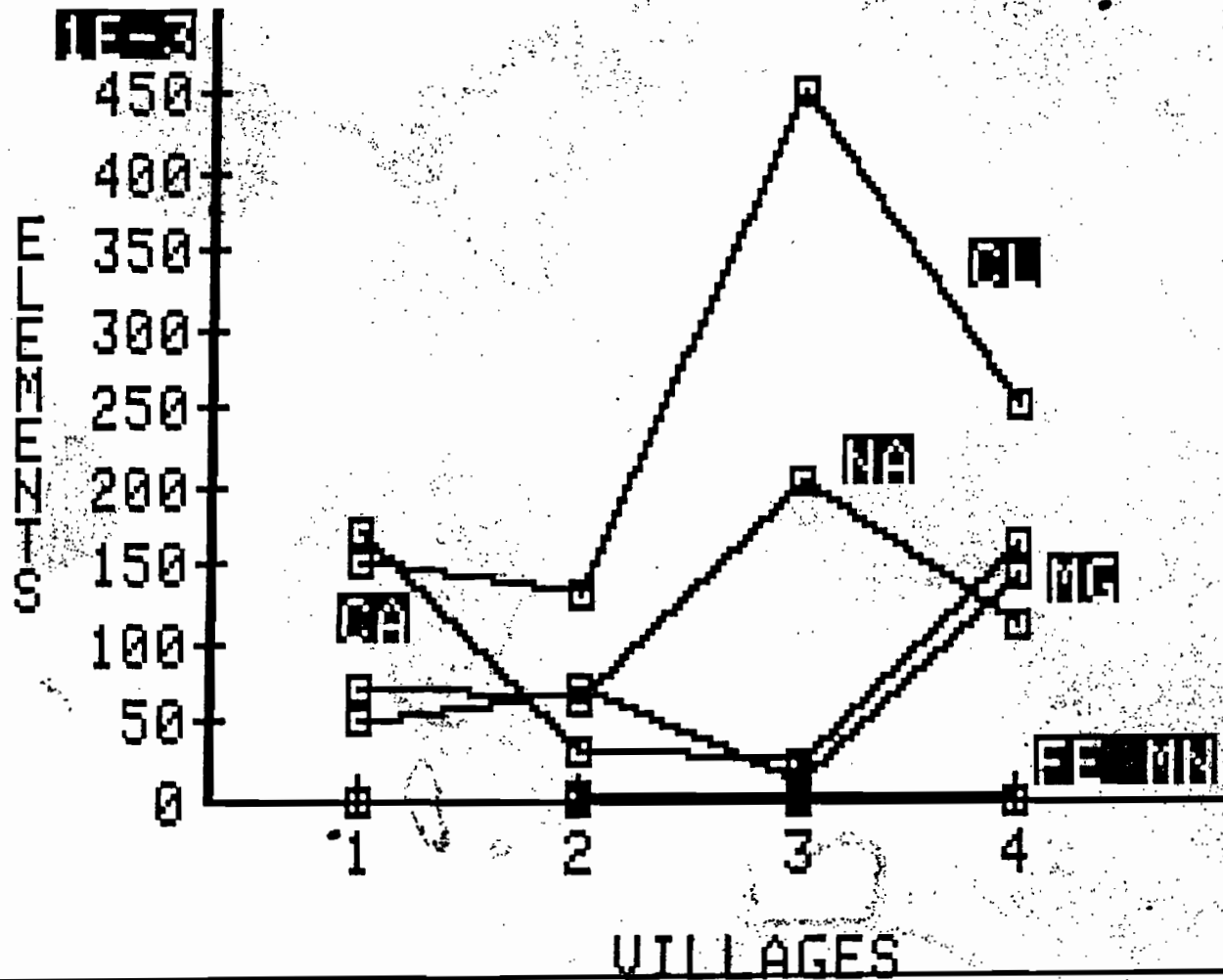
Forages

- |   |                 |
|---|-----------------|
| 1 | Guar Malal      |
| 2 | keur Mediolo'   |
| 3 | Boudi           |
| 4 | keur Homar Sarr |

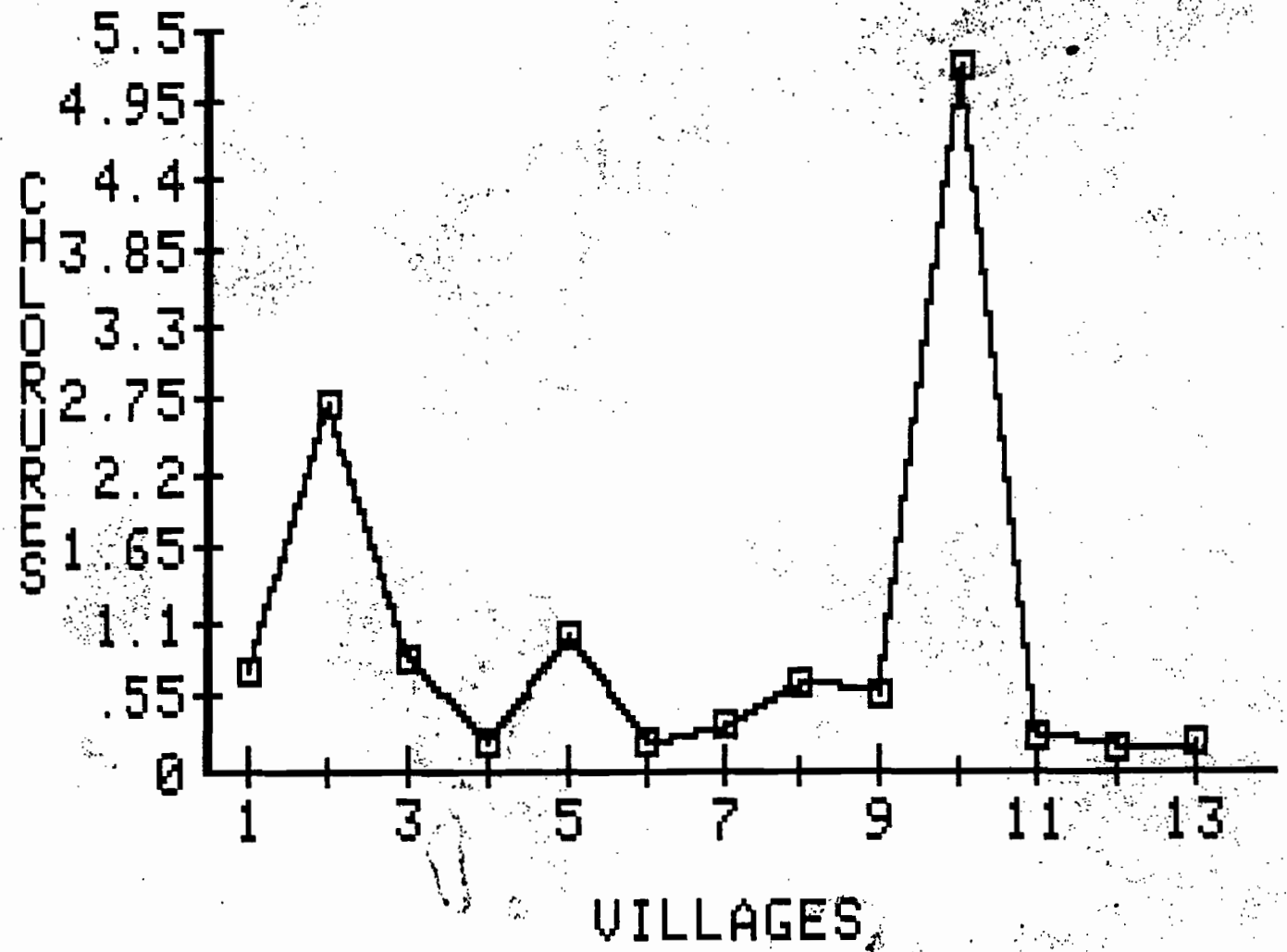
# GRAPHIQUE COMPARATIF



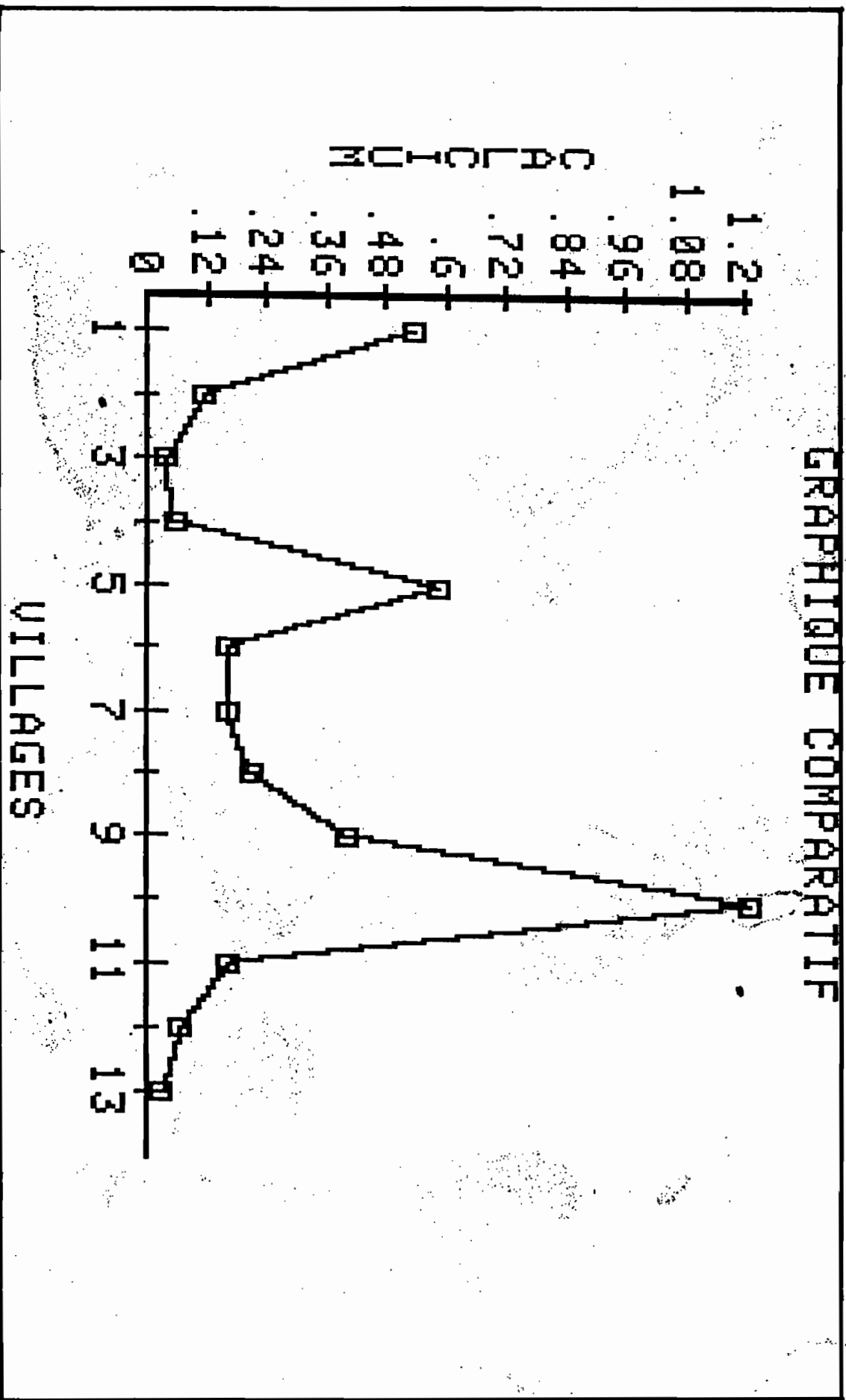
# GRAPHIQUE COMPARATIF



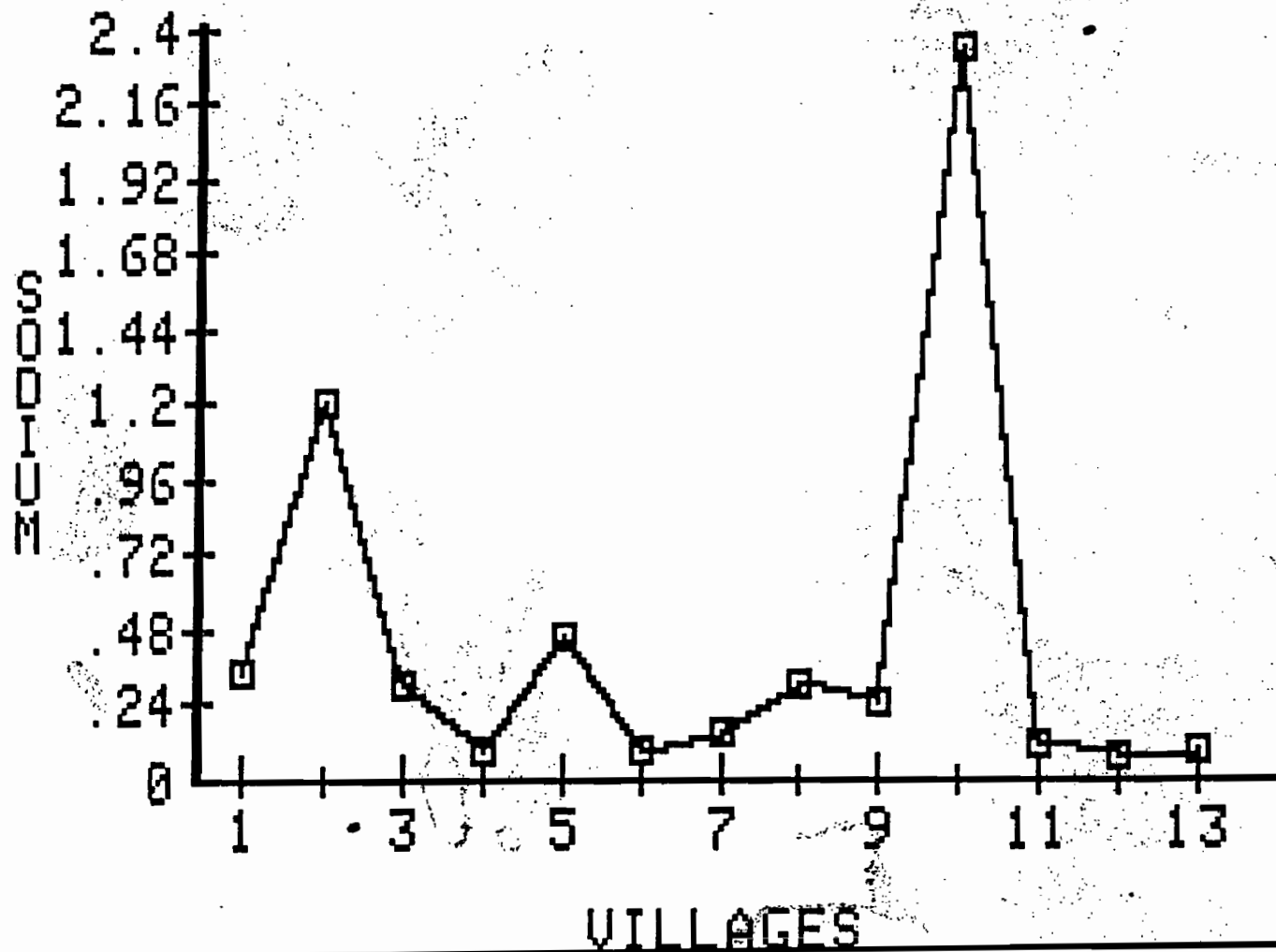
# GRAPHIQUE COMPARATIF



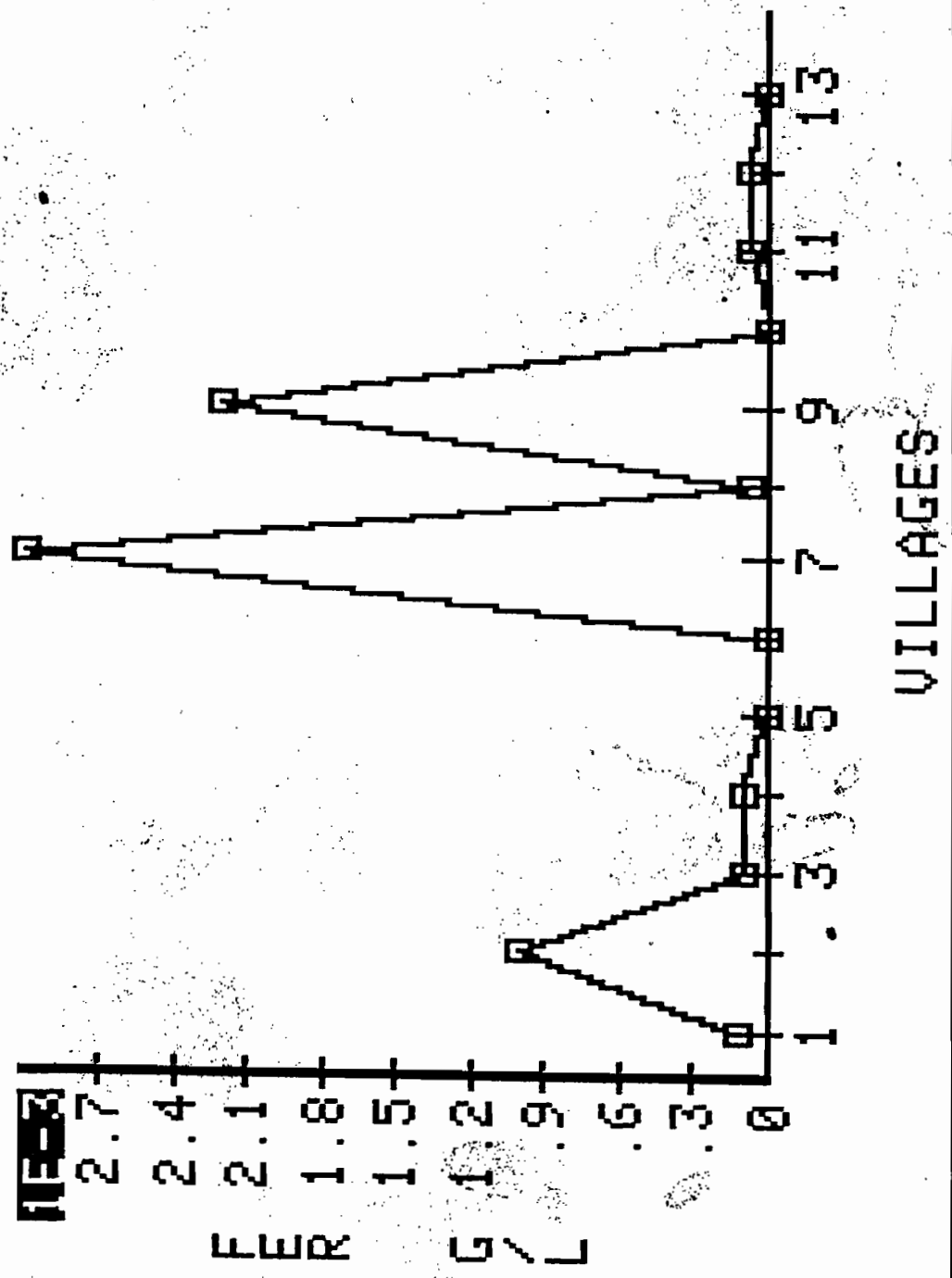
# GRAPHIQUE COMPARATIF



# GRAPHIQUE COMPARATIF

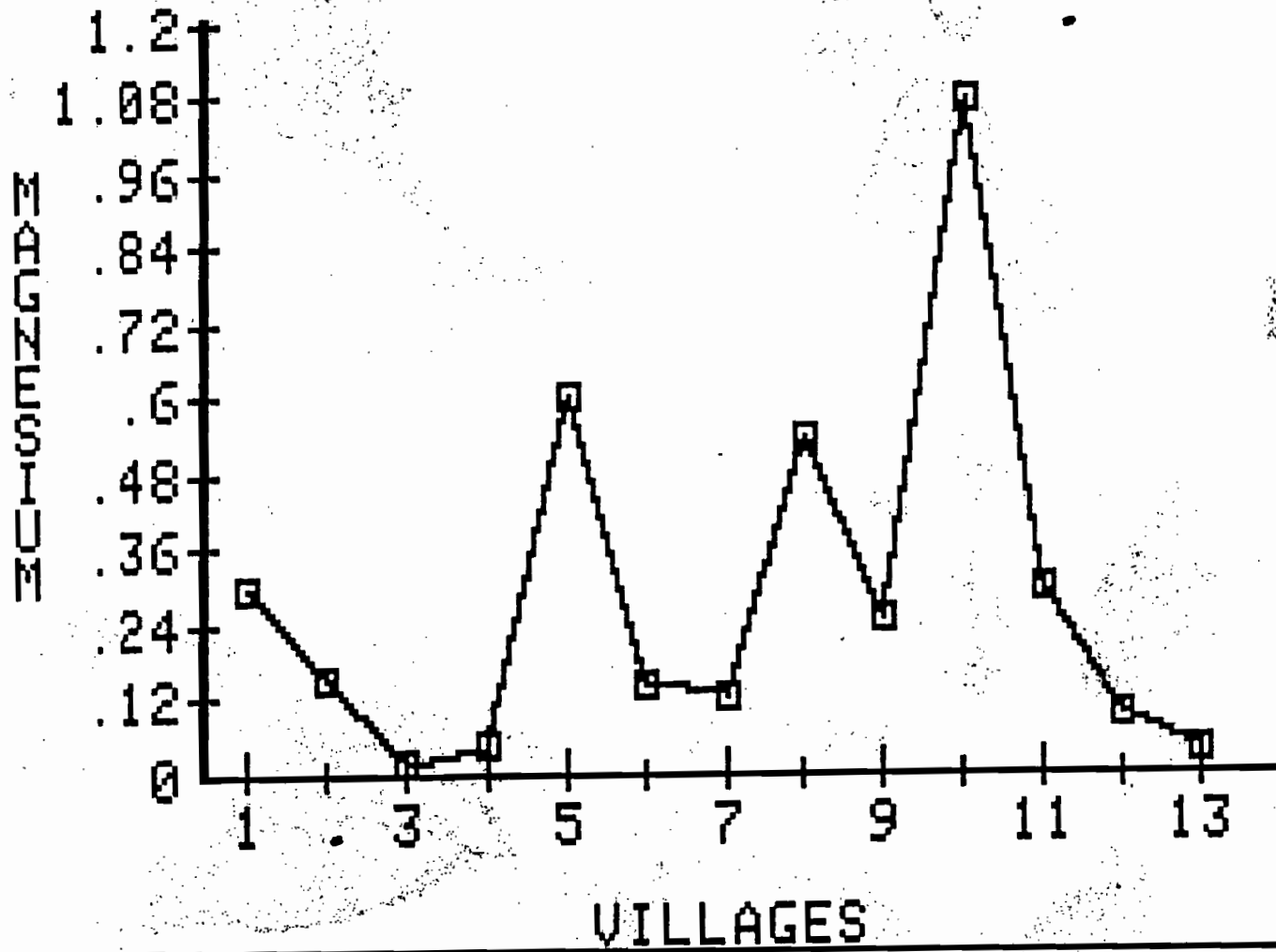


GRAPHIQUE COMPARATIF

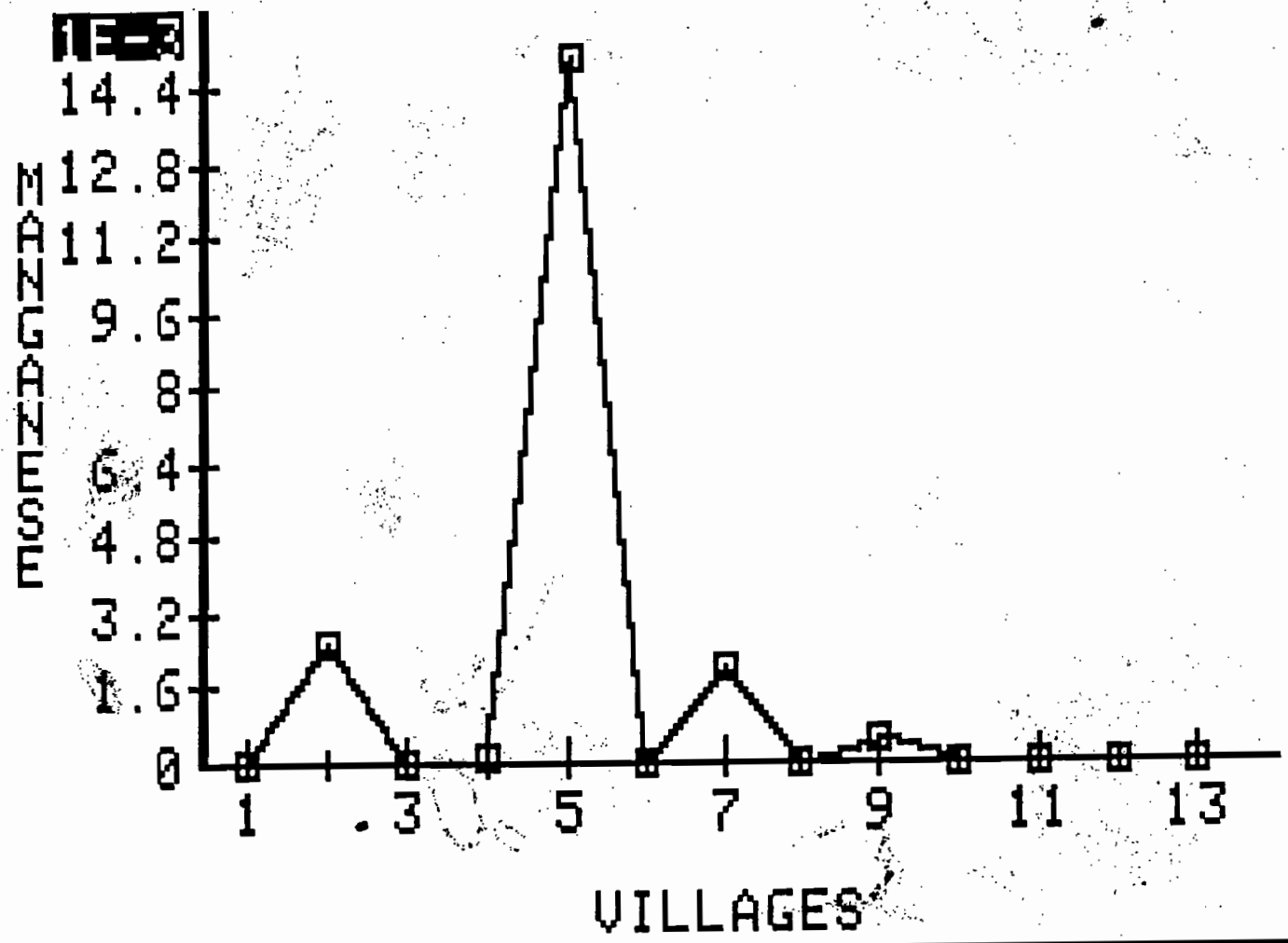




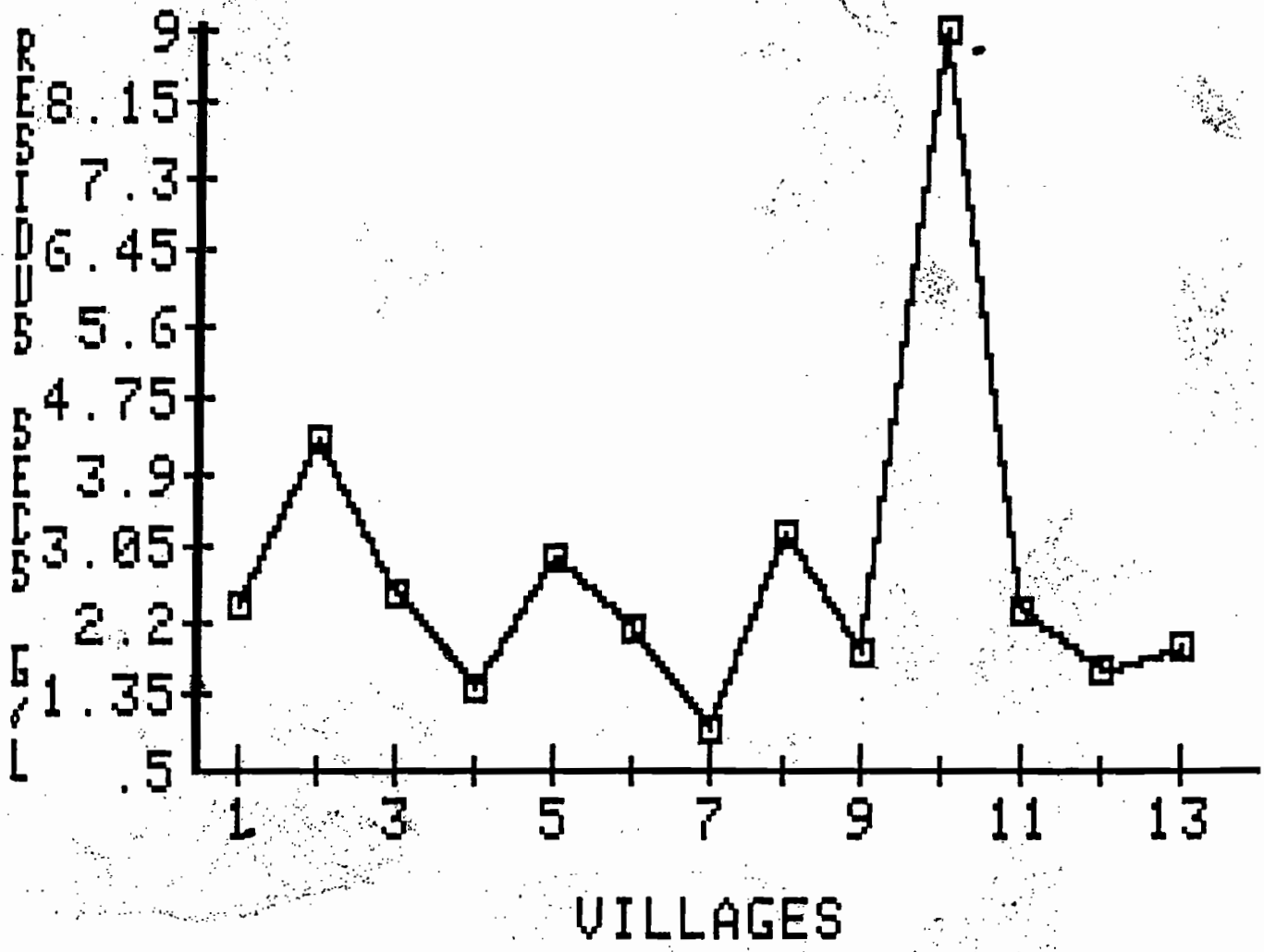
# GRAPHIQUE COMPARATIF



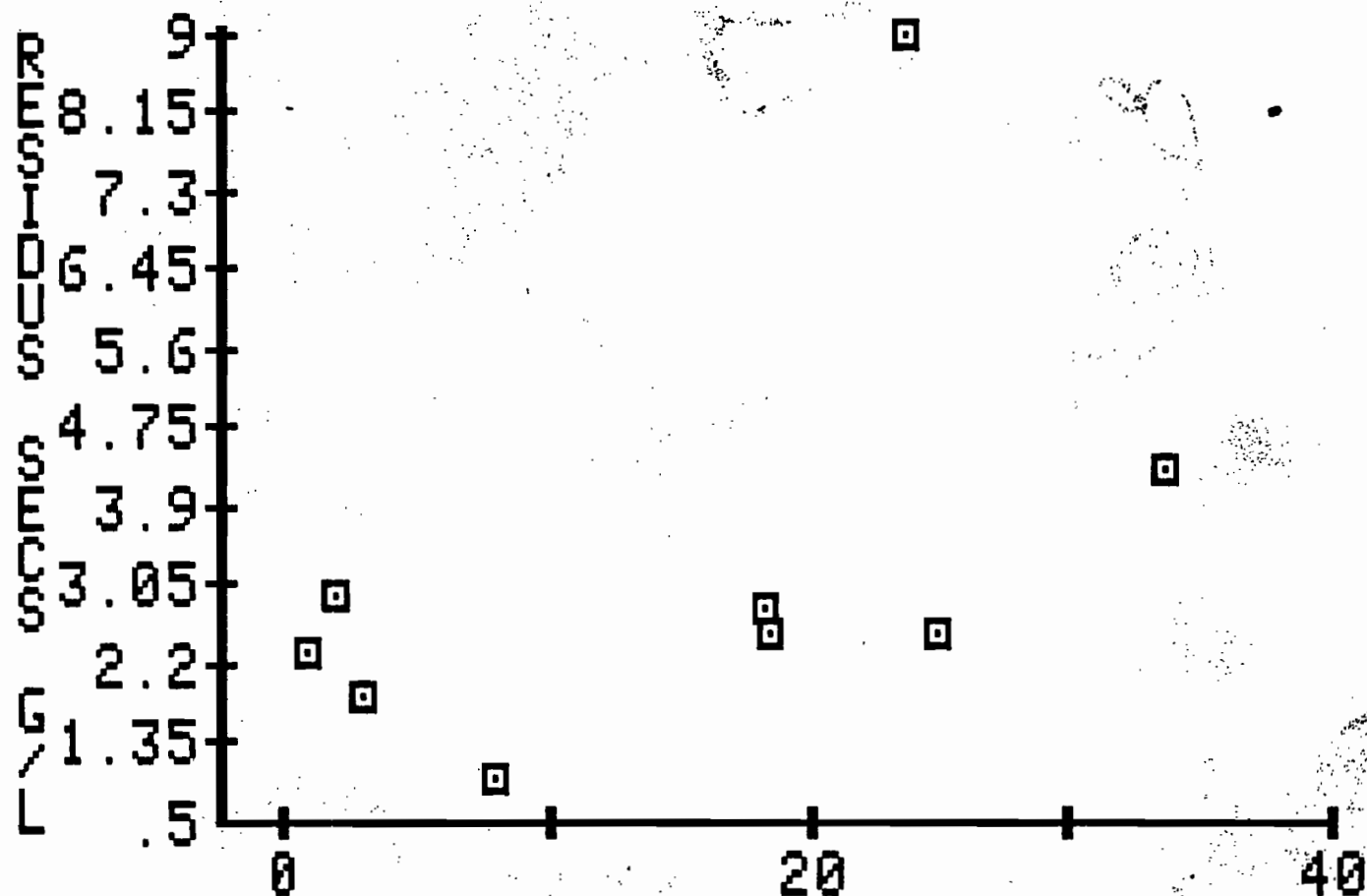
# GRAPHIQUE COMPARATIF



# GRAPHIQUE COMPARATIF



# GRAPHIQUE COMPARATIF



DISTANCE ORTHOGONALE DU LAC DE GUIERS

X SCALE BY 1000

### Observations

En confrontant les résultats des deux études menées parallèlement dans le Nord et le Sud de Keur Momar Saou, on constate que le chlore reste l'élément prépondérant dans les eaux de la nappe superficielle. En fait si autour du lac les teneurs restent relativement faibles, elles demeurent assez importantes dans les nappes du nord-ouest et du sud-ouest. (cf courbes isochlores) Les graphiques comparatifs du chlore nous indiquent que ce sont dans ces zones plus précisément entre Niomé et Idakhar qu'on rencontre les teneurs maximum - soit environ  $49 \text{ g/l}$  rendant ainsi ces eaux impropres à la consommation.

On note également que les puits du village de Galette Guet recibent des teneurs importantes malgré leur proximité du lac qui pourrait provoquer une recharge naturelle des nappes peu profondes entraînant ainsi une diminution des concentrations de celles-ci. Quant aux zones excessivement salées, on remarque qu'elles sont totalement recouvertes par la langue salée qui avance vers l'intérieur. Ces eaux marines avec une concentration moyenne de  $35 \text{ g/l}$  contaminent les nappes superficielles peu profondes d'où leur salinité excessive. Les teneurs élevées en chlore expliquent en général les résidus secs assez élevés que nous avons trouvés dans cette zone. Ainsi les eaux peuvent être classées de chlorurées à Keur Momar Saou à hyperchlorurées dans le nord-ouest autour de Idakhar (résidu sec de  $9 \text{ g/l}$ ).

En ce qui concerne les éléments secondaires ( $Mn^{++}$ ,  $Fe^{++}$ ,  $Hg^{++}$ ) leurs teneurs ne présentent aucun danger pour les consommateurs si l'on s'en tient aux normes préconisées par l'O.M.S hormis le seul cas du village de Niomé que nous avons signalé précédemment.

D'autres éléments comme le sodium et le calcium sont aussi assez abondants dans les eaux du sud.

Les graphiques comparatifs de ces deux éléments nous indiquent de fortes teneurs dans le nord-ouest et le sud-ouest. Si la présence du sodium peut être expliquée par les fortes teneurs de l'ion chlorure, celle du calcium est due sans doute à la nature géologique du sol qui est constitué en grande partie par des roches calcaires. Ces eaux sont dites alors calcifiantes.

L'étude des nappes profondes au sud, par l'intermédiaire des forages profonds, nous indique que les eaux de celles-ci contiennent des teneurs acceptables pour tous les éléments étudiés et restent les seules sources disponibles pour l'alimentation des populations.

### Conclusion

La confrontation des résultats nous indique que le Nord-ouest autour de Ndakhar est la zone qui contient les plus fortes teneurs dans ces nappes superficielles en ce qui concerne les éléments étudiés ; ce qui rend la plupart des eaux de cette zone impropres à la consommation.

Ainsi en plus de la carence de l'eau, les populations du Nord-ouest sont confrontées à de sérieux problèmes pour

s'approvisionner en eau de bonne qualité.

Une comparaison avec les cartes déjà établies laisse croire que ce phénomène va en s'empirant d'où la nécessité de trouver des solutions rapides et actionnelles.

Conclusion:

Cette étude hydrogéologique de la région du lac de Guiers autour de Keur Noman Sarr nous a permis de dresser un bilan partiel, mais assez intéressant des ressources en eau de la région considérée.

En fait l'étude s'est effectuée principalement à partir de la nappe superficielle du continental Terminal dans une large mesure, et dans une moindre mesure (dans le sud) à partir des nappes profondes du paléocône et du Naestrichien. Le bilan serait beaucoup plus intéressant si l'on était parvenu à étudier la qualité des eaux dans les nappes profondes de la partie Nord encore plus affectée par l'avancée du biseau salé.

Il convient également de signaler que pas mal de difficultés ont été rencontrées lors de la détermination de certains paramètres physico-chimiques. Ces difficultés pour la plupart sont inhérentes aux procédures de laboratoire souvent dispendieuses. A cause de ces difficultés certains paramètres importants comme :  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ...; qui pourraient rendre le bilan plus global, n'ont pas pu être déterminés.

Ainsi nous recommandons vivement l'achat d'un appareil à "Absorption atomique" qui permettrait la détermination de tous ces paramètres d'une manière assez rapide et surtout même plus précise et rendre ainsi les bilans plus globaux. Toutefois, ce bilan quoique partiel nous a permis de tirer un certain nombre de conclusions assez pratiques sur la



qualité des eaux des nappes exploitées pour l'alimentation en eau des populations.

En effet on constate aisément que l'appauvrissement des nappes s'accompagne au fur et à mesure d'une salinité progressive de celles-ci, salinité tantôt d'origine marine tantôt d'origine géologique.

L'établissement des courbes de concentrations totales et isochores, ont permis de localiser les zones affectées par l'avancée de la langue salée (ce qui confirme les cartes déjà établies), expliquant ainsi les différences rencontrées entre le Nord et le Sud du puits de la qualité des eaux.

Il convient néanmoins de préciser que la salinité affecte surtout les nappes superficielles du Continental Terminal qui recèlent ainsi les teneurs les plus élevées contrairement à celles profondes du paléocène et du maestrichtien exploitées par forages et qui restent les seules sources d'espérance pour l'alimentation en eau des populations.

### Recommandations

Après ces quelques conclusions pratiques dégagées, un certain nombre de recommandations s'avère nécessaire au vu d'améliorer la qualité des eaux voire même de trouver des solutions à l'ensemble des problèmes posés par l'alimentation en eau des populations.

Dans la partie Nord la recommandation principale consiste à inciter les populations à se regrouper en villages assez importants ce qui permettrait d'assurer une alimentation globale à partir d'une adduction au niveau de la conduite

principale du lac de Guiers, ou par la construction de forages profonds.

### Raccommandations Générales

- Entretien des puits.
- Établissement d'une fiche annuelle pour chaque puits afin de suivre l'évolution des paramètres physicochimiques.
- Suivi constant de l'évolution du biseau.
- Utilisation de la filtration lente à partir de matériaux locaux (Procédé étudié par M. Mohamed Diop), pour ceux qui s'alimentent directement à partir du lac.
- Recours à la recharge artificielle ; avec l'installation d'une station pilote à Kaur Homar Sar.

En fait malgré la faible pluviométrie nous disposons relativement d'une quantité d'eau assez importante durant la saison des pluies allant de juillet à septembre. En effet le lac de Guiers constitue une réserve d'eau immense dont la plus grande se perd chaque année par évaporation (79% du volume total). Ainsi pendant la saison des pluies on perd des quantités assez énormes d'eau qu'on aurait pu utiliser pour compenser le déficit accusé pendant la saison sèche. Cette eau peut être stockée de façon économique dans les nappes superficielles qui constituent un grand réservoir souterrain. Cette opération est possible grâce à un moyen technique : la recharge artificielle. Elle consiste à introduire de l'eau dans une formation perméable en vue de la réutiliser dans des conditions de qualité et de régime différents. Elle permet par le stockage économique de ces eaux

de relever le niveau des nappes superficielles facilitant ainsi le captage des eaux par les puits villageois.

En plus de centraliser les eaux du lac perdues par évaporation et ruissellement, la recharge artificielle permet :

- modifier la qualité des eaux.
- restaurer un équilibre ou une protection contre des perturbations diverses.
- accroître les ressources et optimiser les régimes d'exploitation.

Ainsi les populations de la région pourront trouver un remède à l'appauvrissement des nappes et par conséquent atténuer la salinité des puits.

Rappelons que plusieurs pays ont déjà utilisé efficacement la technique de la recharge artificielle pour lutter contre les méfaits de la sécheresse ; parmi ceux-là on peut citer entre autres : l'Etat de Californie, la Tunisie, Toulouse et surtout l'Etat d'Israël qui grâce à la recharge artificielle à partir du lac Tibériade au Nord (qui occupe la même position que le lac Guiers vis à vis du Soudan et qui est soumis à peu près aux mêmes conditions climatiques) est devenu un véritable jardin en plein désert et parmi le premier producteur de fruits du monde.

Cette station pilote pourrait ainsi constituer un modèle pour certains pays du Sahel où la technique de la recharge s'avérerait efficace.

# ANNEXES

Fiches types des points d'eau

# FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA	ECHANTILLON N° <b>3</b>
SOUS-PREFECTURE DE KEUR MOUAR SARIN	DATE DE PRELEVEMENT 14-11-1984
VILLAGE DE <b>BRAR</b>	LABORATOIRE D'ANALYSE GNITH EPT

Caracteristiques physiques (m)		Parametres physico-chimiques (g/l)	
NIVEAU DYNAMIQUE	5.47	Ca <sup>++</sup>	0.4
PROFONDEUR	5.40	Mg <sup>++</sup>	0.24
DIAMETRE	1.59	Fe <sup>++</sup>	22.10 <sup>-4</sup>
HAUTEUR DE MARGELLE	0.95	Mn <sup>++</sup>	4.10 <sup>-4</sup>
		Na <sup>+</sup>	0.24
		Cl <sup>-</sup>	0.64
		Residu sec	1.8
		Temperature	26.5°C
		Couleur	
		Turbidite	
		Conductivite	

## Observations Complementaires

Puits situe hors de village abandonné a cause de la teneur en sel. Malheureusement nous n'avons pas trouve sur place quelqu'un qui pourrait nous fournir de renseignements beaucoup plus details.

### FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA	ECHANTILLON N° 6
SOUS.PREFECTURE DE ..... ... KEUR NOMAR SARR .....	DATE DE PRELEVEMENT ..... ... 14 . 11 . 1984 .....
VILLAGE DE GANKETTE ... BALA .....	LABORATOIRE D'ANALYSE ... ... E.P.T. GNITH .....

Caracteristiques physiques (metres)		Parametres physico-chimiques (g/l)	
NIVEAU DYNAMIQUE	6.30	Ca <sup>++</sup>	0.53
PROFONDEUR	7.20	Mg <sup>++</sup>	0.29
DIAMETRE	1.55	Fe <sup>++</sup>	10 <sup>-4</sup>
HAUTEUR DE MARGELLE	0.85	Mn <sup>++</sup>	0
		Na <sup>+</sup>	0.33
		Cl <sup>-</sup>	0.73
		Residu sec	2.4
		Temperature	27.5°C
		Couleur	(mg/l de Ptka) 10
		Turbidite	---
		Conductivite	---

#### Observations Complementaires

Ce puits est très mal entretenu, et présente trop de saleté. Néanmoins son eau est assez abondante, mais salée également. Avec la crue, il est abandonné par les villageois qui préfèrent l'eau du lac.

## FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA		ECHANTILLON N° 1	
SOUS-PREFECTURE DE ... KEUR MOHAR SARR ...		DATE DE PRELEVEMENT ... 14-11-1984 ...	
VILLAGE DE DIAMINAR ... LOYENG ...		LABORATOIRE D'ANALYSE ... GNITH... EPT ...	
Caracteristiques physiques (m)		Parametres physico-chimiques (g/l)	
NIVEAU DYNAMIQUE	3.55	Ca <sup>++</sup>	0.06
PROFONDEUR	5.45	Mg <sup>++</sup>	0.09
DIAMETRE	1.55	Fe <sup>++</sup>	6.10 <sup>-5</sup>
HAUTEUR DE MARGELLE	0.95	Mn <sup>++</sup>	0
		Na <sup>+</sup>	0.07
		Cl <sup>-</sup>	0.31
		Residu sec	1.6
		Temperature	25°C
		Couleur	
		Turbidite	
		Conductivite	1000 (µs)

Observations Complementaires

Ce puits comporte une eau tres claire et abondante. Toutefois par paresse (d'après le chef du village) les femmes preferent puiser l'eau du lac pendant la crue delaisant ainsi le puits à ciel ouvert qui devient tres sale à la longue.

FICHE TYPE DE POINTS D'EAU		
REGION DE LOUGA		ECHANTILLON N° 5
SOUS-PREFECTURE DE ..... - KEUR. MOUPE. SARR - .....		DATE DE PRELEVEMENT ..... - 14 - 11 - 84 - .....
VILLAGE DE FETO .....		LABORATOIRE D'ANALYSE ..... - GNITH. E.P.T. - .....
Caracteristiques physiques (m)		Parametres physico-chimiques (g/l)
NIVEAU DYNAMIQUE	4.10	Ca <sup>++</sup> 0.16
PROFONDEUR	5.90	Mg <sup>++</sup> 0.14
DIAMETRE	1.50	Fe <sup>++</sup> 0
HAUTEUR DE MARGELLE	0.80	Mn <sup>++</sup> 0
		Na <sup>+</sup> 0.09
		Cl <sup>-</sup> 0.21
		Residu sec 2.1
		Temperature °C ..... - 26.5 - .....
		Couleur .....
		Turbidite .....
		Conductivite .....
<p align="center"><u>Observations Complementaires</u></p> <p>Ce puits situé tout juste en bordure du lac de Guiers fut construit en 1983. Il recèle une eau relativement douce et abondante. Avant sa construction en 1983 les populations s'approvisionnaient à partir du lac et connaissaient ainsi d'énormes difficultés quand celui-ci se retirait lors de la période de décrue.</p>		



## FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA		ECHANTILLON N° 0			
SOUS-PREFECTURE DE ..... - Kest Homan Sacc -		DATE DE PRELEVEMENT ..... - 14-11-1984 -			
VILLAGE DE - NDIMBOU -		LABORATOIRE D'ANALYSE ..... - GNITH - E.P.T -			
<b>Caracteristiques physiques</b>		<b>Parametres physico-chimiques</b>			
NIVEAU DYNAMIQUE	20.10	Ca <sup>++</sup>	0.15	Temperature	23°e
PROFONDEUR	20.73	Mg <sup>++</sup>	0.12	Couleur	.....
DIAMETRE	2.08	Fe <sup>++</sup>	8.10 <sup>-4</sup>	Turbidite	.....
HAUTEUR DE MARGELLE	0.80	Mn <sup>++</sup>	2.10 <sup>-4</sup>	Conductivite	.....
		Na <sup>+</sup>	0.14		
		Cl <sup>-</sup>	0.31		
		Residu sec	0.46		

Observations Complementaires

Ce puits est situe' completement hors du village à environ 1500 metres dans une vallée.

Il fut construit en 1950 et comportait au depart une eau assez abondante et douce. Puis il a commence' à s'appauvrir avec un accusant en même temps une salinite' progressive. Par suite les villageois se sont déplacés vers l'ouest esperant y découvrir une eau de qualite' meilleure ce qui malheureusement ne fut pas le cas.

## FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA		ECHANTILLON N° 4		
SOUS-PREFECTURE DE ..... .. KEUR MOHAR SARR ..		DATE DE PRELEVEMENT ..... .. 14 - 11 - 1985 ..		
VILLAGE DE DIOKOUL .. .....		LABORATOIRE D'ANALYSE .. .. Grits - E.P.T ..		
<b>Caracteristiques physiques</b> (mètres)		<b>Parametres physico-chimiques</b> (g/l)		
NIVEAU DYNAMIQUE	7.22	Ca <sup>++</sup>	0.05	Temperature ... ... 29°C ...
PROFONDEUR	8.62	Mg <sup>++</sup>	0.04	Couleur (mg/l de - Pt/Co) - 10 -
DIAMETRE	1.58	Fe <sup>++</sup>	0.8 10 <sup>-4</sup>	Turbidité ... (after-matic) 9
HAUTEUR DE MARGELLE	0.80	Mn <sup>++</sup>	0.5 10 <sup>-4</sup>	Conductivité ... - (µS) - 1750 -
		Na <sup>+</sup>	0.09	
		Cl <sup>-</sup>	0.21	
		Residu sec	1.4	

Observations Complementaires

Situé non loin de Keur Mohar Sarr, le puits de Diokoul présente une eau assez claire et douce.

Malheureusement au moment de l'échantillonnage, nous n'avons trouvé personne sur place en vue de recueillir des informations complémentaires.

## FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA		ECHANTILLON N° 7	
SOUS-PREFECTURE DE ..... ... KEUR MOHAR SARR ..... VILLAGE DE NDAKHAR .....		DATE DE PRELEVEMENT ..... ... 14 11 1989 ..... LABORATOIRE D'ANALYSE ..... ... GNITH - E.P.T. ....	
<b>Caracteristiques physiques</b> (mètres)		<b>Parametres physico-chimiques</b>	
NIVEAU DYNAMIQUE	11.27	Ca <sup>++</sup>	1.20
PROFONDEUR	12.79	Mg <sup>++</sup>	1.07
DIAMETRE	1.58	Fe <sup>++</sup>	0
HAUTEUR DE MARGELLE	0.75	Mn <sup>++</sup>	0
		Na <sup>+</sup>	2.34
		Cl <sup>-</sup>	5.2
		Residu sec	9.0
		Temperature	26°C
		Couleur	---
		Turbidité	---
		Conductivité	---

Observations Complementaires

Ce puits construit en 1981 présentait au départ une eau assez douce et abondante. Avec le temps il a connu une salinité progressive et finalement les villageois, en général de Peuls l'ont abandonné au profit d'un puits nouvellement creusé situé à peine à 1500 m du premier. Ce puits présente les mêmes caractéristiques de départ que le précédent ce qui laisse supposer qu'il risque de connaître dans le temps une forte intrusion saline.

## FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

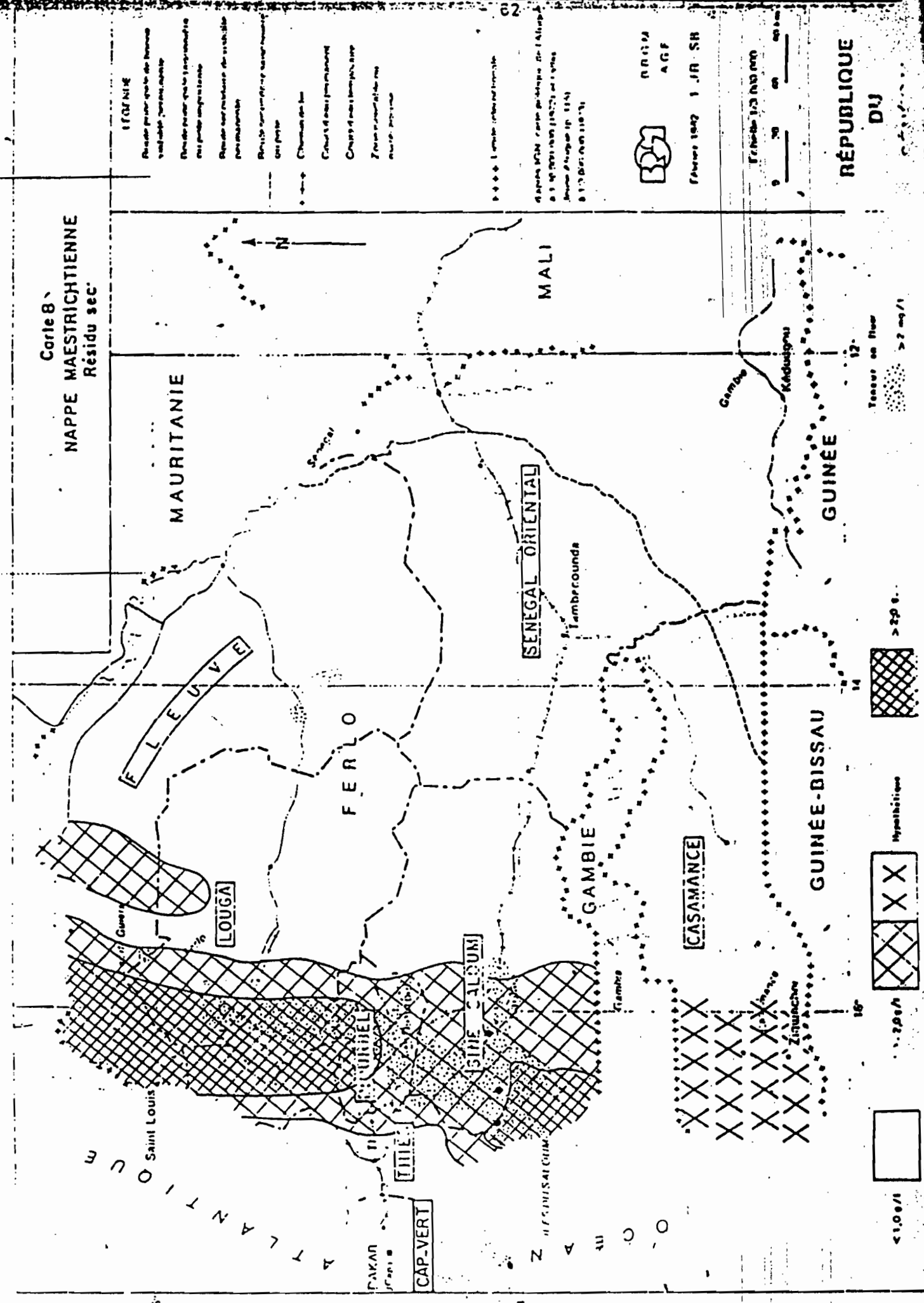
REGION DE LOUGA		ECHANTILLON N° 2	
SOUS-PREFECTURE DE . . . . . KEUR MOMAR SARR . . . . .		DATE DE PRELEVEMENT . . . . . 14-11-1984 . . . . .	
VILLAGE DE DIAMINAR . . . . . KEUR KANE . . . . .		LABORATOIRE D'ANALYSE . . . . . Gnith - E.P.T. . . . .	
Caracteristiques physiques (m)		Parametres physico-chimiques (g/l)	
NIVEAU DYNAMIQUE	4.10	Ca <sup>++</sup>	0.21
PROFONDEUR	5.30	Mg <sup>++</sup>	0.53
DIAMETRE	1.80	Fe <sup>++</sup>	0.61
HAUTEUR DE MARGELLE	0.80	Mn <sup>++</sup>	0
		Na <sup>+</sup>	0.30
		Cl <sup>-</sup>	0.62
		Residu sec	3.2
		Temperature	26°C
		Couleur (gouttes de mastic)	11
		Turbidite (mg/l)	55
		Conductivite (µs)	13800

Observations Complementaires

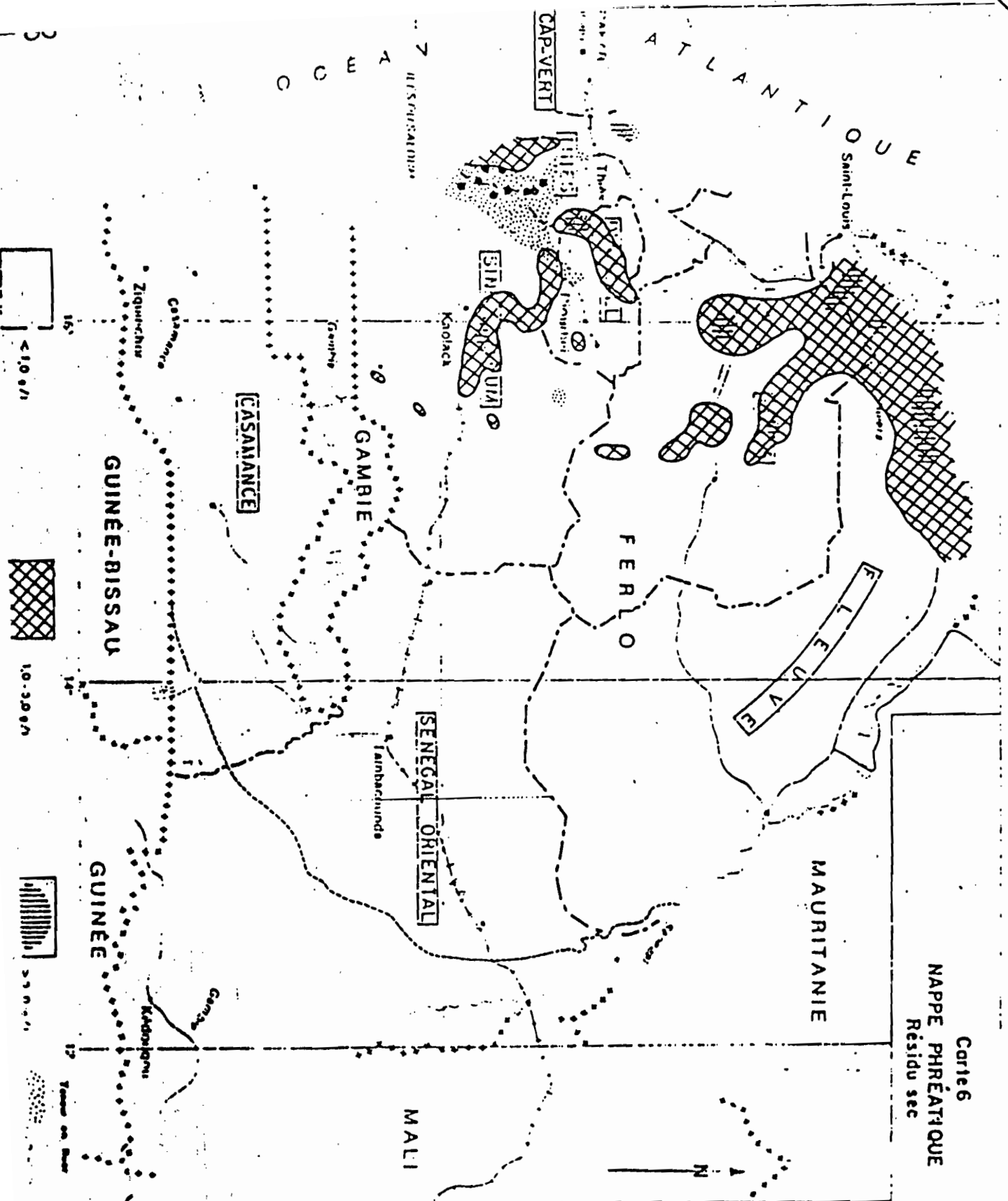
Ce puits est situé à environ 900 mètres du puits de Diaminar loyène que nous avons d'abord échantillonné. Curieusement ce puits présente des caractéristiques totalement différentes de celles du premier. En effet, il présente une eau trop salée et trop turbide, ce qui oblige les paysans à s'alimenter à partir du lac pendant la période de crue, abandonnant ainsi le puits. Avec la décrue ils s'alimentent à partir de "céanes" en bordure du lac.

## ANNEXE - 2

Nappes phréatiques du Sénégal  
Carte des résidus secs. (1982)



Carte 6  
 NAPPE PHRÉATIQUE  
 Résidu sec



LEGENDE

- Rivière permanente
- Rivière temporaire
- Rivière à sec
- Rivière à sec pendant la saison sèche
- Rivière à sec pendant la saison humide
- Rivière à sec pendant la saison des pluies
- Rivière à sec pendant la saison des pluies et la saison humide
- Rivière à sec pendant la saison des pluies, la saison humide et la saison des pluies
- Rivière à sec pendant la saison des pluies, la saison humide, la saison des pluies et la saison des pluies
- Rivière à sec pendant la saison des pluies, la saison humide, la saison des pluies, la saison des pluies et la saison des pluies



FRAN  
 A.G.F.

Échelle 1:200 000

Échelle 1:200 000

RÉPUBLIQUE  
 DU

<10 cm

10-20 cm

20-30 cm

## Bibliographie

- P. Michel : Mémoires ORSTOM n° 63  
 " Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie "  
 Etude Géomorphologique (Tome 1 et 2)  
 O.R.STOM Paris 1973
- J. Archambault  
 " Les eaux souterraines de l'Afrique occidentale "  
 3<sup>e</sup> trimestre 1960
- DEGREMONT  
 " Memento technique de l'eau "  
 1972
- B.R.G.M et C.G.G  
 " Nappes des formations secondaires et tertiaires du massif de  
 Ndiass et régions environnantes "  
 Imprimé par le service géologique 118, 21 Prague Tchécoslovaquie  
 1974.
- Bureau des recherches géologiques et minières.  
 " Cartes hydrogéologiques et hydrochimiques du Sénégal " 1965
- Centre de documentation O.M.V.S  
 " Hydrogéologie du Ferkol Septentrional / Sénégal / A.O.F "  
 (Microfiche 02374 F.1)
- Ministère de l'hydraulique.  
 " Notice explicative de la carte hydrogéologique du Sénégal "  
 M.H 1967