

École Polytechnique de Chiés

Projet de Fin d'Etudes

Titre:

Etude Hydrogéologique des
Puits de Keun Momar Sarr
Qualité - Niveau d'exploitation
Partie Sud

Directeur: François M. Eremblay

Auteur: Koufou Béréwoudougou

Année Scolaire: 1984 - 1985

A tous mes parents

A tous mes camarades

A tous les Ingénieurs
qui font honneur à Leur
noble mission

<u>Table des matières</u>		<u>Pages</u>
	<u>Introduction</u>	1
	<u>Première partie</u>	3
I	Contexte géographique	3
I.1	Hydrographie	5
I.2	Climatologie	7
2.1	Précipitations	7
2.2	Températures	12
2.3	Vents	12
I.3	Organisation de l'économie rurale de Kouroussa	17
	<u>Deuxième partie</u>	
II	Structure Géologique et Hydrogéologique	20
II.1	Aperçu sur la géologie du Sénégal	20
1.1	maestrichtien	20
1.2	Eocène	21
1.3	Continental terminal	22
1.4	Quaternaire	22
II.2	Géologie de la région proprement dite	23
II.3	Hydrogéologie	26
II.3.1	Introduction	26
3.2	Description des nappes « superficielles »	26
3.3	nappe profonde : nappe maestrichtienne	29
	<u>Troisième partie</u>	35
III.1	Hydrochimie : partie sud	35
1.1	Introduction	35
1.2	des nappes superficielles du continental terminal	37
1.3	des nappes profondes : paléocène et maestrichtienne	40

1.4	Conclusion	41
II 2:	Hydrochimie de Keur. M. Sarr	50
2.1	Introduction	50
2.2	Commentaires	50
2.3	Conclusion	52

Quatrième partie

IV	Conclusion et recommandations	65
IV.1	Conclusion	65
IV.2	Recommandations	66
2.1	Recommandations spécifiques au Sud	66
2.2	Recommandations générales communes	66

Annexes 1:	Fiches types des points d'eau	69
Annexes 2:	Cartes des concentrations totales et isochlores	81
	Bibliographie	84

Remerciements

Le projet a été mené à bien grâce aux conseils des uns et des autres.

Ici ils trouvent mes sincères remerciements qui s'adressent particulièrement à :

- Monsieur François M. Tremblay professeur à l'École Polytechnique de Thiès pour avoir bien voulu diriger ce projet
- Monsieur Germain Leclerc responsable du laboratoire du génie sanitaire dont la disponibilité et les conseils nous ont été d'une grande utilité.
- Monsieur Gissé chef du C.E.R. de Keur Momar Sarr
- Monsieur Bamar Diagne au service de la météorologie
- Monsieur Abdoulaye Sène directeur de l'entretien et de la maintenance au Ministère de l'hydraulique
- Monsieur Mahamadou Moctar Diye directeur des études hydrauliques au Ministère de l'hydraulique.
- Monsieur Arouna Diop secrétaire général (service pédagogique)
- M^{lle} Seynabou Dieng secrétaire à l'École Polytechnique de Thiès
- Monsieur Cheick Bâ mon collaborateur de projet qui m'a ménagé aucun effort pour la réussite de ce travail
- Toute l'École Polytechnique pour les soutiens de tout genre qu'elle m'a apportés pendant l'exécution de ce projet.
- Monsieur Sekh responsable de la station de Guith
- Monsieur Kame au laboratoire de Guith

SOMMAIRE

L'étude hydrogéologique a pour objectif d'établir un bilan des ressources hydriques disponibles. C'est ainsi que nous avons effectué :

- une recherche des données existantes
- des visites sur le terrain
- des campagnes d'échantillonnage des puits de la région
- des analyses chimiques de ces échantillons.

Tandis que les autres phases du projet ont consisté en un travail de recherche et d'information, l'hydrochimie qui constitue une partie importante du projet nous a valu l'utilisation des méthodes standards pour la détermination des éléments chimiques.

L'ensemble de ce projet nous a alors permis d'établir pour chaque puits de la zone d'étude une fiche qui permet de suivre l'évolution des éléments caractéristiques de son eau et de déterminer pour chaque zone les nappes qui recèlent des eaux acceptables pour la consommation.

INTRODUCTION

Le projet de fin d'étude a été initié par le Church World Service en collaboration avec notre directeur de projet Monsieur François M. Tremblay professeur à l'École Polytechnique de Thiès. Il consiste en une étude hydrogéologique de la région autour de Keur Momar Laré, cette sous-préfecture de 22 villages située à 50 km au nord de Louga se trouve dans une zone où l'eau constitue une denrée rare et chère comme dans l'ensemble du nord du Sénégal. Ainsi toute activité est annihilée par le manque d'eau qui contribue énormément à la misère des populations et l'exode de la jeunesse.

Devant cette situation préoccupante, le Church World Service organisme américain d'entraide s'y est installé afin de réaliser les objectifs suivants:

- augmenter la production maraîchère
- améliorer l'alimentation des populations
- encourager les actions de reforestation
- consolider et étendre l'éducation sanitaire, les soins de santé primaire et l'assainissement
- favoriser la création d'unités capables de produire et de consommer
- créer des perspectives de développement réduisant l'exode.

La réalisation de tous ses objectifs ne pouvant se faire sans l'élément catalyseur qui est l'eau, une étude hydrogéologique est nécessaire afin de dresser un bilan hydrogéologique. Il s'agit donc au regard des conditions climatiques défavorables:

- d'effectuer une recherche des données existantes
- d'établir un bilan des sources d'eau disponibles en vue d'une gestion rationnelle.

Devant l'immensité du travail à faire, la zone d'étude a été divisée en deux parties (Nord et sud), et l'étude de chaque zone constitue un projet.

Cette étude - si s'intéresse à la partie sud de Hour Mottar Sura à partir de laquelle certaines recommandations spécifiques pourraient être faites. Une confrontation des résultats des deux études (Nord et sud) est prévue afin de mettre à la disposition du Church World Service des recommandations globales intégrant tous les paramètres de la région.

Première Partie

I. Contexte Géographique

La région étudiée est située sur la rive sud du lac de Ngwier autour de Heur Momar Sarr et couvre environ une superficie de 4000ha.

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 Nouakchott.

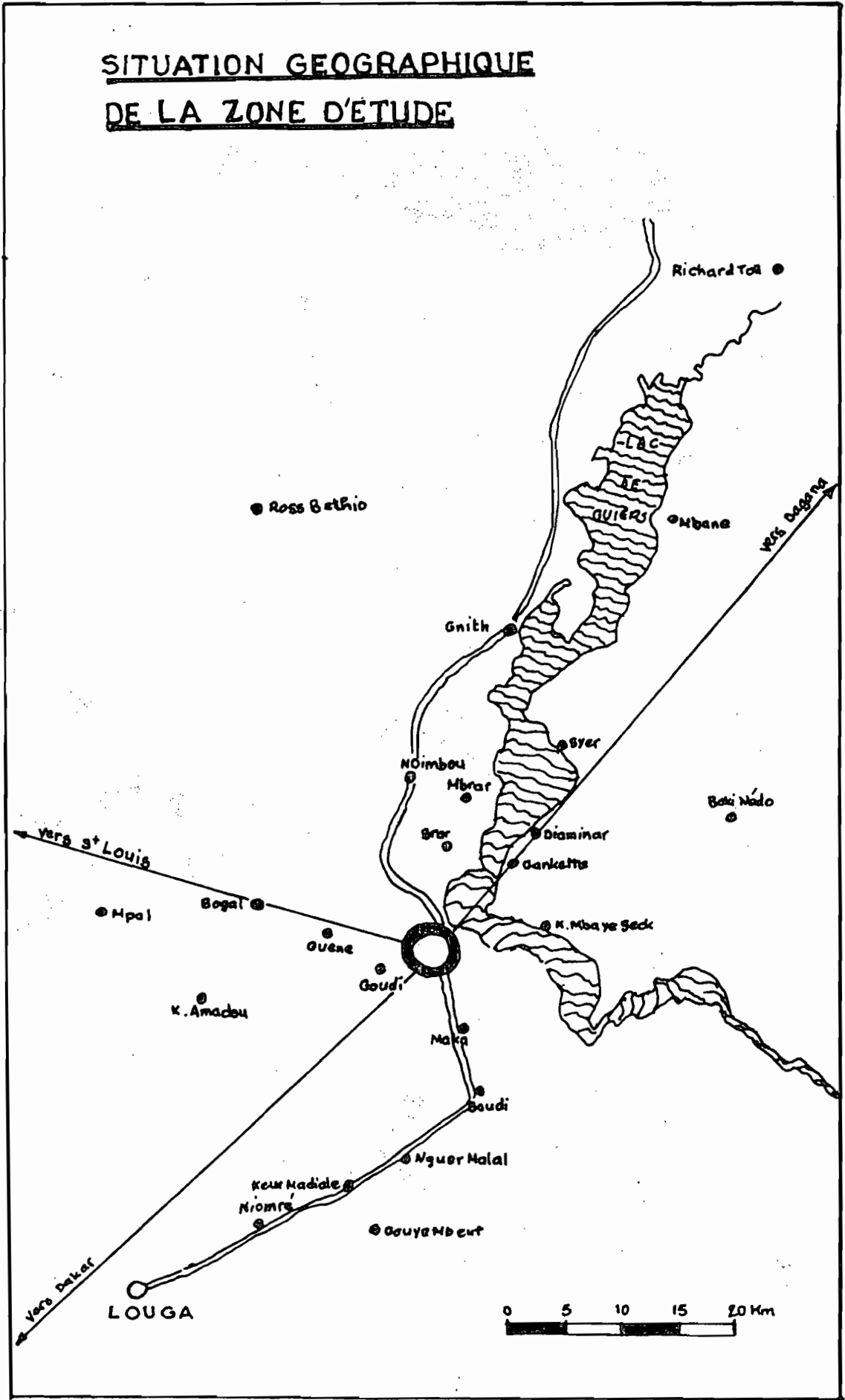
En outre, on y trouve les formations de l'éocène inférieur à moyen.

Du point de vue climatique, nous avons une région tributaire du climat sud-saharien marquée 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 sera 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'ÉTUDE



I.1 Hydrographie

Comme cours d'eau important, on peut citer essentiellement le lac de Guiers, la vallée du Ferlo et du Bounoum.

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 Tawé, 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 de Sier. Ses rives sont souvent dentelées : des presqu'îles isolent de petites oultes ; sa largeur varie de 2 à 7 kilomètres.

À l'est, ses eaux lèchent le bas plateau cuirassé du Ferlo septentrional.

Des alignements de dunes rouges fixées dominent les terrains plats. La dépression du lac s'élargit à nouveau après l'étranglement du Sier et se prolonge vers le sud-sud-ouest jusqu'à Keur Momar Sarr, son fond orné 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 Momar Sarr, cette vallée décrit un coude faisant un angle de 90° puisqu'elle est ensuite orientée ouest-nord-ouest - est-sud-est.

Les vallées mortes du Ferlo et du Bounoum

Le réseau de la vallée morte du Ferlo débouche en effet dans la dépression du lac de Guiers à cet endroit.

Le réseau commence à se dessiner au sud-ouest de Bakel 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 Linguère pour former la vallée du Bounoum.

La largeur augmente progressivement vers l'aval: de 200 mètres à Mbeyène, elle passe à 3 kilomètres près de Bankette - Guent.

Le grand sillon creusé dans le soulèvement éocène recoupe perpendiculairement toute une succession de cordons dunaires. Les chenaux d'écoulement sont encore bien visibles dans certains secteurs.

Lorsque les eaux du fleuve Sénégal remplissent le lac de Guiers, 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 à Keur Momar Sarr qui augmente la réserve d'eau du lac de Guiers servant à l'irrigation du pavier rizicole de Richard Toll. Maintenant les anciens chenaux ne sont plus jalonnés que par des mares temporaires, qui disparaissent en début de saison sèche à cause de la forte évaporation et de l'abreuvement des nombreux troupeaux. Dans le Ferlo central et oriental, la surface

des plateaux cuirassés est localement déprimée par suite de tassements ou de légers effondrements. Les eaux ruisselées au cours des fortes averses stagnent dans ces creux de terrain sous forme de mares.

La décontamination argileuse des eaux et l'imperméabilisé le fond des dépressions par colmatage des fissures et des vauvles de la cuirasse.

1.2 La climatologie

Les facteurs climatologiques jouent vis à vis des nappes aquifères un rôle sur 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 Momar Sarr, Louga et Saint-Louis.

1.2.1 Les précipitations

Pour cette étude, nous n'allons considérer que les données des stations de Keur Momar Sarr, Saint-Louis et Louga pour la période allant de 1979 à 1982.

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 mm à 300 mm/an) et très mal réparties dans la saison des pluies allant pour l'essentiel de juin à septembre.

Mois	Kour Momou Sarr		Saint-Louis		Louga	
	Hauteur (mm)	Nombre de jours	Hauteur (mm)	Nombre de jours	Hauteur (mm)	Nombre de 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	220.5	28	252.4	29

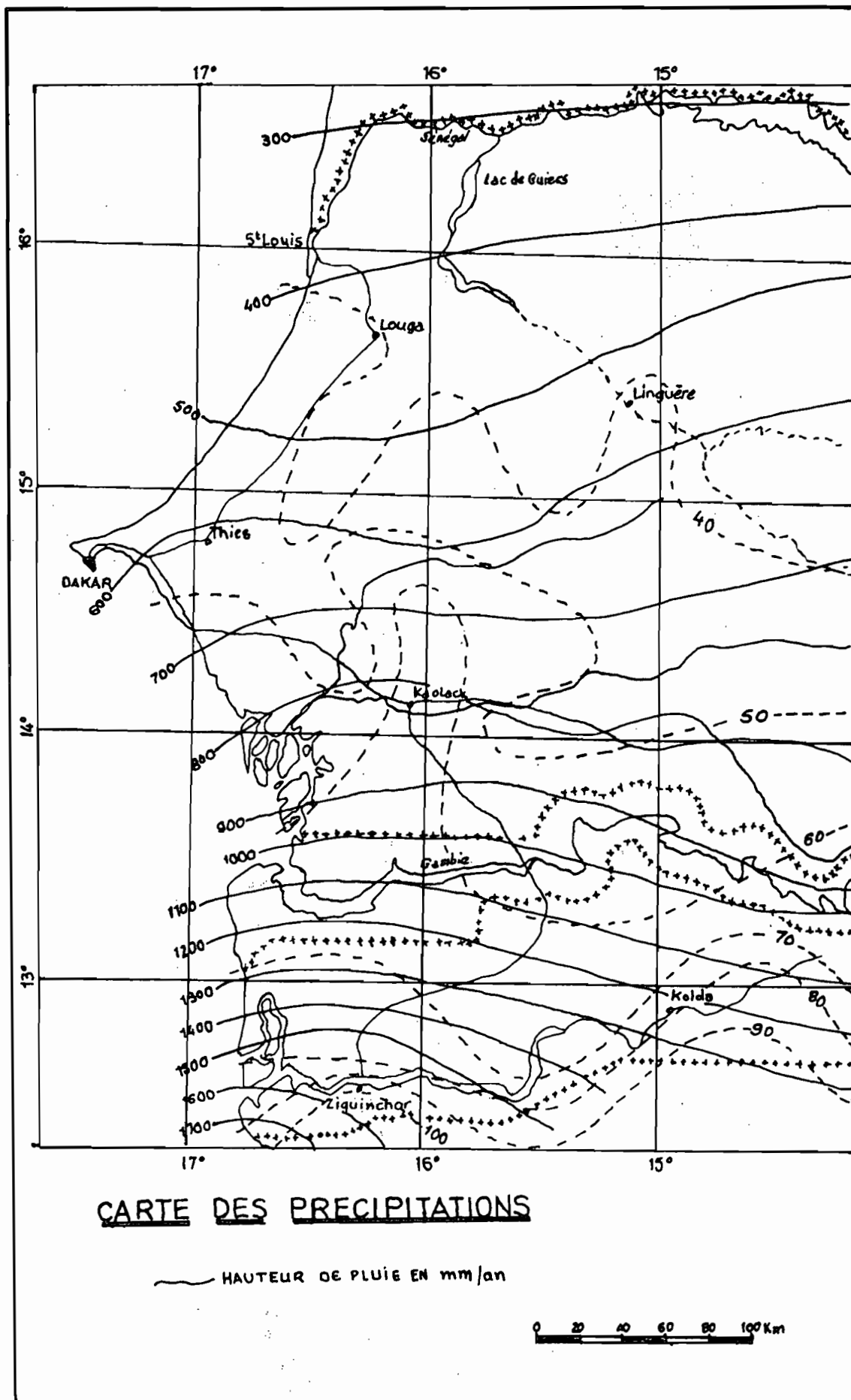
Tableau 1: Répartition mensuelle des pluies pour l'année 1979

Mois	Keur Momarsarr		Saint. Louis		Louga	
	Hauteur (mm)	Nombre de jours	Hauteur (mm)	Nombre de jours	Hauteur (mm)	Nombre de 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	75.2	11

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

MOIS	KEUR MONARSARR		Saint Louis	
	Hauteur (mm)	Nbre de Jours	Hauteur (mm)	Nbre de Jours
Janvier	-	-	-	-
Fevrier	-	-	-	-
Mars	-	-	-	-
Avril	-	-	-	-
Mai	-	-	-	-
Juin	-	-	-	-
Juillet	76.3	4	82.2	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	191.3	21

Tableau 3 : Répartition mensuelle des pluies pour l'année 1989



CARTE DES PRECIPITATIONS

— HAUTEUR DE PLUIE EN mm/an

0 20 40 60 80 100 Km

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 tout soit peu du nord vers le sud et les isohyètes sont grossièrement parallèles et orientées Ouest-Est.

En somme, on voit que les principales isohyètes (200 mm et 300 mm) sont en dessous du seuil d'Hubert (400 mm) seul 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.

I.22 Les températures

Au contraire des isohyètes, les isothermes (page 14) 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 4 ci-joint.

I.23 Les vents

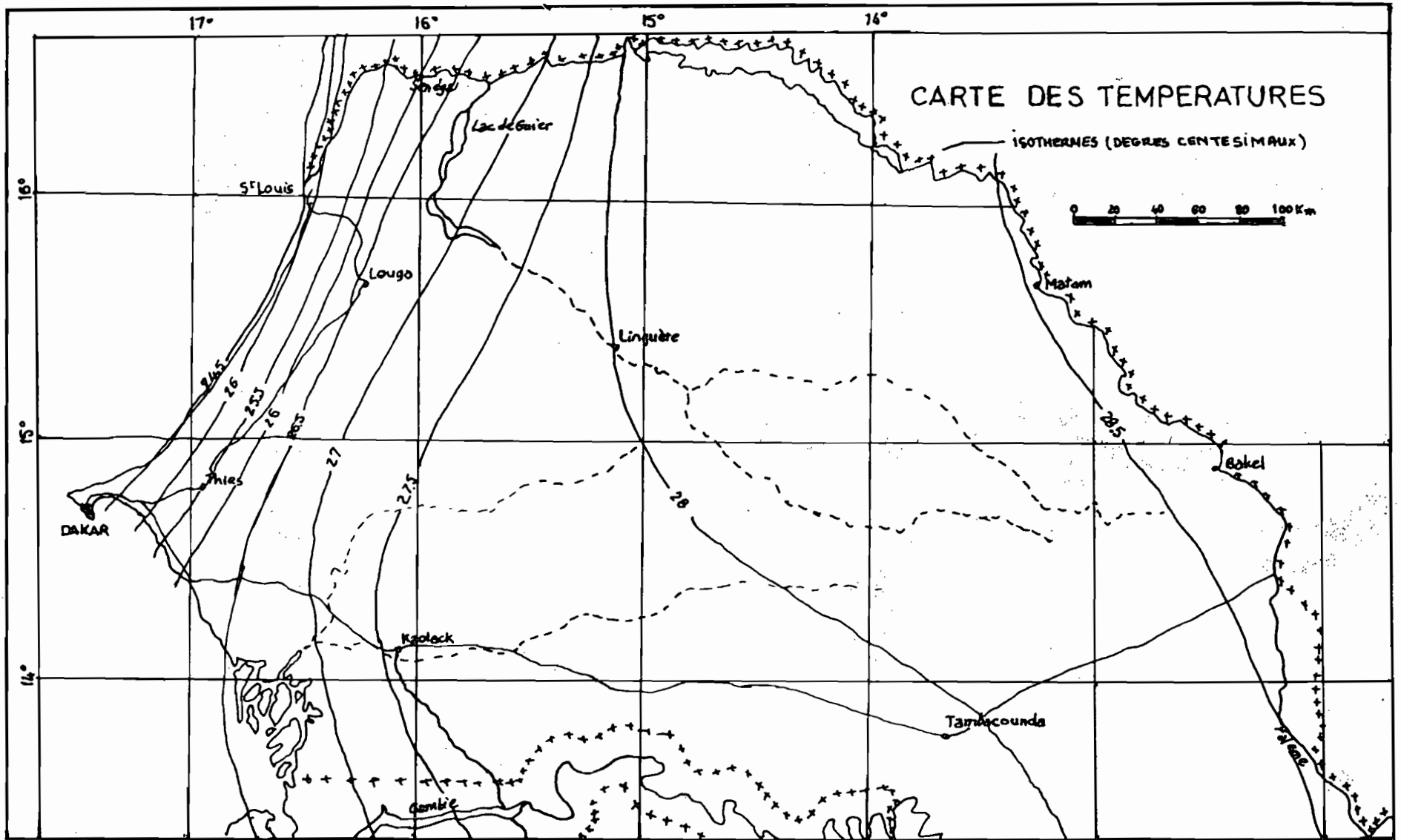
L'étude du régime des vents peut être considérée comme un premier facteur du contexte morphoclimatique. On peut distinguer essentiellement les vents réguliers et les vents locaux.

Les vents réguliers

Au mois de Février, en plaine saison sèche le régime des

<i>Années Mois</i>	<i>1979</i>	<i>1980</i>	<i>1981</i>	<i>1982</i>
<i>Janvier</i>	<i>24.6</i>	<i>24.4</i>	<i>25.1</i>	<i>25</i>
<i>Février</i>	<i>28</i>	<i>26.7</i>	<i>25.2</i>	<i>24.8</i>
<i>Mars</i>	<i>27</i>	<i>26.1</i>	<i>28.4</i>	<i>25.6</i>
<i>Avril</i>	<i>28.4</i>	<i>27.9</i>	<i>27.6</i>	<i>26.1</i>
<i>Mai</i>	<i>27.4</i>	<i>26.9</i>	<i>27.3</i>	<i>26</i>
<i>Juin</i>	<i>29.4</i>	<i>27.4</i>	<i>28.7</i>	<i>28.3</i>
<i>Juillet</i>	<i>29.8</i>	<i>28.9</i>	<i>30.2</i>	<i>29.7</i>
<i>Août</i>	<i>30.3</i>	<i>29.8</i>	<i>30.4</i>	<i>30.1</i>
<i>septembre</i>	<i>31.3</i>	<i>30.5</i>	<i>30.6</i>	<i>31.6</i>
<i>Octobre</i>	<i>30.4</i>	<i>29.6</i>	<i>30.6</i>	<i>30.7</i>
<i>Novembre</i>	<i>29.1</i>	<i>28.3</i>	<i>29.2</i>	<i>28.9</i>
<i>Décembre</i>	<i>28</i>	<i>25.2</i>	<i>26.6</i>	<i>24.7</i>
<i>Moyenne</i>	<i>28.6</i>	<i>27.6</i>	<i>28.3</i>	<i>27.6</i>

Tableau 4: *Température en degré celsius à Kewu MoMar SARR*



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 très variables.

Les vents irréguliers

En fin 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 les 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 Louga (vents moyens en m/s) qui peuvent constituer une assez bonne approximation des données de la région proprement dite. (tableau 5)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	\bar{x}
1975	1.5	2.0	2.0	2.6	-	2.3	1.7	1.9	1.4	1.7	1.9	1.5	1.9
1976	1.5	2.4	2.4	1.9	2.1	2.4	1.9	2.7	2.1	2.7	-	-	2.2
1977	3.7	3.5	3.3	4.1	3.5	4.3	4.3	3.6	3.1	2.6	-	-	3.6
1978	3.2	2.3	-	2.6	3.5	-	3.5	3.2	2.5	2.3	2.1	1.8	2.7
1979	2.1	2.4	3.5	2.7	-	-	3.0	2.7	2.4	2.5	3.0	2.5	2.7
1980	4.7	1.8	3.0	3.3	2.9	4.9	3.4	-	-	2.1	2.2	-	2.8
1981	2.1	2.5	2.0	2.6	3.5	3.0	2.4	2.4	2.8	2.5	2.5	2.5	2.5

\bar{x} : moyenne

Tableau 5:

Station de Louga

Vents moyens en m/s et 1/10

I.3 L'Organisation de l'économie rurale de Keur Momar Sarr
 La région de Keur Momar 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 cette espace en mutation, vivent des hommes de races différentes aux genres de vie différents mais complémentaires: Dioulofs généralement agriculteurs, Peulhs essentiellement pasteurs; Maures artisans et commerçants; soit un nombre de 9310 habitants répartis dans 61 villages et d'après le recensement de la sous-préfecture de septembre 1980

Le secteur agricole

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.

Les cultures sous pluie ou culture de Diéri

À 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
- épuisement des sols
- recrudescence des déprédateurs (oiseaux et pharochères)
- parasites etc...

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

Principales productions agricoles

Campagnes	Spéculation	Superficie (ha)	Rendement (kg/ha)	Production en tonnes
1979-1980 (1)	Arachide	8511	202	1719
	Mil	3815	112	427
	Niébé'	950	200	190
1980-1981 (2)	Arachide	2175	430	935
	Mil	945	100	94.5
	Niébé'	230	300	69

(1) Source: Carte d'expansion rurale polyvalent de Kouroumou Sarr

(2) Source: Société des terres neuves
 d'autoconsommation atteint 75% pour le mil, 5% pour l'arachide et 66% pour le niébé' selon les informations données par les producteurs.

Les cultures de céréales

Le maraîchage ne s'est véritablement développé qu'à partir de la grande sécheresse des années 1972-1973. Limité à

quelques espèces au départ, la production s'est peu à peu diversifiée. De 1978 à 1982 la production a été multipliée par trois. Beaucoup de terres disponibles restent inexploitées (enquête auprès du CERP).

Comme culture maraîchère on y trouve par ordre d'importance: tomates, courges, patates, gombo, pommes de terre etc. -

II Structure Géologique et Hydrogéologique

II.1 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 Maestrichtien
- le Paléocène
- l'Éocène
- le continental terminal
- le Quaternaire

II.1.1 Le Maestrichtien

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 Maestrichtien 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 maestrichtien contiennent une immense nappe qui forme la plus grande réserve d'eau dont dispose le Sénégal.

Le Paléocène

Cette formation est représentée essentiellement par des calcaires

des marno. calcaires et des marnes. Dans l'ouest du pays les calcaires paléocènes 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 Sébikhotane et de Pout dans la presqu'île du Cap-vert et qui sont exploitées pour l'alimentation en eau.

II 12 L'Éocène

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

- L'Éocène inférieur

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

altapulgites: hydrogéologiquement; totalement défavorables
marnes à ostracodes qui constituent un aquifère peu intéressant sauf dans la région du Sine Saloum.

marnes à lits de calcaires fossilifères de l'Yprésien qui constitue le niveau le plus favorable, mais la fissuration et les variations rapides en font un aquifère non généralisé et incertain.

- L'Éocène moyen (Lutéien)

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

- L'Éocène supérieur

Les formations de cet étage sont essentiellement argileuses et

n'ont qu'un rôle négligeable dans l'hydrogéologie du Sénégal.

II13 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 baridee, lie-de-vin et blanche. Son épaisseur varie de quelques dizaines de mètres à 150 mètres vers Tambacounda. Sa 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 sables sont recoupés.

II14 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 récente 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'Égolien
- Une plage à Arca senilis du Nauwkeholien
- Des dunes jaunes
- Des dunes blanches actuelles

II.2 Géologie de la région proprement dite

Après cet aperçu global de la géologie du Sénégal, on peut maintenant faire une description plus précise des principaux fauës 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 Gnith permet de confirmer l'existence de failles.

La faille de Gnith 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-est parallèle à la rive du lac au nord de Gnith mais s'écartant d'elle au sud de ce village. Les coupes de sondages de Gnith montrent aussi que les formations du quaternaire ancien et moyen sont très hétérogènes dans cette région s'étendant entre l'ancien golf ténézien et les bas plateaux du Ferlo.

Le niveau des graviers ferrugineux surmonte les dépôts de sable argileux ou d'argile. Un autre niveau de graviers ferrugineux existe en profondeur. On constate à travers les coupes de sondages que souvent ces dépôts ne se recouvrent bien que ceux-ci soient rapprochés; ce qui prouve que la sédimentation déritique varie d'un point à un autre donc était très désordonnée.

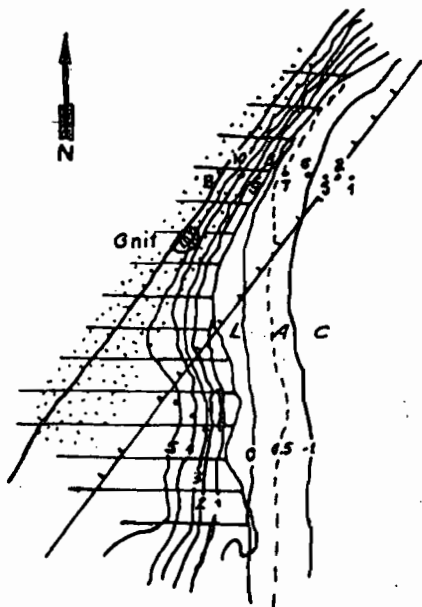
Une migration d'éléments en solution s'est aussi produite à

certains niveaux. Ainsi les différents sondages nous découvrent des crâtes latéritiques, un enroûtement 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 Sugana. Elles sont recoupées par plusieurs petites failles orthogonales de direction nord-ouest à ouest-nord-ouest.

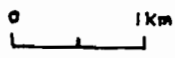
Le rejet de ces failles à la bordure orientale du delta au cours du quaternaire ancien et moyen s'est répercuté directement sur la sédimentation qui dépendait des conditions locales. Mais l'alternance de niveaux détritiques grossiers et fins reflétera aussi dans une certaine mesure les variations climatiques 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 rouge verdâtre ou lie-de-vin témoigneraient au contraire des périodes plus humides.

L'ÉVOLUTION DES BASSES VALLÉES ET DES RÉGIONS LITTORALES

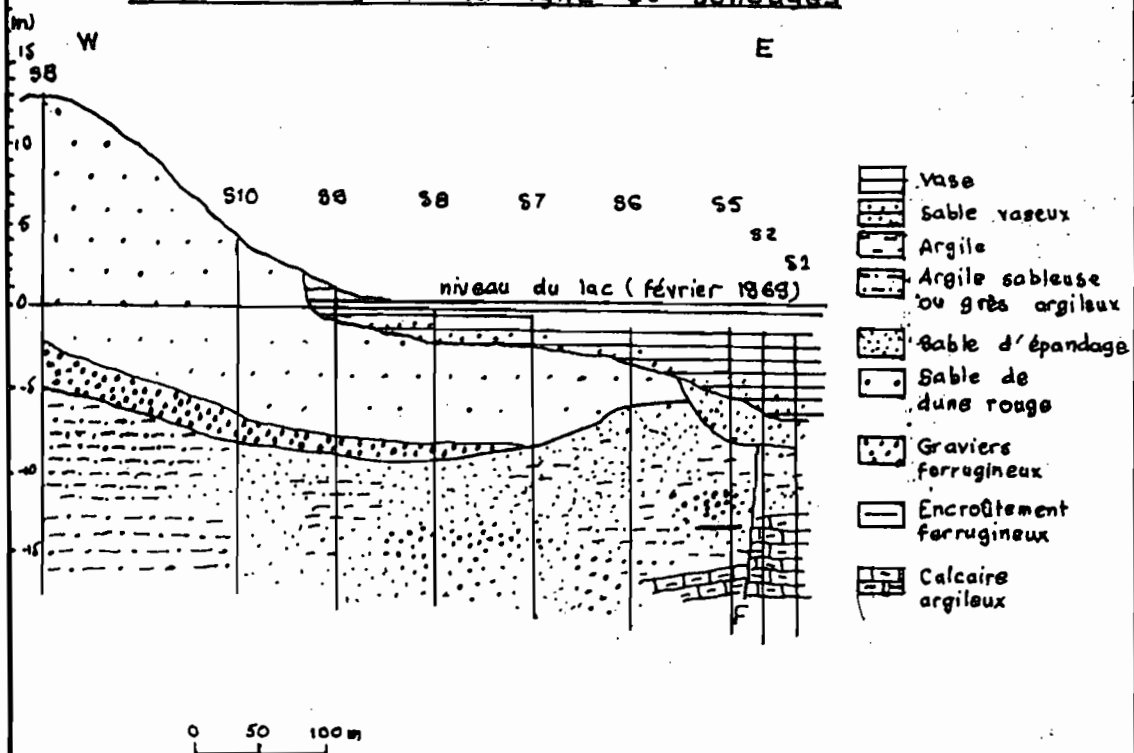


a - Croquis de situation

- Alignement dunaire
- Blocs de cuirasse
- Gravier ferrugineux
- Terres émergées
- Courbes de niveau (équidistance de 1m)
- Faite avec son regard
- B. JO Sondages d'étude



b - Coupe le long de la ligne de sondages



Les formations du Quaternaire sur la rive occidentale du lac de Guiers Chich

II.3 Hydrogéologie

III31 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 ces dernières années. A l'exception de quelques petites nappes perchées, exploitées par scèanes en bordure du lac (par exemple à Keur Kone), la nappe phréatique est unique au point de vue dynamique. Quelque soit son gisement, son comportement et sa composition chimique différent notablement suivant la nature de la roche aquifère.

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

- Les nappes "superficielles" ou "phréatiques" : ce sont les ressources en eau qui alimentent les puits, traditionnels ou non et sont donc les premières que l'on rencontre à partir de la surface.

- La nappe "des sables maestrichtien" toujours profonde et exploitée par forages.

En outre ces deux principales nappes, on note la présence d'une intermédiaire : la nappe du paléocène exploitée aussi par forage.

III32. Description des nappes "superficielles"

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 : Lutérien

calcaire, marne, calcaire et grès, Ypresien marneux et marne.
L'est une nappe déprimée. L'altitude du niveau

piégométrique est une nulle quelle que soit la base prise.
nel au Nord et à l'ouest arrivant la cote 0, ont une cote
positive à l'est au Nord du fleuve Sénégal tandis que au
Sud de l'Est du Sénégal, au Sud de la langue et
immédiatement à l'est du lac de Guera, ne descendent
des courbes fermées à l'altitude -40m (profondeurs jusqu'à
l'eau niveau de 90 à 100m)

de perméabilité des terrains du continent sénégalais
(nords, gros, gros argileux à sables) paraît dans l'ensem-
ble assez bonne comme le montrent les pentes régulières de
la nappe. Il est possible de trouver dans les formations des
débuts intéressants, avec de l'eau m³/l/m d'eau par
le plus souvent très peu chargée.

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

Il s'agit ici d'une zone non alimentée par les forages ou
le fleuve Sénégal apporte les des eaux, 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 sables remaniés des margols,
nappes le plus souvent temporaires mais il n'appartient

important pour l'élevage. Il n'y a aucune alimentation de la nappe du Continental terminal à partir de ces nappes perchées.

La nappe du delta

Les formations du delta du Sénégal, alluvions marines et alluvions fluviales, ainsi que les terrains quaternaires situés à l'Est de Saint-Louis, sables, niveaux à coquillages (Arca senilis) latérites contiennent une nappe dont l'altitude, positive ou négative est toujours proche du 0.

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 du risque de remontée de la nappe salée dans la zone radiculaire lorsque l'on modifiera l'équilibre actuel qui voit cette nappe déprimée par l'évaporation.

Les nappes de la région de Louga - Geki

Cette région, entre celle des miayes et le Ferlo est la seule zone où nous avons pu distinguer deux niveaux aquifères dans les "nappes superficielles"

- En profondeur quelques puits ont atteint dans des marines yprésiennes, une nappe qui paraît être en continuité avec la nappe du Ferlo. Cette formation est encore déprimée et s'enfonçe d'ouest en Est. Son altitude, voisine de 0 près de Geki, atteint -30 m dans la région de Baulé.

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 Leki, lui-même flanqué de deux petits dômes de moindre importance, l'un dans la région de Touba Merina, l'autre près de Dahra. Cette nappe constitue un ensemble assez complexe dans le détail.

Les zones les plus élevées (région de Leki par exemple) correspondent à des terrains aquifères essentiellement quaternaires. La proximité du sol est un facteur favorable, mais les réserves sont peu abondantes. En effet, il s'agit surtout de nappes contenues dans des formations très peu épaisses (sables, latérites), et dont la 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 Kébémér par exemple dont le débit spécifique est voisin de $60 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. La proximité de la région des niayes assure l'alimentation de la nappe.

1033 La nappe profonde du Sénégal: « nappe maestrichtienne » 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'étend sur la plus grande partie du Sénégal, constituant l'un des principaux bassins artésiens 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 résument comme suit:

- La couche aquifère: l'est un ensemble de sables et grès

plus ou moins argileux, d'âge principalement maestrichtien. Les faciès argileux prédominent à l'Ouest (presqu'île du Cap Vert) au delà du méridien de l'Atlantique. Les calcaires ou des sables et grès paléocènes participent au système aquifère.

- Son étendue: Elle couvre 150.000 km² environ

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

- La zone d'affleurement. L'aquifère est limitée vers l'Ouest à la région de N'Diass.

- 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 Maestrichtien. La profondeur du toit des sables aquifères varie de 0 à 450 m. Elle est dans l'ensemble supérieure à 100 m.

- La surface piézométrique. Les pentes sont orientées principalement du Sud Est au Nord et au Nord Ouest. Le gradient est compris entre $1 \cdot 10^{-4}$ et $4 \cdot 10^{-4}$ avec une moyenne de $2 \cdot 10^{-4}$. L'altitude passe de 15 m au Sud Est à -2 m au Nord

une aire à pression inférieure au niveau de la mer se

localise dans au Nord. En quelques sections, la position, des
niveaux géométriques au-dessus du sol permet des sondages anti-
siens (vallée et îles du Sahara).

- l'évolution de la nappe. Aucune diminution de pression
n'a été notée, mais on ne dispose d'aucun vrai, que d'inter-
ventions restreintes. Le point doit être vérifié au cours des
années à venir.

- les paramètres de l'équation

perméabilité: K compris entre 1.10^{-3} et 1.10^{-5} m/s, et

5.10^{-4} m/s le plus souvent.

transmissivité: T de 2.10^{-2} à $0.5.10^{-3}$ m/s

coefficient d'emmagasinement: S de 1.5 à 3.10^{-4}

- les caractéristiques chimiques: Eau douce légèrement minérale

(de moins de 0.5 à 3 g/l de concentration totale) peuvent être

facilement minéralisée salin (jusqu'à 19 g/l) ou faibles chlorure

potique (ou de moins de 19 g/l), véritablement dans le sens des pertes

de charges, et ne caractérisent par un fort indice négatif

de échange de ions.

des très faibles gradients de la surface géométrique observés

nous ont amenés à nous interroger sur leur régularité et

l'hypothèse fut émise que la nappe pourrait être en équilibre

statique donc n'être affectée d'aucun écoulement actuel. Pour

expliquer la présence d'eau relativement douce, on suppose

une alimentation fossile; la répartition des pressions peut

avoir que l'eau, "hérite" d'une phase active ancienne

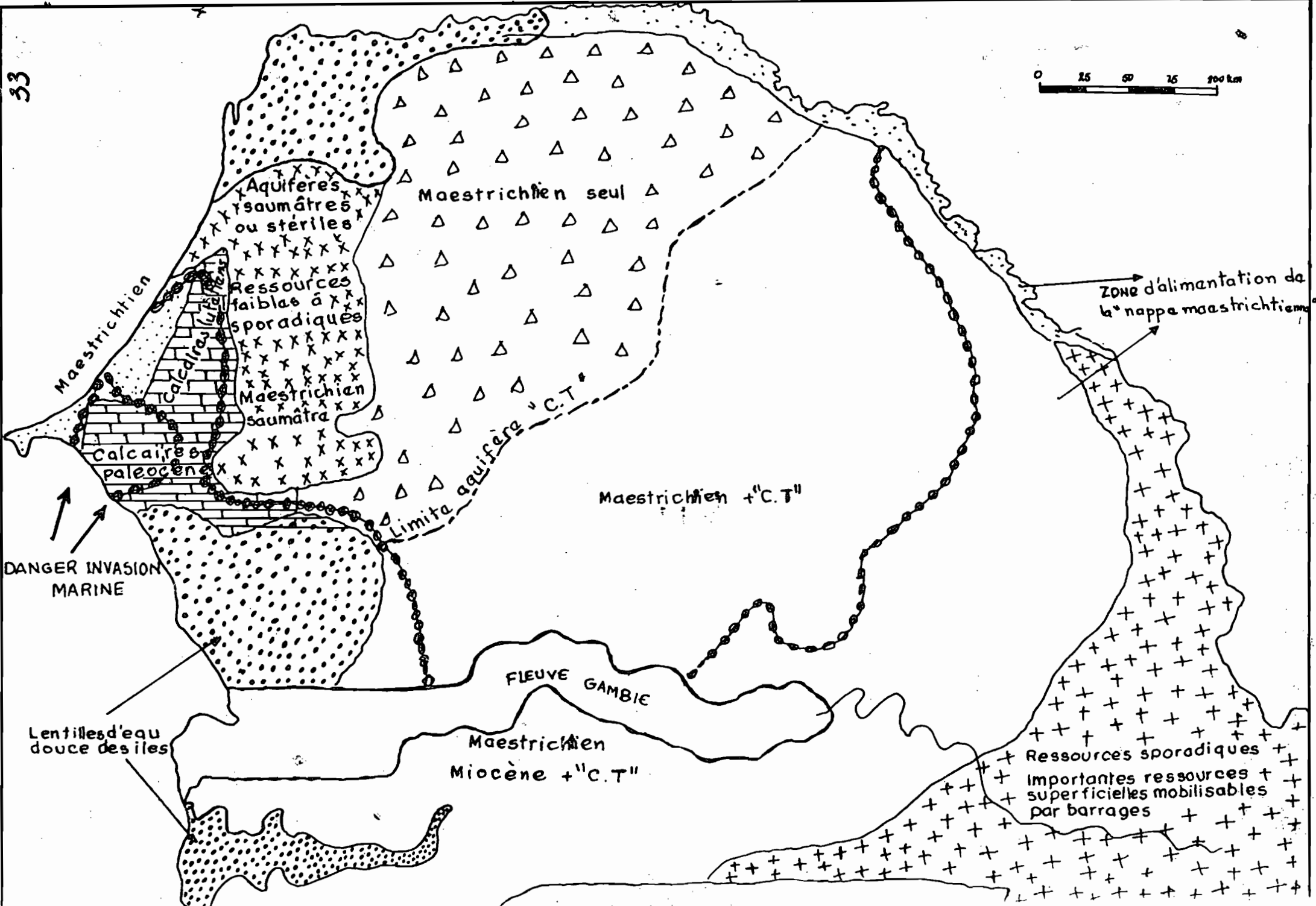
(climat plus humide) est aujourd'hui "fuyée".

Néanmoins, une alimentation actuelle, même très faible, si

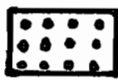
provenant de la périphérie (où la nappe est venue libre et peut se

comprendre 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'autre exutoire à la nappe. La pression ~~est~~ est en effet supérieure sur une grande étendue à celle des nappes libres de la couverture et l'évacuation actuelle dans la nappe ne serait donc pas nul.

- L'exploitation: Une exploitation reculée de la nappe du Maestrichtien est certainement possible, dans des limites imposées surtout par les risques d'influence 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 SENEGAL



Invasion marine généralisée



Ressources faibles à sporadiques



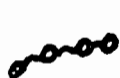
Absence d'aquifères superficielles



Aquifère superficielle à ressources relativement importantes



Terrains anciens fracturés et altérés



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



Surexploitation danger

Récapitulation des ressources en eau souterraine

Source : Ministère de l'hydraulique D.E.H (Sept 1983)

TROISIEME PARTIE

III 1 HYDROCHIMIE : PARTIE SUD

III.1.1 Introduction

L'eau destinée à la consommation et d'autres activités doit être exempte de substances chimiques et de microorganismes nocifs pour la santé.

L'analyse chimique de l'eau permet de déterminer les concentrations de ses composantes. En comparaison avec les normes précautionnées par l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.), les concentrations des composantes de l'eau indiquent le degré de potabilité des eaux et permettent de suggérer des méthodes de traitement pour leur qualité.

Les caractères retenus qui permettent de définir les différentes eaux suivant leur famille chimique et suivant leur degré de potabilité sont les suivants:

- 1°) le résidu sec
- 2°) les ions prépondérants (Cl^- , Na^+ , Ca^{++} etc...)
- 3°) les ions secondaires (Fe^{++} , Mg^{++} , Mn^+)
- 4°) la température

Hormis l'étude des caractéristiques chimiques de la partie sud nous donnerons une vue d'ensemble des caractéristiques chimiques de la zone en intégrant celles de la partie Nord déterminées à partir des études des saramade CHEIKH Bâ

L'étude des ressources hydriques du sud s'est effectuée à partir de trois sources nettement différentes:

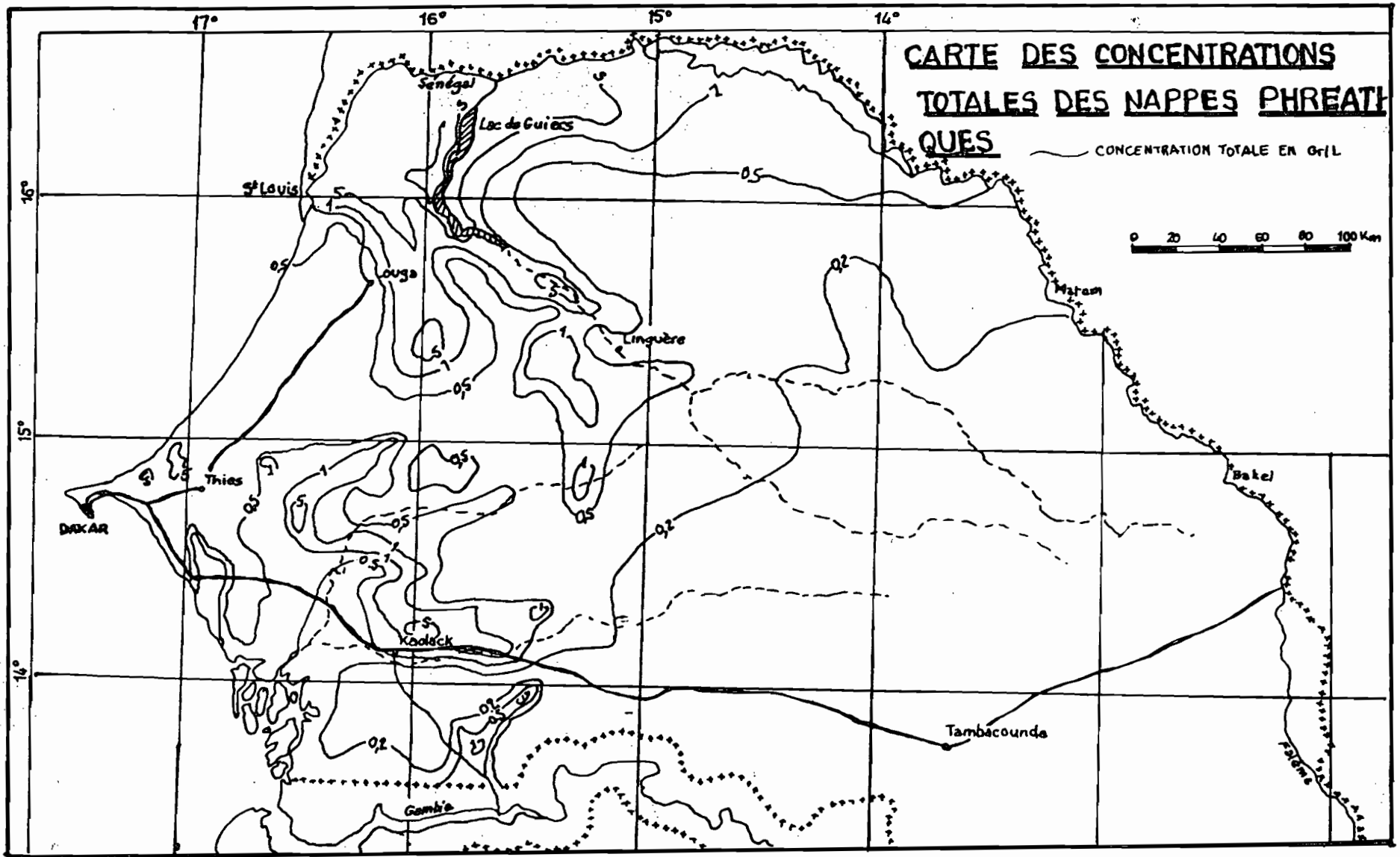
- Les nappes superficielles du continental terminal
- Les nappes paléocène

<u>NAPPES SUPERFICIELLES : Puits</u>								
villages	Résidu sec (g/l)	Fe (g/l)	Mn (g/l)	Mg (g/l)	Cl (g/l)	Na ⁺ (g/l)	Ca ²⁺ (g/l)	d (m)
Niomné (6)	4.3	$10 \cdot 10^{-4}$	$25 \cdot 10^{-4}$	0.15	2.70	1.2	0.11	33500
Koua P. San (0)	2.3	$0.6 \cdot 10^{-4}$	0	0.29	0.25	0.11	0.16	0
Gankelle G (1)	2.9	0	$1.5 \cdot 10^{-4}$	0.6	4.00	0.45	0.58	2000
Koua AYA (2)	1.9	0	0	0.03	0.2	0.09	0.02	3000
Goua Malal (4)	2.5	$0.8 \cdot 10^{-4}$	0	0.01	0.80	0.3	0.03	18500
Gankelle G (1)	6.9	0	$1.5 \cdot 10^{-4}$	0.52	5.0	0.6	0.58	2000
<u>NAPPES PROFONDES: Forages</u>								
Goua Malal (1)	2.8	0	0	0.05	0.15	0.07	0.17	18500
K. Madiak (2)	2.5	0	10^{-4}	0.07	0.13	0.06	0.03	25000
Pouvi (3)	1.5	$0.8 \cdot 10^{-4}$	0	0.009	0.45	0.20	0.02	12000
Koua P. San (4)	2.3	0	0	0.14	0.25	0.11	0.16	0

d: distance orthogonale au lac

Tableau 6: CARACTÉRISTIQUES chimiques: zone sud

- la carte météorologique
 M.1.2 des cartes hydrographiques du Continental Terminal
 Elles sont expliquées par des cartes créées de façon traditionnelle
 par les villageois eux-mêmes afin de retrouver leurs besoins
 immédiats en eau.
 avec la richesse des données issues, notamment de la mesure
 avec pluviomètre, les cartes hydrographiques sont créées
 les fois où elles et sont même intervenues dans certains cas.
 des puits avec en moyenne un diamètre de 2m et une
 profondeur de 30m sont en général très profondes et indiquent
 les difficultés que connaissent les populations dans la recherche
 de l'eau.
 Quant à la qualité des eaux, elle a été appréciée à partir de
 l'analyse des échantillons. Les résultats sont exposés au regard
 des normes de l'Organisation Mondiale de la Santé qui ne sont
 données qu'à titre indicatif.
 En effet, il faut noter que la composition de l'eau diffère beaucoup
 d'une région du monde à l'autre et qu'on ne saurait établir des
 normes strictes de qualité chimique. Les limites recommandées
 dépassent une eau généralement acceptable pour le consommateur.
 de résidu sec donne la quantité de matières solides en suspension
 dans un échantillon d'eau. Il est très caractéristique des eaux
 des cartes hydrographiques du sud. Avec un maximum de 3g/l de
 concentrations totales, les eaux du sud ont
 hyperchlorurées
 à cause de la prépondérance de l'ion chlorure.



Le chlorure

L'analyse chimique des eaux superficielles du sud nous indiquent que le chlorure reste l'élément prépondérant en présence dans l'eau. Avec une teneur moyenne de 0.79g/l , les eaux du sud sont très salées et l'abandon d'un bon nombre de puits est à l'origine de la teneur excessive de cet élément. Par exemple à Bankette Guent sur une trentaine de puits un seul est salinité moyenne est utilisé par les villageois.

Le chlorure est le résultat de l'avancée de la langue salée qui englobe toute la partie sud de Keur Moma Sarr, contaminant ainsi les nappes superficielles peu profondes, et rendant inutilisables une grande partie du littoral terminal. En effet les concentrations de ces eaux en chlorure sont au delà des normes de l'Organisation Mondiale de la Santé qui précaunissent une teneur admissible de 200mg/l et une teneur excessive de 600mg/l .

Le fer

Le fer est un élément dont la présence dans l'eau est indésirable. A partir d'une certaine concentration, il donne aux eaux, un goût désagréable, une coloration parasite et provoque des dépôts et proliférations des ferrobactéries etc... Les eaux du sud avec une concentration moyenne en fer de 0.08mg/l sont de bonne qualité vis à vis des normes précaunisées par l'O.M.S (teneur admissible 0.3mg/l - teneur excessive 1mg/l)

Le manganèse

Comme le fer, le manganèse est susceptible de causer des inconvénients si sa concentration dépasse une certaine limite (0.5mg/l) Les puits en général ont des teneurs acceptables hormis celui de

village de Niomré qui a une concentration excessive de 2.5 mg/l. Ainsi l'eau de ce puits est si prosaïque au regard des nuisances qu'elle peut causer à la population.

Le magnésium

Avec une teneur moyenne de 270 mg/l, les eaux des puits du sud sont en général une teneur excessive donnant ainsi à ces eaux un goût désagréable et une dureté notable.

Normes de l'O.M.S (teneur admissible 50 mg/l - teneur excessive 150 mg/l)

Le calcium

Dans les eaux des puits du sud, le calcium reste avec un des éléments prépondérants (teneur moyenne : 156 mg/l). C'est le résultat de la circulation de l'eau qui s'effectue avec échange de bases et les roches calcaires. Nous avons donc dans cette zone des eaux calcifiantes qui provoquent des dépôts calcaires dans les conduites.

III.1.3 Les nappes profondes : paléocène et maestrichtien

L'appauvrissement des nappes superficielles et la salinité excessive de leurs ressources hydriques ont conduit les pouvoirs publics à opter dans cette zone pour la solution des forages afin d'exploiter les nappes profondes beaucoup plus abondantes et plus qualitatives.

L'analyse chimique des eaux du paléocène et du maestrichtien

(situés respectivement à une profondeur moyenne de 277m et 330 m)

indiquent que les concentrations des éléments caractéristiques secondaires (Fe^{++} , Mn^{++} , Mg^{++} qui sont respectivement en moyenne de 0.04 mg/l; 0.03 mg/l; 105 mg/l) sont en général en deca des normes excessives préconisées par l'O.M.S et confirment la bonne qualité de

de ces eaux.

Quant au chlorure, sa concentration dans les eaux des deux nappes reste acceptable (paléocène: 277 mg/l; maestrichtien: 130 mg/l) et ne cause aucun problème pour l'alimentation des populations et du bétail. Néanmoins on peut noter que la nappe paléocène au niveau de Boudi Sakho demeure relativement un peu salée (concentration: 450 mg/l), salinité qui peut trouver son origine dans la géologie même du sol.

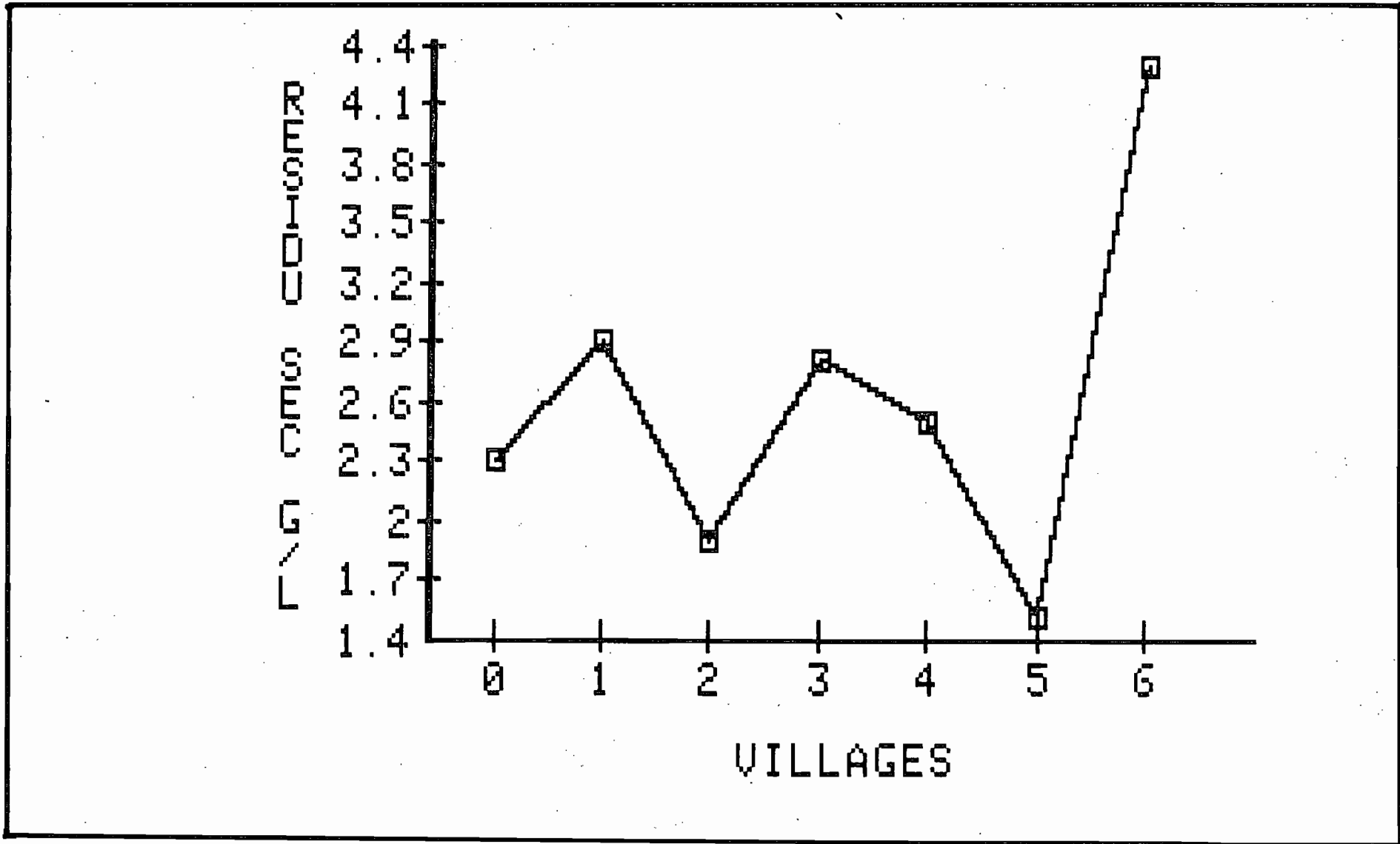
En général, les nappes profondes contiennent une eau de bonne qualité au regard des concentrations des éléments caractéristiques obtenues, mais leur exploitation reste du ressort des pouvoirs publics et des organismes internationaux; ce qui constitue un handicap pour les populations concernées.

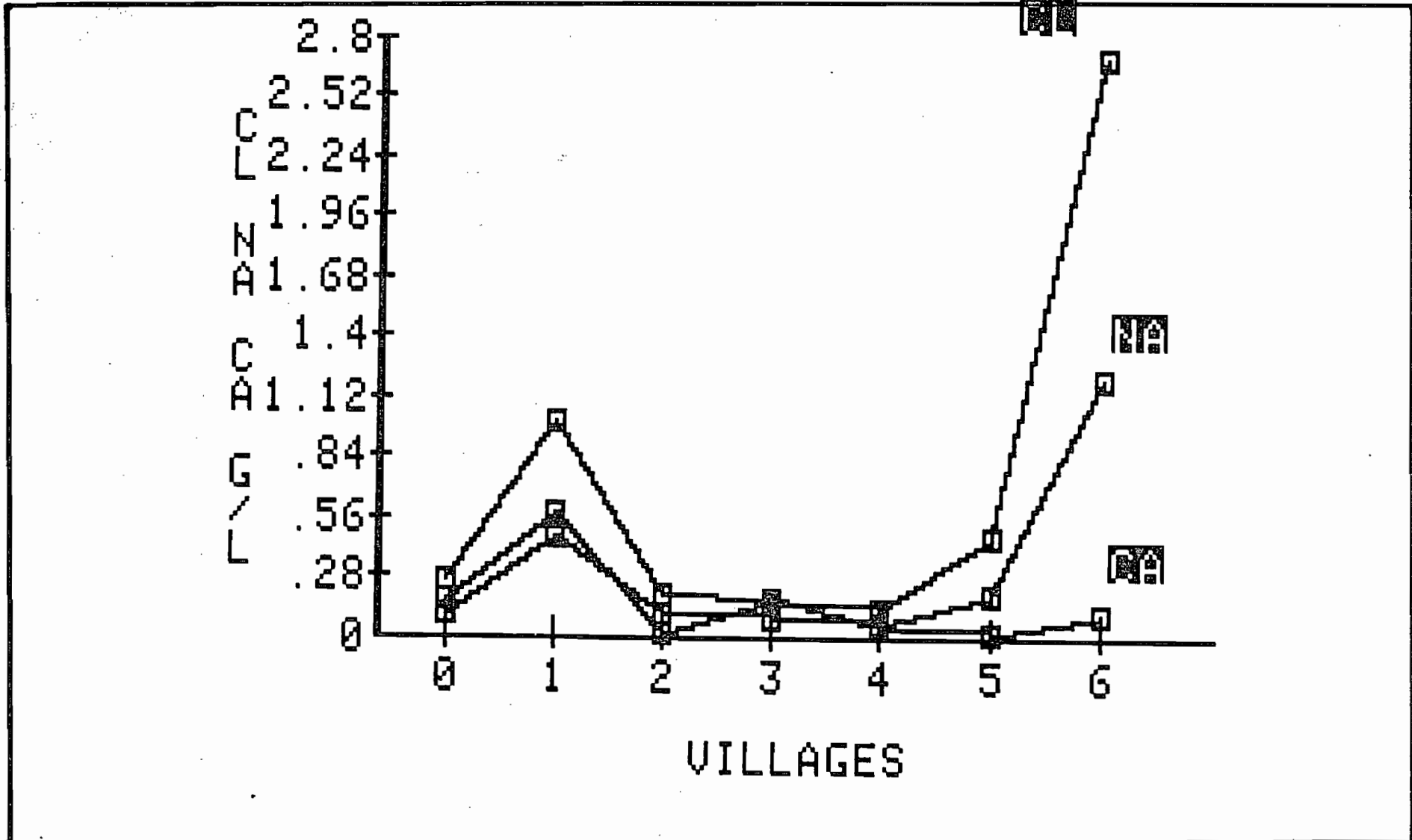
III.1.4 Conclusion

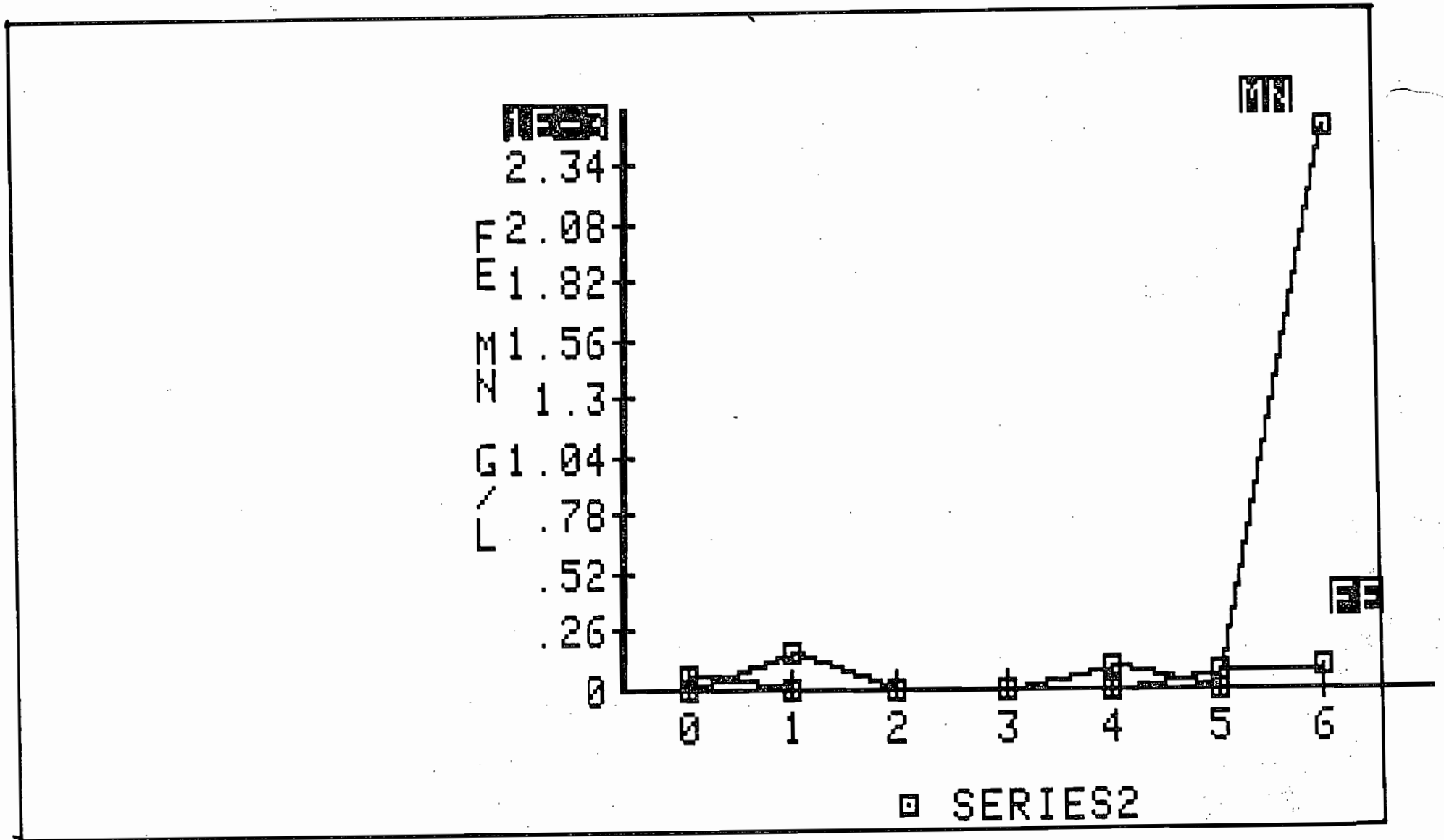
La partie sud du lac de Guiers contient d'une manière générale des eaux chlorurées sodiques. La prépondérance du chlorure est particulièrement nette dans les nappes superficielles du continental terminal. A ce niveau, on peut affirmer que cette dominance est non seulement due à la nature des roches aquifères (sables) mais surtout à l'influence des eaux marines. La composition chimique et les fortes teneurs observées dans le sud du lac s'expliquent par l'influence des eaux salées de la mer associée à un faciès nettement plus argileux et la très forte évaporation (79% du volume du lac annuellement). Elles résultent aussi du lessivage périodique des eaux d'infiltration qui avec l'évaporation favorisent la concentration en sels dans les eaux souterraines. Les nappes profondes (paléocène et maestrichtienne) ont des teneurs relativement bonnes résultant d'un équilibre entre l'influence des eaux

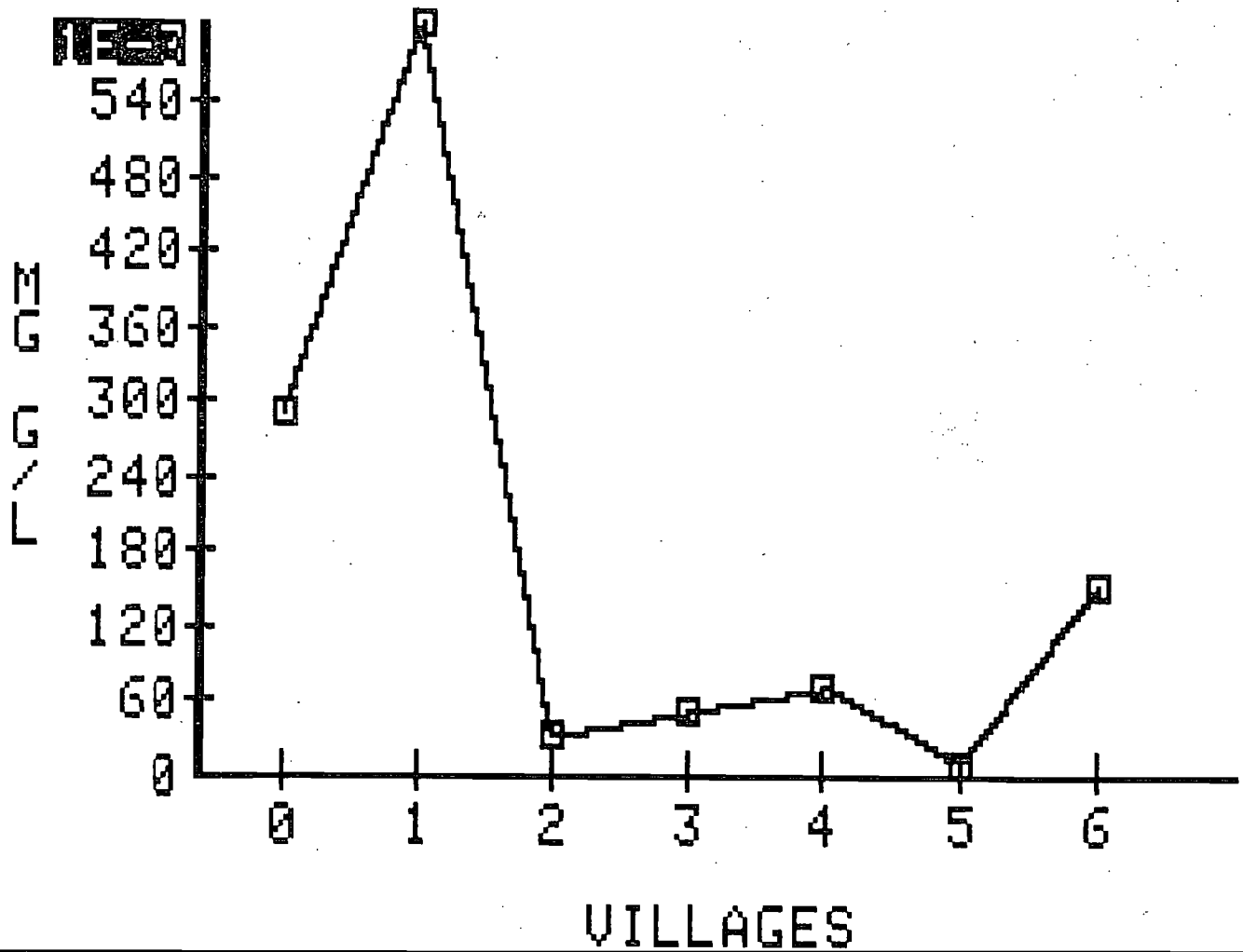
doüces pouvant se charger dans le sens de l'écoulement et provenant de l'Est et celle d'eau salées d'origine actuelle ou fossile.

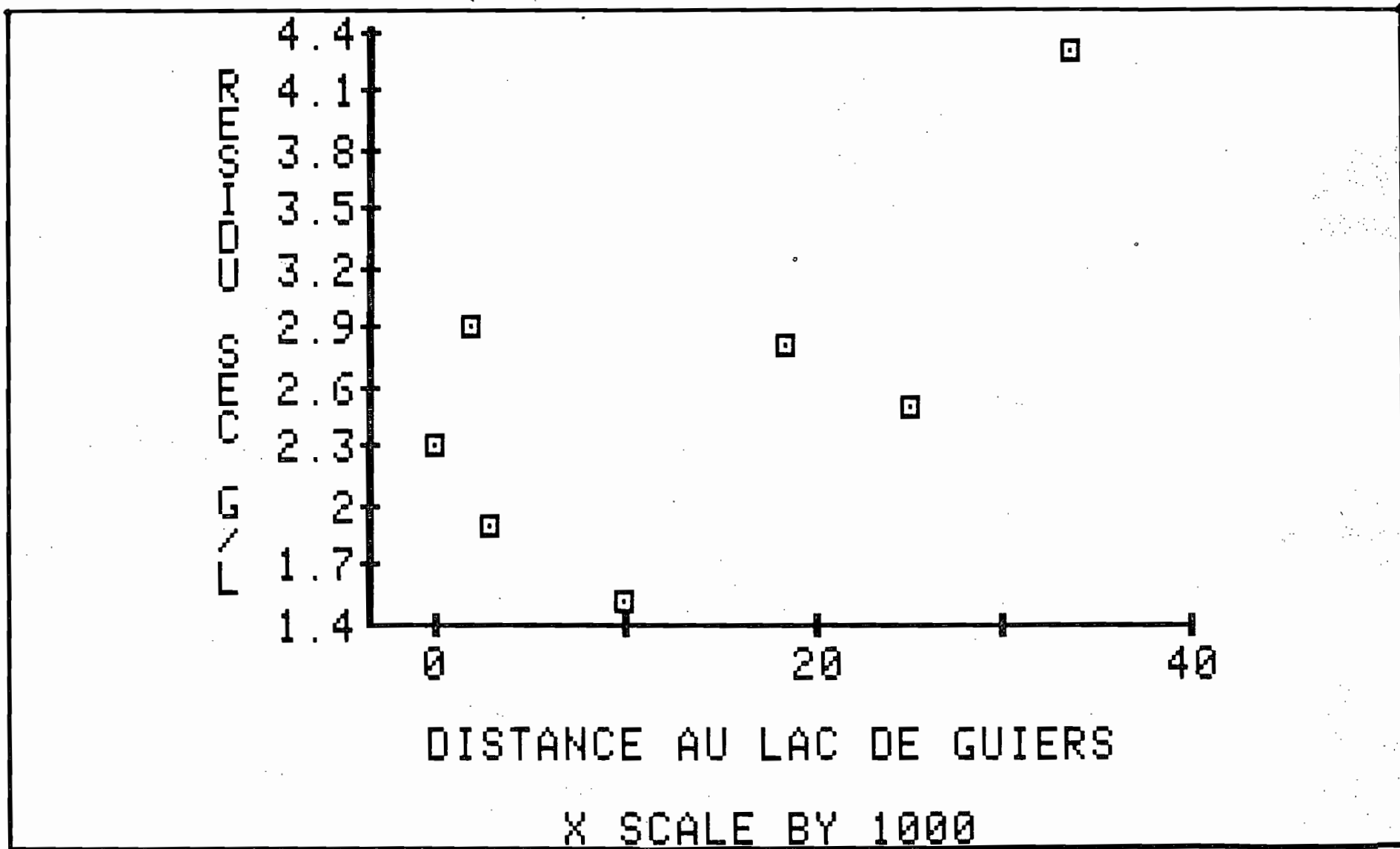
Hormis la teneur relativement excessive du chlorure, les eaux sont en général acceptables pour l'alimentation des populations. Il est à noter que le puits du village de Niamré au regard de sa teneur excessive en manganèse est à abandonner.





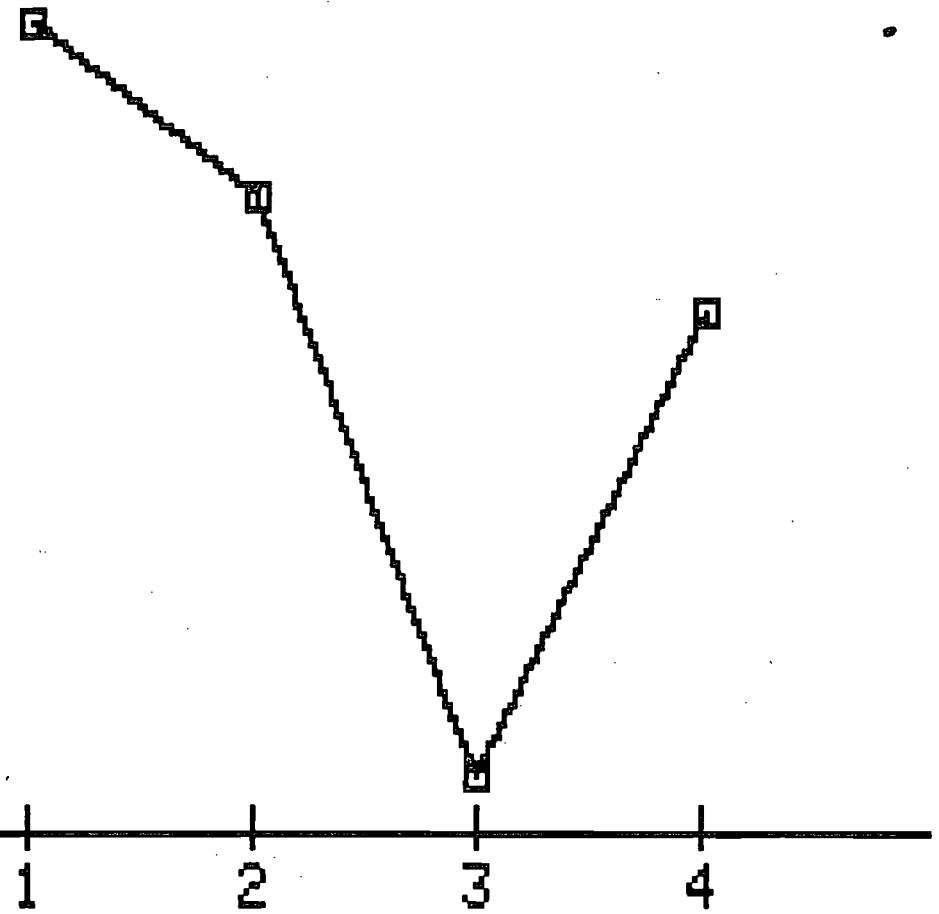






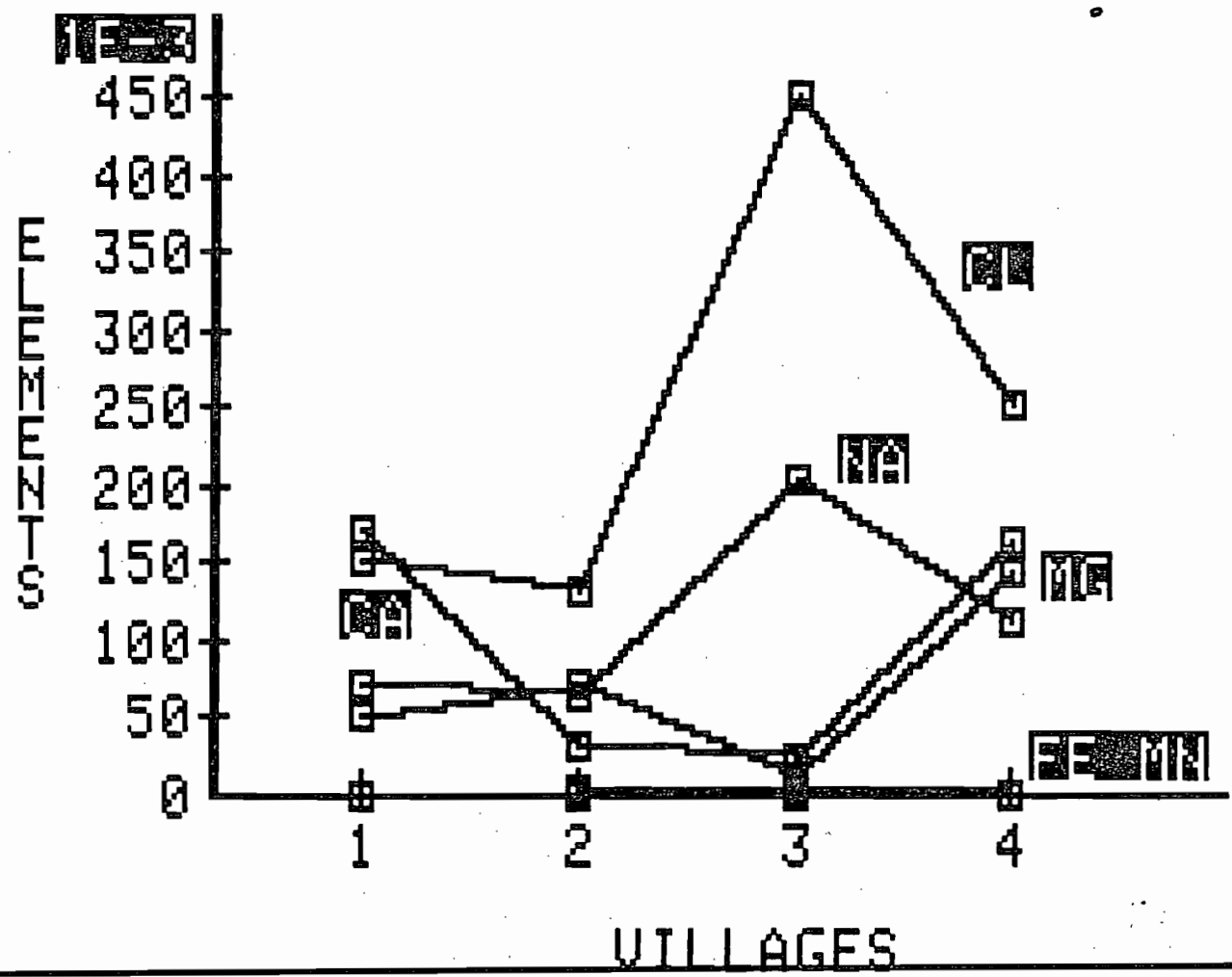
GRAPHIQUE COMPARATIF

2.8
2.66
2.52
2.38
2.24
2.1
1.96
1.82
1.68
1.54
1.4



VILLAGES

GRAPHIQUE COMPARATIF



III. 2 Hydrochimie de l'eau d'Alman Sam: comparaison des études du Nord et du sud

2.1 Introduction

Sans le vouloir de présenter des données nationales et globales pour la zone autour de l'eau d'Alman Sam, nous avons été amenés à comparer les deux études menées parallèlement dans le Nord et le sud. En effet, cette comparaison permettra à l'organisme initiateur du projet, le Chinese World Service de disposer des connaissances générales en vue de prendre les décisions nécessaires pour la résolution de l'ensemble des problèmes.

Tableau global des résultats

Géographiques

2.2 Commentaires

En consultant les résultats des deux études du Nord et du Sud de l'eau d'Alman Sam, on peut noter que l'échantillon reste l'élement prépondérant dans les deux cartes superposées. Tandis qu'autour du lac, les données restent relativement faibles, elles sont importantes dans les cartes des zones du Nord-Ouest et du Sud-Ouest (zones arides). Le graphique comparatif du diagramme nous indique que ce sont dans les zones plus précisément entre l'Alman et l'Alkan qui se trouvent les données manuscrites (1972) rendant ces eaux importantes à la consommation. On note aussi que les points du village de Bannette sont restés des données importantes (1972) malgré la relative proximité du lac qui entraîne une recharge naturelle des nappes par profonde expliquant les faibles données des points situés autour de celui-ci. Quant aux zones pratiquement sèches, elles sont totalement recouvertes par la longue dalle qui avance vers l'Est.

<u>NAPPES SUPERFICIELLES : Puits</u>								
Villages	Residu sec (g/l)	Fe (g/l)	Mn (g/l)	Mg (g/l)	Cl ⁻ (g/l)	Na ⁺ (g/l)	Ca ²⁺ (g/l)	d (m)
BALLA	2.4	10 ⁻⁴	0	0.29	0.73	0.33	0.53	0
Niomré	4.3	10.10 ⁻⁴	25.10 ⁻⁴	0.15	2.70	1.2	0.11	33500
Guermatal	2.5	0.8.10 ⁻⁴	0	0.01	0.80	0.3	0.03	18500
DioKoul	1.4	0.8.10 ⁻⁴	0.5.10 ⁻⁴	0.04	0.21	0.09	0.05	2000
GanKelle.B.	2.9	0	1.5.10 ⁻⁴	0.6	1.00	0.45	0.58	2000
Féto	2.1	0	0	0.14	0.21	0.09	0.16	2500
Dimbou	0.96	3.10 ⁻⁴	20.10 ⁻⁴	0.12	0.31	0.14	0.16	8000
K. Kane	3.2	0.6.10 ⁻⁴	0	0.53	0.62	0.3	0.21	0
BRAR	1.8	22.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	0.24	0.54	0.24	0.4	3000
DAKHAR	9	0	0	1.07	5.2	2.34	1.2	33500
Keur M. SARR	2.3	0.6.10 ⁻⁴	0	0.29	0.25	0.11	0.16	0
Loyenne	1.6	0.6.10 ⁻⁴	0	0.09	0.16	0.07	0.06	0
Keur AYA	1.9	0	0	0.03	0.2	0.09	0.02	3000
<u>NAPPES PROFONDES : FORAGES</u>								
Guermatal	2.8	0	0	0.05	0.15	0.07	0.17	18500
K. Madiala	2.5	0	10 ⁻⁴	0.07	0.13	0.06	0.03	25000
Boudi	1.5	0.8.10 ⁻⁴	0	0.009	0.45	0.20	0.02	10000
Keur M. SARR	2.3	0	0	0.14	0.25	0.11	0.16	0

d: distance orthogonale au lac

Tableau 7: Caractéristiques chimiques : Nord et Sud

de comparaison des résultats nous indique que le nord ouest autour de Bakhar est la zone qui contient les plus fortes teneurs dans les cartes superposées sur ce qui concerne les éléments étudiés, ce qui tend à prouver que la contamination totale des eaux de cette zone. Ainsi en plus de ce nord, les populations du nord-ouest éprouvent de graves difficultés pour s'approvisionnement en eau de qualité acceptable.

2.3 Conclusion

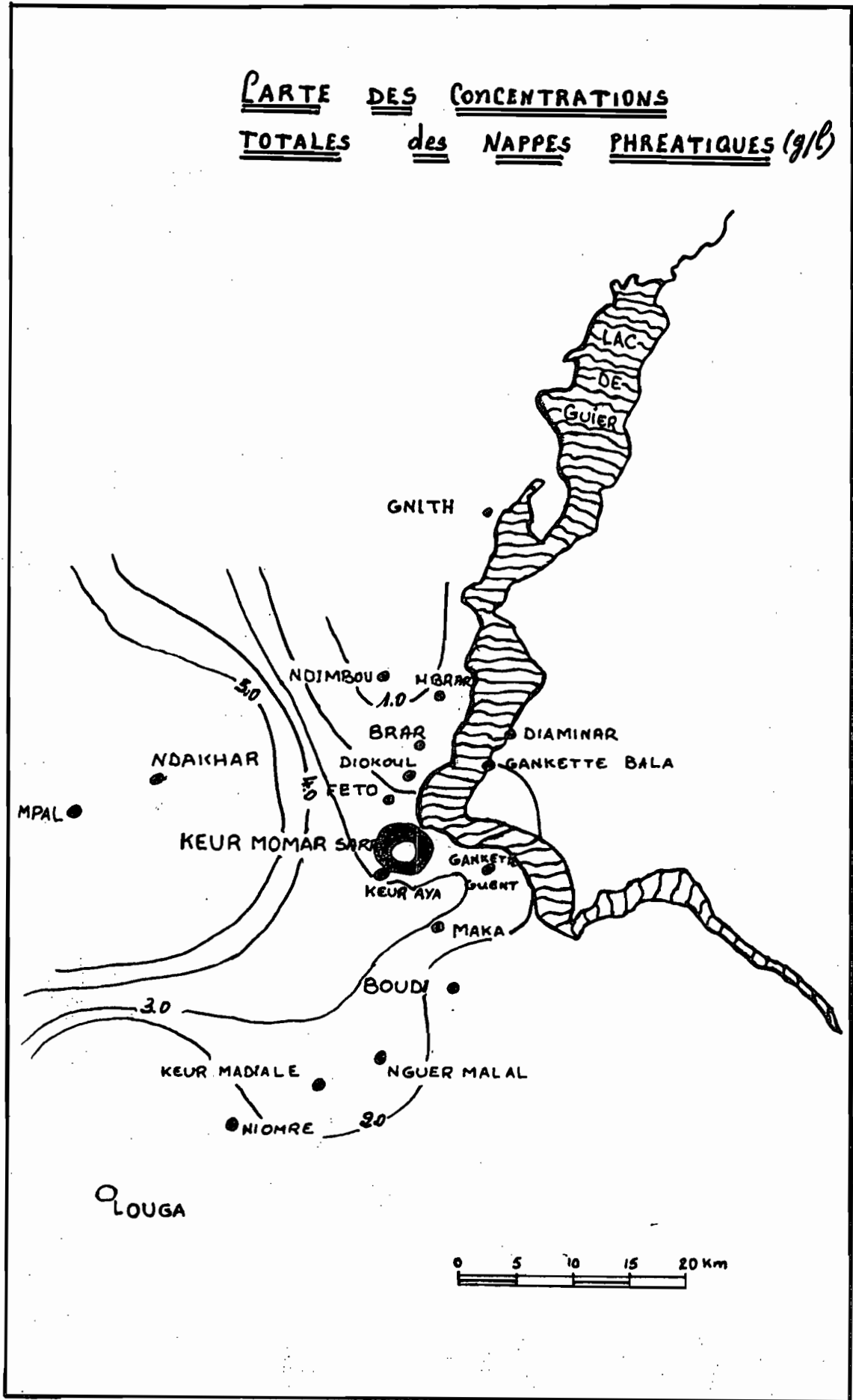
les populations. L'étude des cartes géologiques au sud nous indique que les eaux de surface par les rivières salées. Les eaux sont alors dites calcifères. Elles contiennent des teneurs acceptables pour les éléments étudiés et ne sont pas nocives pour l'alimentation des populations. Les résultats obtenus par les cartes géologiques de l'ion chlorure, celle du calcium et du sodium et le sud ouest. Si la présence du sodium est les plus fortes teneurs indiquent de fortes teneurs dans le nord ouest et le sud ouest. Si la présence du sodium est prépondérante dans les eaux du sud, des graphiques comparatifs de différents éléments comme le sodium et le calcium nous ont permis de conclure que le sodium est le plus abondant. Les résultats obtenus par les cartes géologiques de l'ion chlorure, celle du calcium et du sodium et le sud ouest et le sud ouest. Si la présence du sodium est les plus fortes teneurs indiquent de fortes teneurs dans le nord ouest et le sud ouest. Si la présence du sodium est prépondérante dans les eaux du sud, des graphiques comparatifs de différents éléments comme le sodium et le calcium nous ont permis de conclure que le sodium est le plus abondant. Les résultats obtenus par les cartes géologiques de l'ion chlorure, celle du calcium et du sodium et le sud ouest et le sud ouest. Si la présence du sodium est les plus fortes teneurs indiquent de fortes teneurs dans le nord ouest et le sud ouest. Si la présence du sodium est prépondérante dans les eaux du sud, des graphiques comparatifs de différents éléments comme le sodium et le calcium nous ont permis de conclure que le sodium est le plus abondant.

Les courbes isochlores, et de concentrations totales nous indiquent des teneurs croissantes de Keur Momar Sarr vers l'ouest; ceci s'expliquant par l'avancée de la langue salée, qui constitue un frein à toute activité dans la zone.

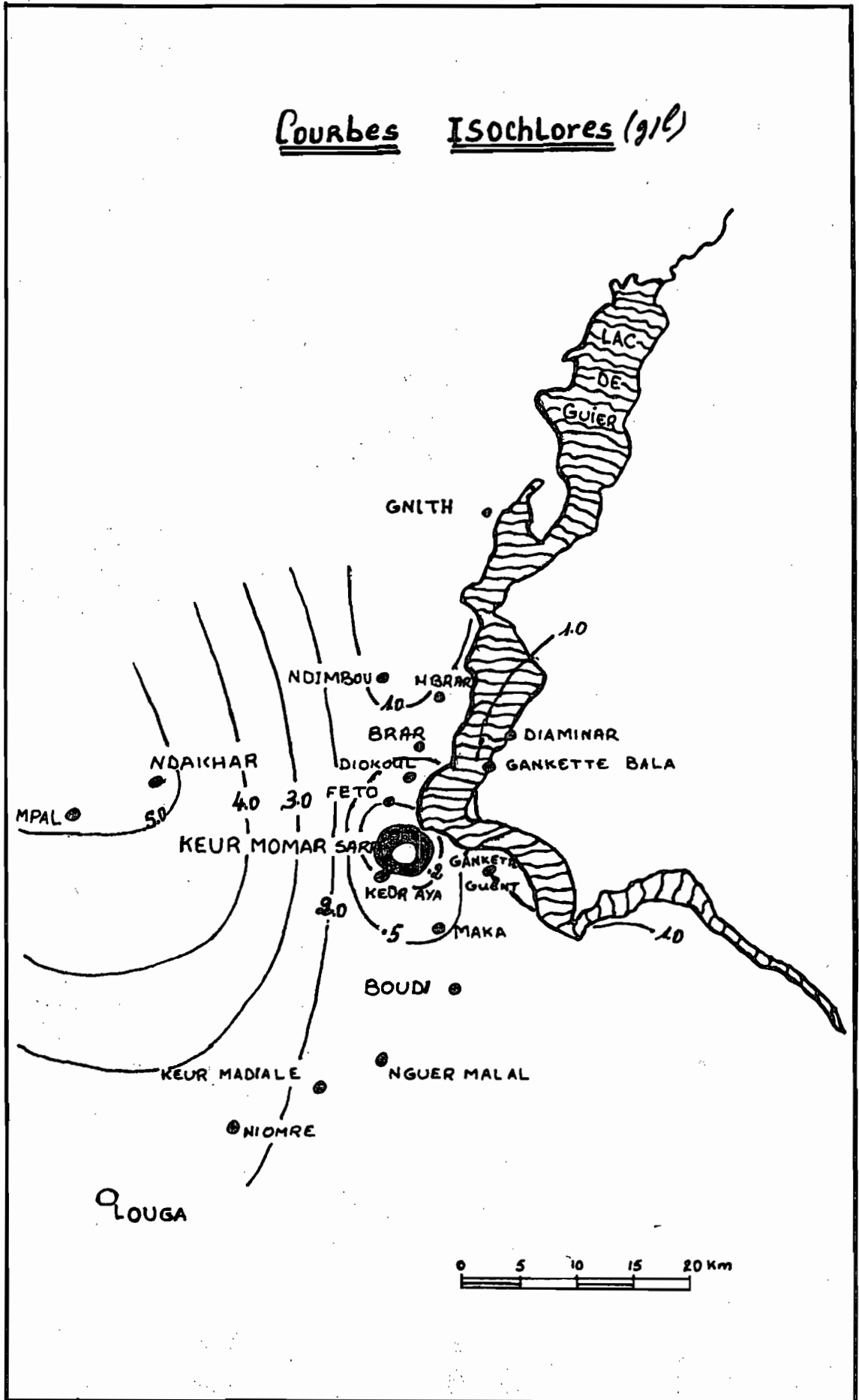
Plus à l'est de Keur. P. Sarr à Gankello. Ouest, nous avons la même situation avec des eaux très salées malgré leur proximité avec le lac.

On peut aussi noter que le reste de la zone offre une situation moins critique malgré les teneurs relativement élevées de certains puits.

PARTE DES CONCENTRATIONS
TOTALES des NAPPES PHREATIQUES (g/b)



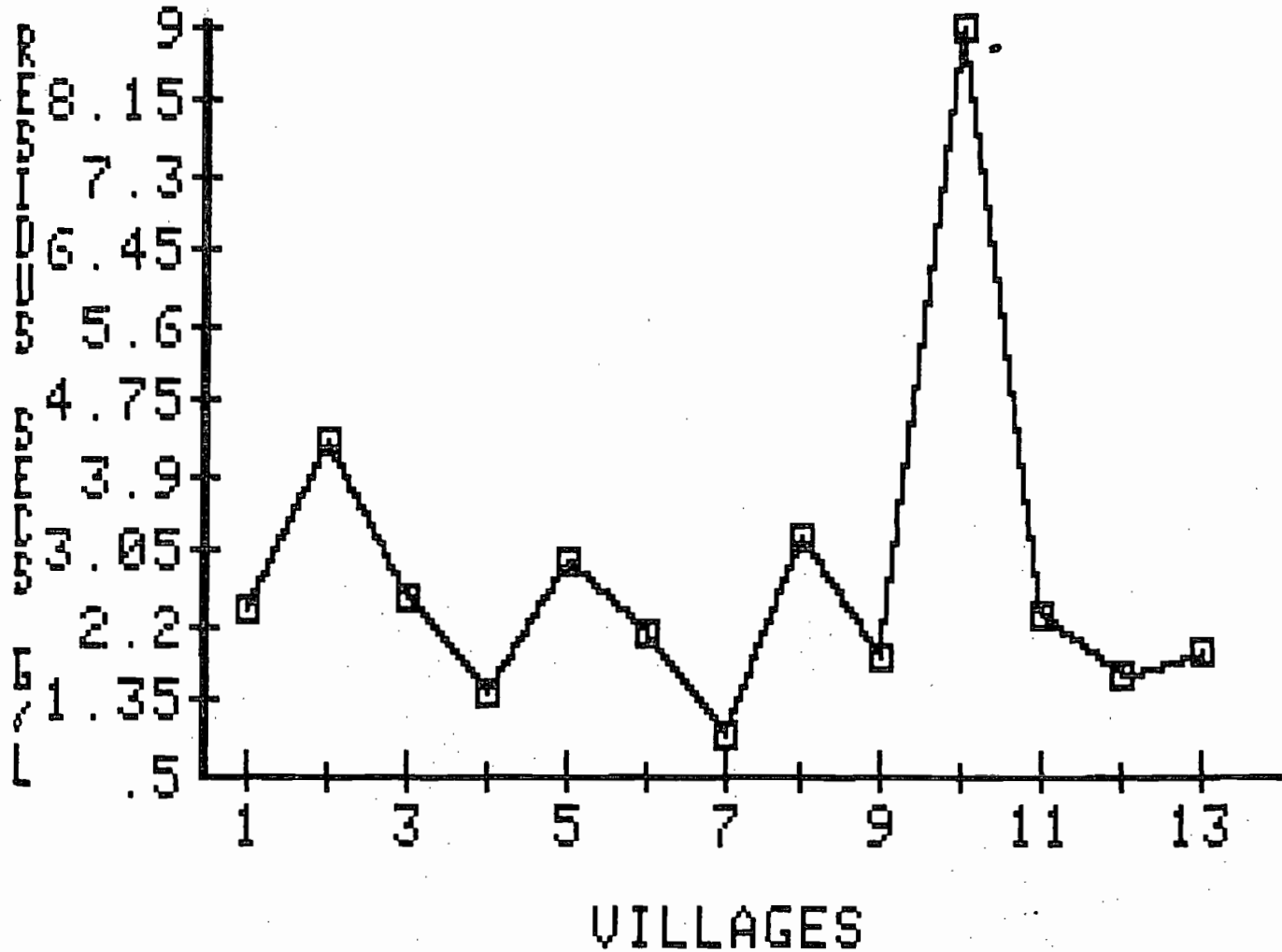
Courbes Isochlores (g/l)



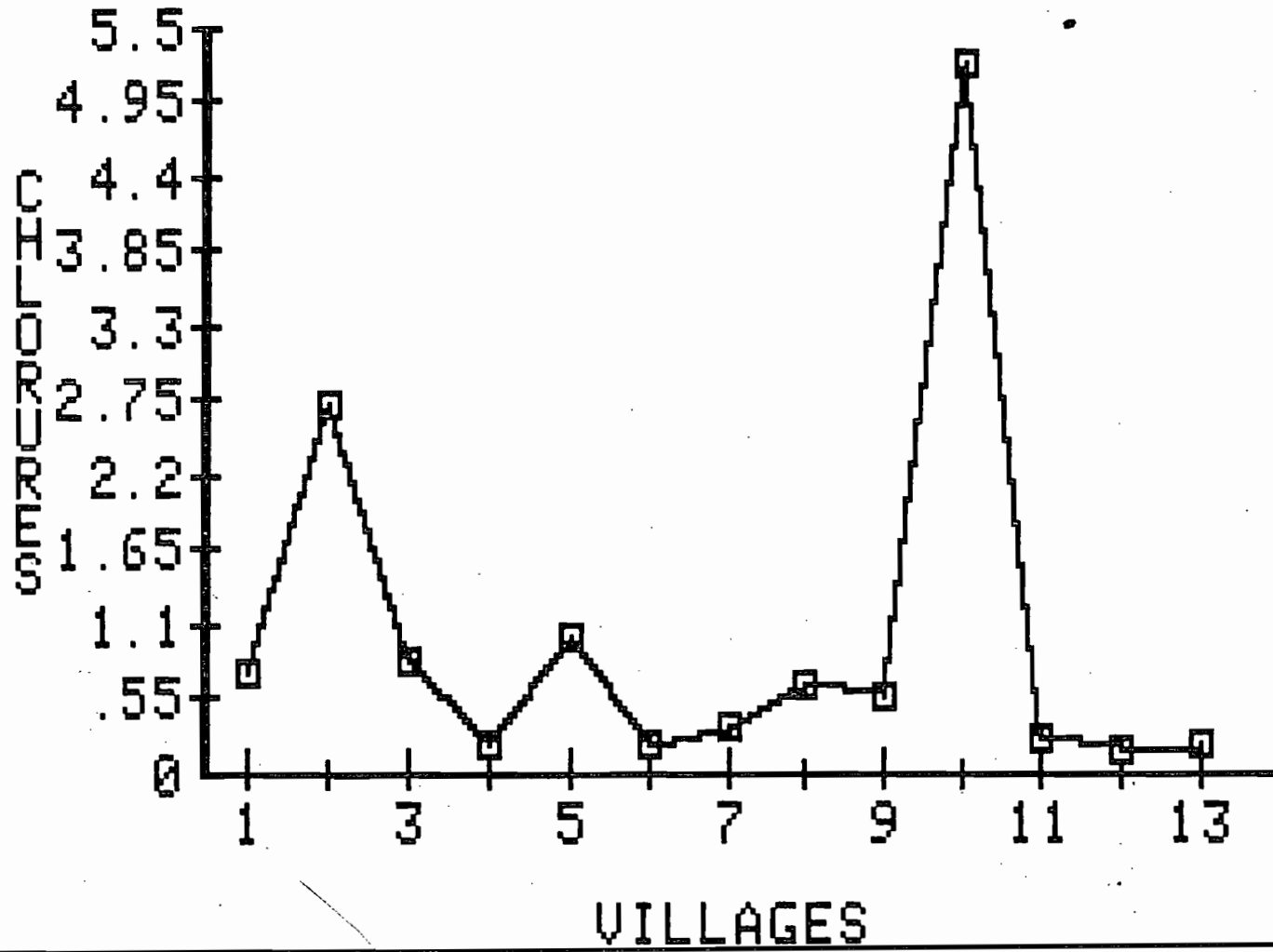
CORRESPONDANCE des chiffres sur les
graphiques comparatifs

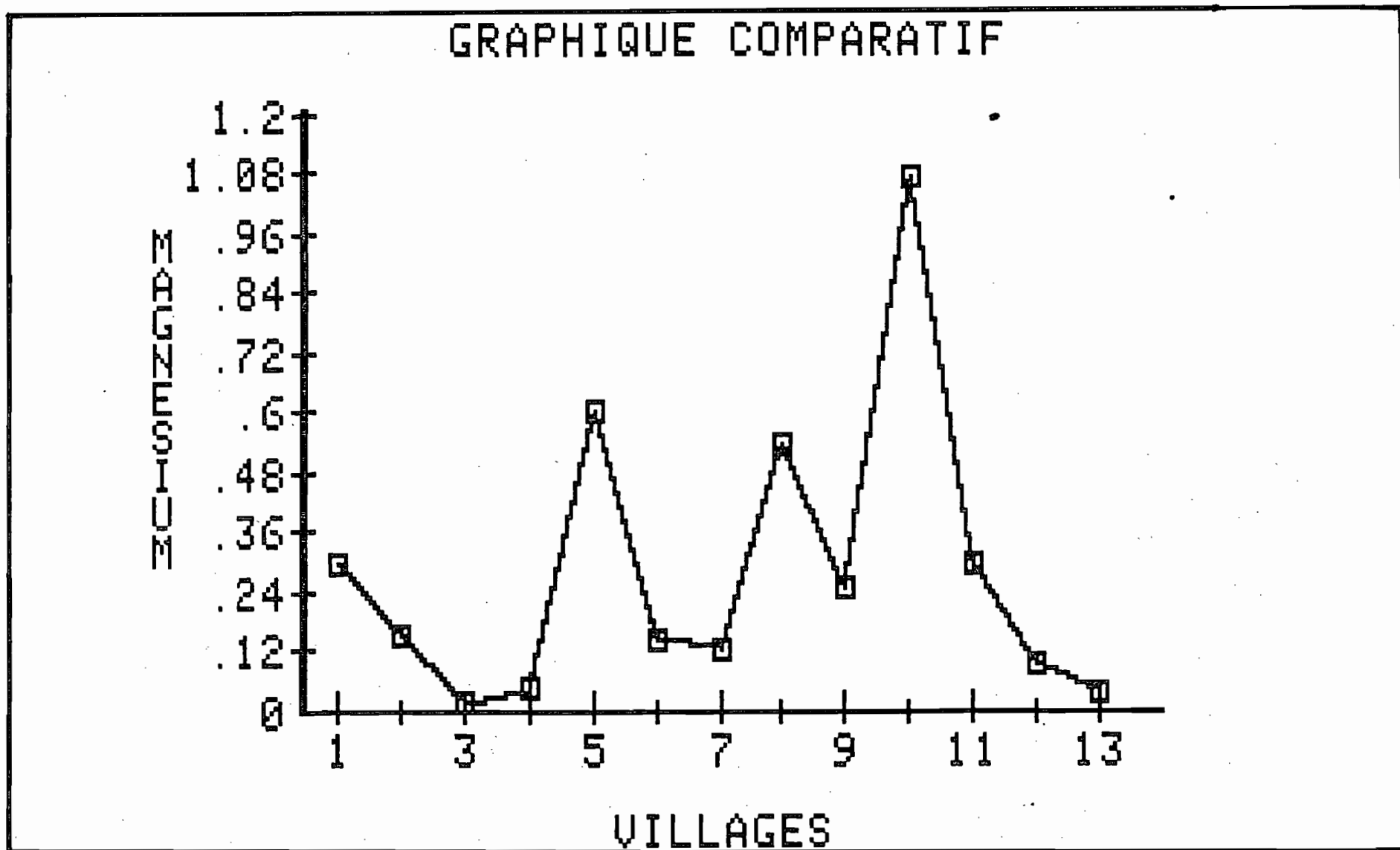
1. Balla
2. Niomré
3. GUER MALAL
4. Diokoul
5. Bankette Buent
6. Keur MAMAR SARR
7. Dimbou
8. Keur Kane
9. Brar
10. DAKHAR
11. Fêto
12. Loyenne
13. KEUR AYA

GRAPHIQUE COMPARATIF

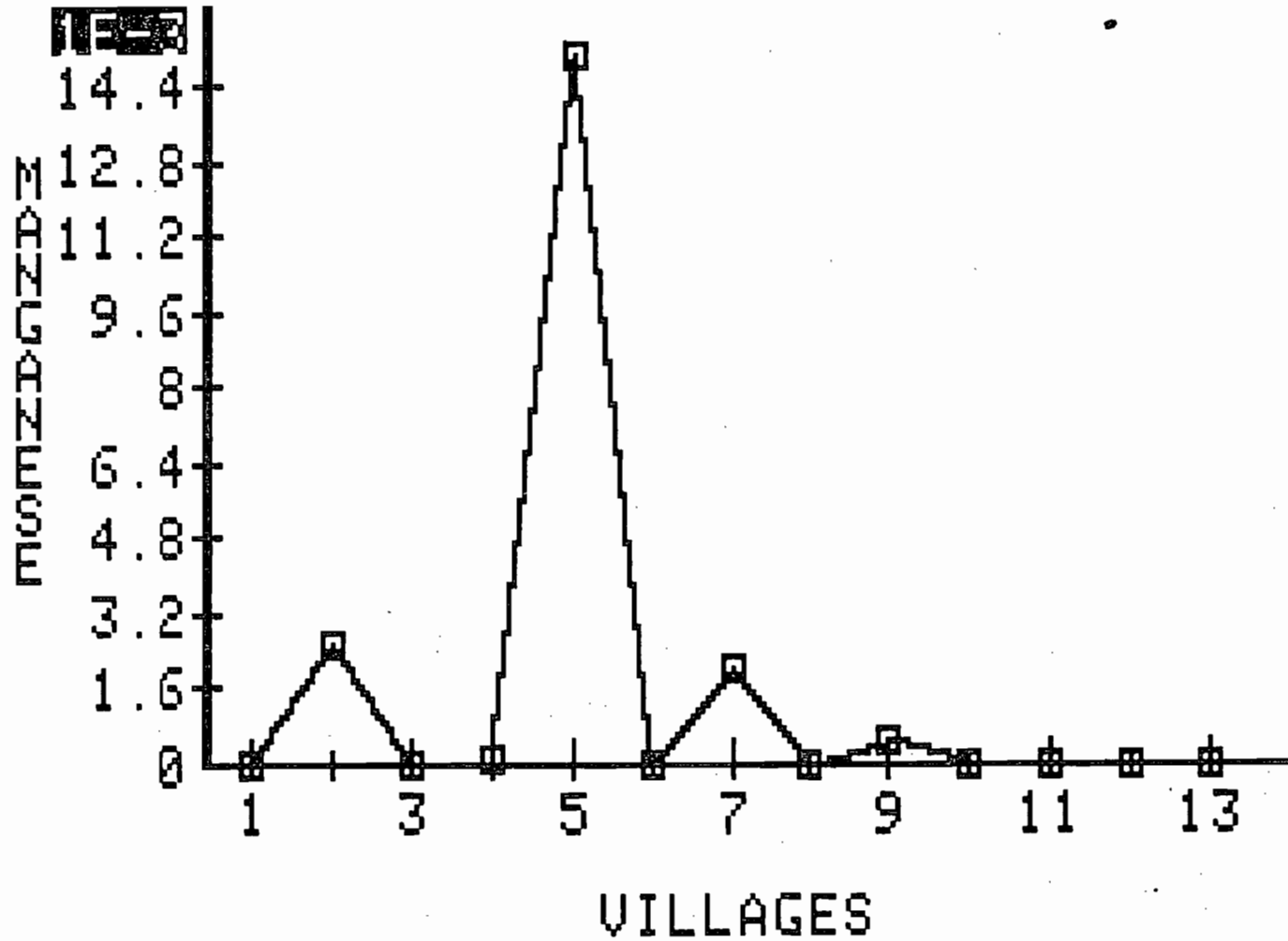


GRAPHIQUE COMPARATIF

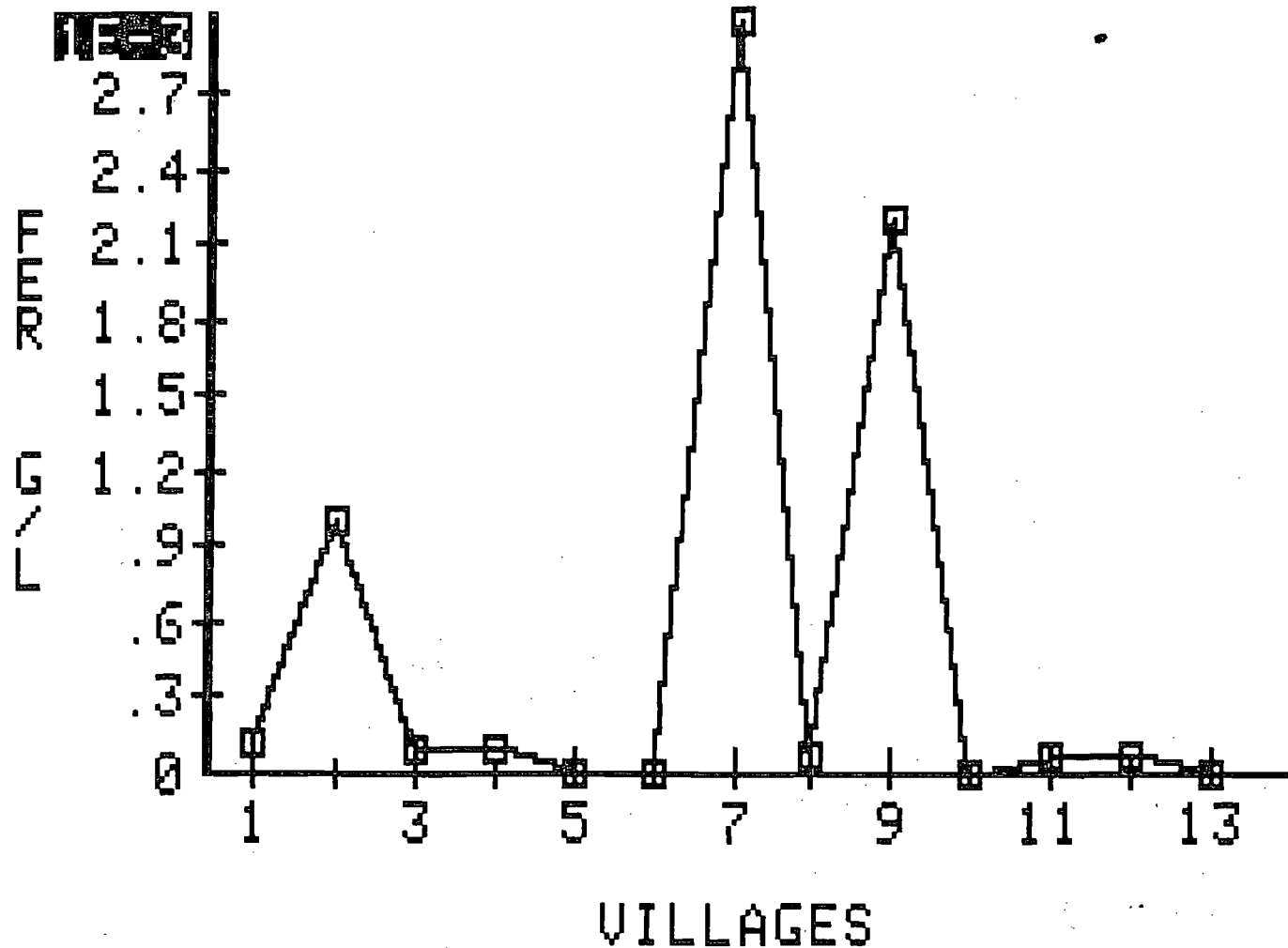




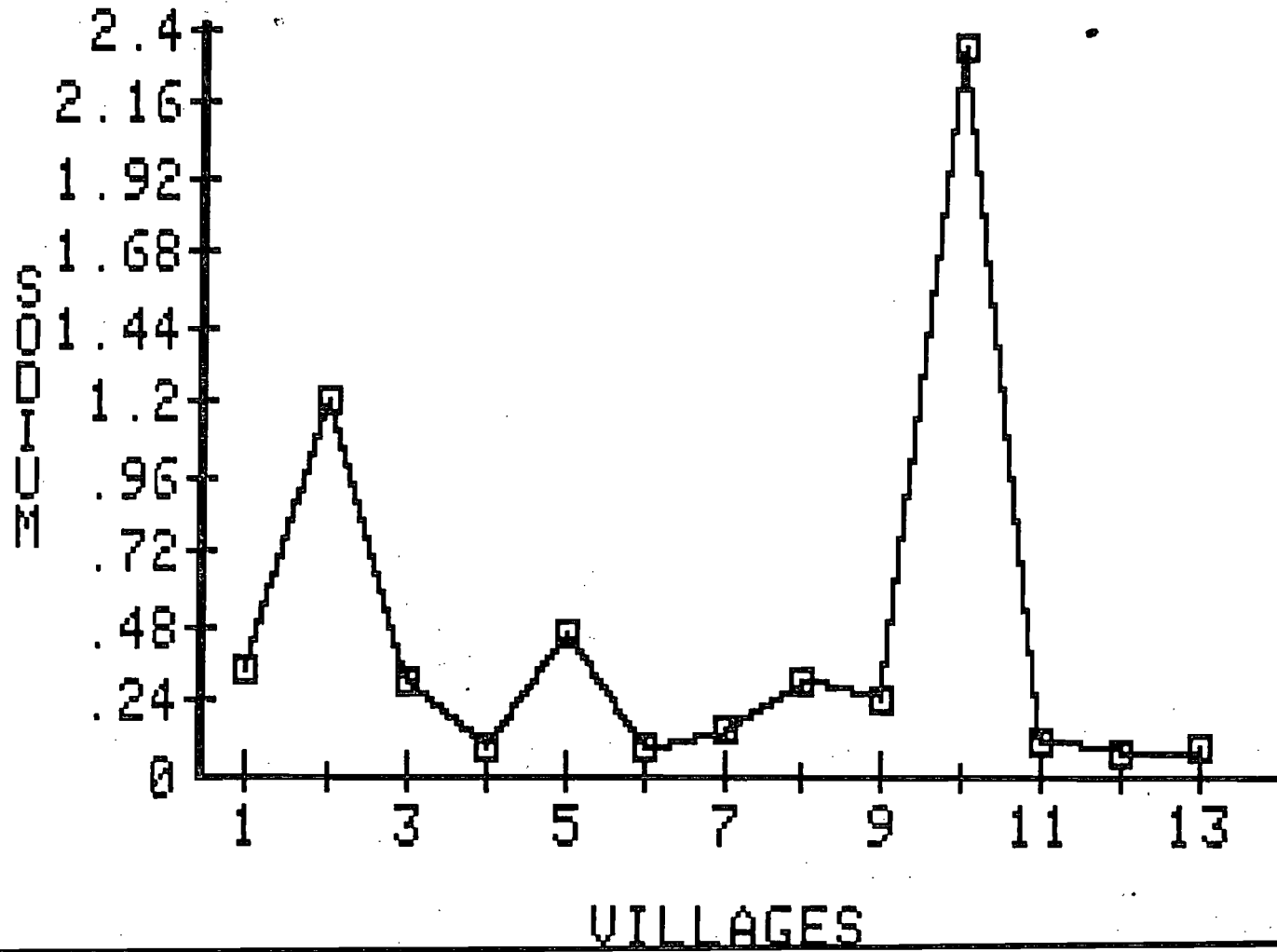
GRAPHIQUE COMPARATIF



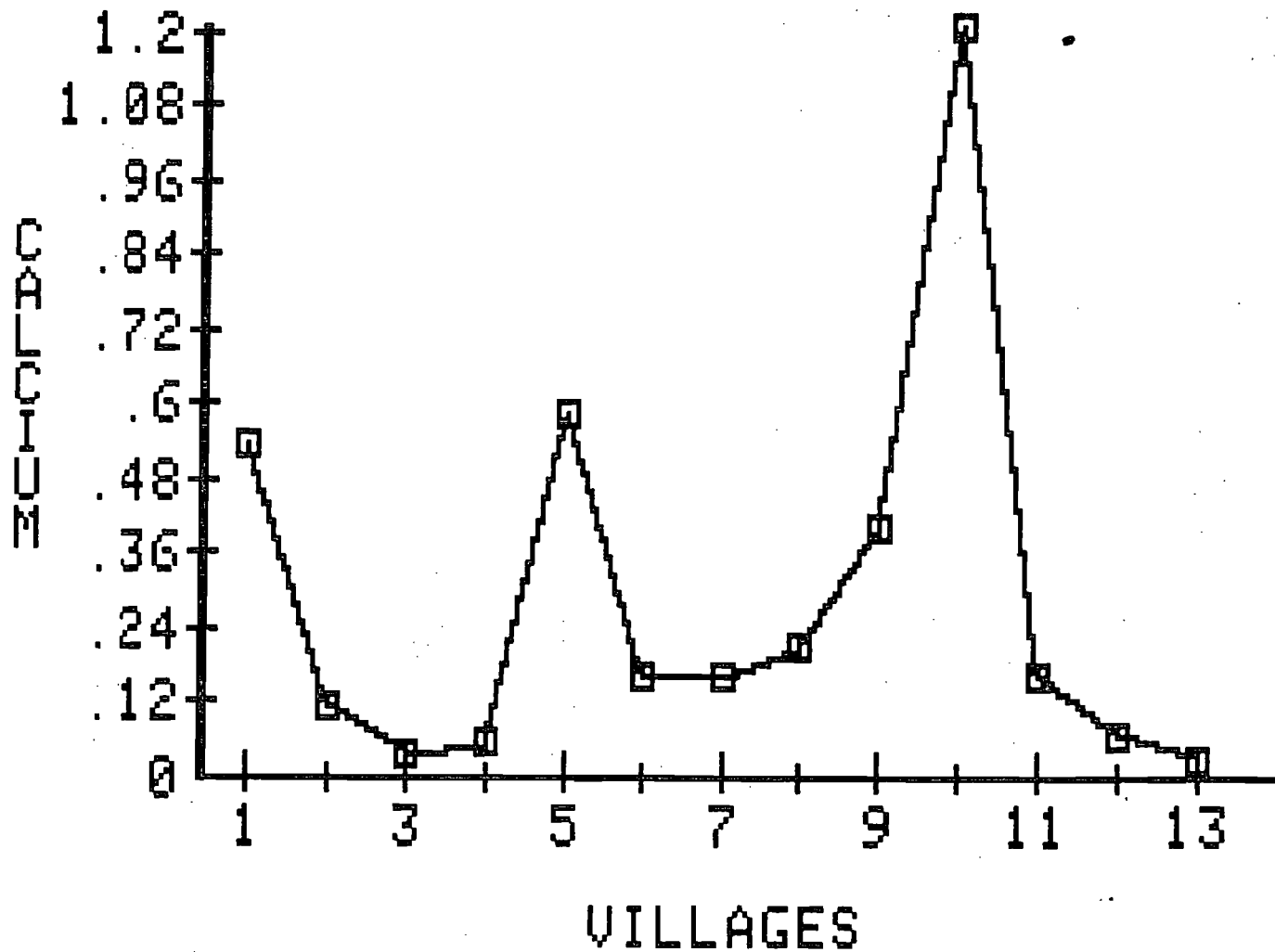
GRAPHIQUE COMPARATIF



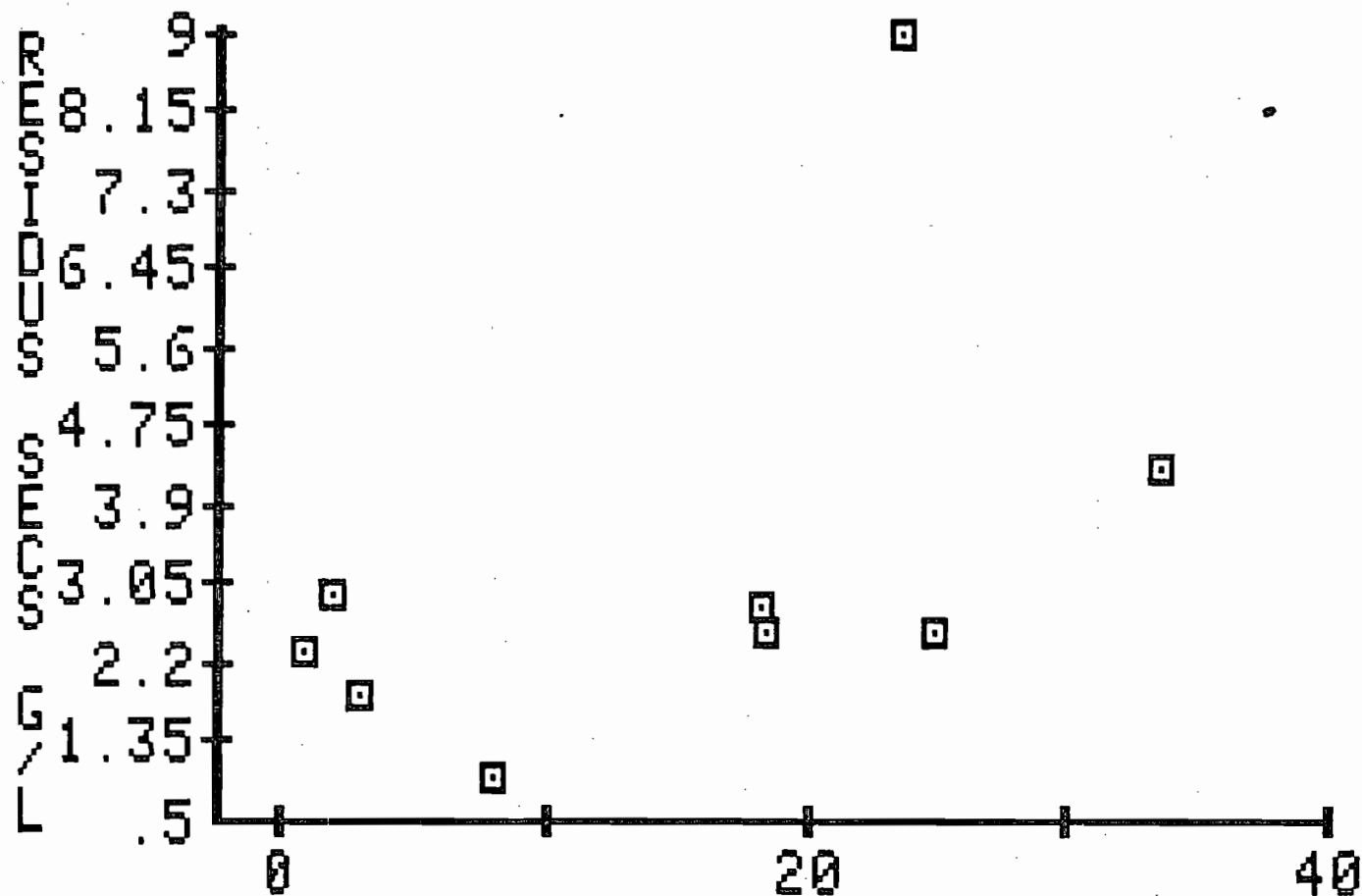
GRAPHIQUE COMPARATIF



GRAPHIQUE COMPARATIF



GRAPHIQUE COMPARATIF



DISTANCE ORTHOGONALE DU LAC DE GUIERS

X SCALE BY 1000

QUATRIEME PARTIE

IV CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

IV.1 Conclusion

Le projet de fin d'étude s'est principalement intéressé aux nappes superficielles du Continental Terminal et certaines nappes profondes (de paléociène et le maestrichtien).

Les nappes superficielles sont exploitées par des puits villageois relativement nuls à cause de leur appauvrissement continu. Elles sont en général salées et ne peuvent être utilisées pour toutes les activités. La solution d'avenir qui s'impose est l'exploitation des nappes profondes par l'intermédiaire des forages qui sont pour le moment insuffisants; ce qui contraint les populations à se déplacer sur de longues distances pour s'approvisionner en eau relativement potable.

Dans ce projet, il est à noter que la détermination des éléments chimiques par les méthodes standards a été laborieuse; ce qui ne nous a pas permis de déterminer des éléments comme le nitrate (NO_3^-); le potassium (K^+); les sulfates (SO_4^{2-}) etc. qui auraient servi à mieux apprécier la qualité des eaux. C'est ainsi que nous proposons que l'École Polytechnique de Thiès se procure de "l'absorption atomique", appareil permettant de déterminer les différentes concentrations des éléments en un temps relativement très court. A travers les résultats obtenus, ce projet est une référence très précise des ressources hydriques de la région autour de Koulikoro sans car aucune étude hydrogéologique n'y avait déjà été effectuée.

IV.2 RECOMMANDATIONS

À travers les résultats obtenus dans ce projet de fin d'étude, nous présentons ici un ensemble de recommandations pratiques.

Recommandations spécifiques au Sud

- Création de puits plus profonds et de nouveaux forages : pour palier à la rareté des sources d'approvisionnement et à la salinité excessive.
- Alimentation en eau pour Bankette Guent par induction d'eau à partir de Keur Mhamar Sarr.
- Inscription du puits de Niomré : à cause de sa teneur excessive en manganèse

Recommandations générales communes

- Entretien des puits
- Etablissement par an d'une fiche pour chaque puits de la région : afin de suivre de près l'évolution des éléments chimiques
- Détermination de la zone d'influence des eaux marines (délimitation de la langue salée)
- Utilisation de la filtration lente : Cette recommandation est surtout valable pour les populations qui s'alimentent directement à partir de l'eau du lac de Guiers. Pour mieux comprendre le procédé à utiliser, il faut se reporter au projet de Monsieur Mohamed Diop qui traite largement de ce sujet.
- Recharge artificielle : Installation d'une station pilote à Keur Mhamar Sarr.

Malgré la faible pluviométrie d'ensemble, nous disposons relativement de façon générale d'une grande quantité d'eau pendant la saison des pluies allant de juillet à septembre. Le lac constitue ainsi une réserve d'eau immense dont la plus grande

partie des eaux se perd par évaporation (73% du volume annuel) et par ruissellement. Ainsi pendant la saison des pluies, on perd des quantités énormes d'eau qu'on aurait pu utiliser pour compenser le déficit d'eau pendant la saison sèche. En effet cette eau peut être stockée de façon économique dans les nappes aquifères 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 différent. Elle permet par le stockage économique de ces eaux de relever le niveau des nappes superficielles facilitant le captage des eaux par les puits villageois. Avec cette eau disponible, les populations pourront développer des activités vitales comme la culture, l'élevage, le reboisement et satisfaire leurs besoins d'alimentation en eau.

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

- 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 palliatif à l'appauvrissement des nappes et par conséquent atténuer la sécheresse des puits.

Rappelons que plusieurs pays ont utilisé efficacement la technique de la recharge artificielle pour lutter contre les méfaits de la désertification ; parmi ceux-ci, on peut citer : l'état de Californie ;

la Tunisie, Toulouse et surtout l'Etat d'Israël qui grâce à la recharge artificielle à partir du lac Tibériade au nord est devenu un véritable jardin en plein désert et partant même le premier producteur de fruits du monde.

Le succès de cette station pilote pourra servir d'exemple à plusieurs Etats africains sahéliens où la technique de la recharge artificielle pourrait être utilisée efficacement.

ANNEXES 1

"Fiches types de points d'eau"

FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA	ECHANTILLON N° 1	
SOUS-PREFECTURE DE -- KEUR MOUAR SARR --	DATE DE PRELEVEMENT -- 14-11-1984 --	
VILLAGE DE -- NIOMRE --	LABORATOIRE D'ANALYSE -- B.P.T. et Gnith --	
Caracteristiques physiques (m)	Parametres physico-chimiques (g/l)	
NIVEAU DYNAMIQUE : 28.1	Ca ⁺⁺ : 0.11	Temperature -- 29°C --
PROFONDEUR : 30	Mg ⁺⁺ : 0.15	Couleur 200 (mg/l de Pt/l) : --
DIAMETRE : 1.70	Fe ⁺⁺ : 10 ⁻³	Turbidite : 6 (6 ltr de mastic)
HAUTEUR DE MARGELLE : 0.80	Mn ⁺⁺ : 2.510 ⁻³	Conductivite -- 10260 us --
	Na ⁺ : 1.2	
	Cl ⁻ : 2.70	
	Residu sec : 4.3	

Observations Complementaires

À Niomré, nous avons échantillonné un puits dont les caractéristiques sont données ci-dessus.

C'est un puits salé et turbide qui dégage en plus une odeur désagréable provenant de la température trop élevée qui facilite la décomposition de la matière organique dans l'eau. Ainsi les habitants éprouvent de la difficulté pour leur alimentation en eau. Un deuxième puits existe et s'avère relativement moins salé.

FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA SOUS-PREFECTURE DE <u>KEUR MOMAR SARR</u> VILLAGE DE <u>KEUR MADIALE</u>	ECHANTILLON N° <u>2</u> DATE DE PRELEVEMENT <u>14-11-1984</u> LABORATOIRE D'ANALYSE <u>E.P.T. et G.N.I.H</u>
--	--

Caracteristiques physiques	Parametres physico-chimiques (g/l)
NIVEAU DYNAMIQUE	Ca ⁺⁺ 0.03 Temperature <u>34°C</u>
PROFONDEUR	Mg ⁺⁺ 0.02 Couleur <u>45+</u>
DIAMETRE	Fe ⁺⁺ 0 (<u>mg/l de Pt/l</u>)
HAUTEUR DE MARGELLE	Mn ⁺⁺ 10 ⁻⁴ Turbidite <u>9</u> (<u>6 ltr de mastic</u>)
(Forage)	Conductivite <u>3300 μs</u>
	Na ⁺ 0.06
	Cl ⁻ 0.13
	Residu sec 2.5

Observations Complementaires

Neant

FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA	ECHANTILLON N° 3	
SOUS-PREFECTURE DE KEUR. MOMAR SARR	DATE DE PRELEVEMENT 14-11-1984	
VILLAGE DE Boudi	LABORATOIRE D'ANALYSE E.P.T. et Gnith	
Caracteristiques physiques	Parametres physico-chimiques	
NIVEAU DYNAMIQUE	Ca ⁺⁺ 0.02	Temperature ... 32°C
PROFONDEUR	Mg ⁺⁺ 0.009	Couleur /
DIAMETRE	Fe ⁺⁺ 0.0	Turbidite /
HAUTEUR DE MARGELLE	Mn ⁺⁺ 0.810 ⁻⁴	Conductivite ... 1210 μs
(FORAGE)	Na ⁺ 0.20	
	Cl ⁻ 0.45	
	Residu sec 1.5	

Observations Complementaires

Neant

FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA		ECHANTILLON N° 4	
SOUS-PREFECTURE DE <i>KEUR MOMAR SARR</i>		DATE DE PRELEVEMENT <i>14-11-84</i>	
VILLAGE DE <i>Gankella Guent</i>		LABORATOIRE D'ANALYSE <i>E.P.T. et Gnith</i>	
Caracteristiques physiques (m)		Parametres physico-chimiques (g/l)	
NIVEAU DYNAMIQUE	<i>8.64</i>	Ca ⁺⁺	<i>0.58</i> Temperature ...
PROFONDEUR	<i>9.84</i>	Mg ⁺⁺	<i>0.52</i> <i>30°C</i>
DIAMETRE	<i>1.80</i>	Fe ⁺⁺	<i>0.00</i> Couleur ...
HAUTEUR DE MARGELLE	<i>0.90</i>	Mn ⁺⁺	<i>1.510</i> Turbidité ...
		Na ⁺	<i>0.6</i> Conductivité ...
		Cl ⁻	<i>5.0</i> <i>12000 µs</i>
		Residu sec	<i>0.9</i>

Observations Complementaires

Point très salé et non utilisé.

FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA		ECHANTILLON N° 5	
SOUS-PREFECTURE DE KEUR. MOMAR SARR ...		DATE DE PRELEVEMENT 14.11.1984 ...	
VILLAGE DE Gankette Guent ...		LABORATOIRE D'ANALYSE EPT et Gnith ...	
Caracteristiques physiques (m)		Parametres physico-chimiques (g/l)	
NIVEAU DYNAMIQUE	6.7	Ca ⁺⁺	0.84
PROFONDEUR	7.50	Mg ⁺⁺	0.22
DIAMETRE	1.80	Fe ⁺⁺	0
HAUTEUR DE MARGELLE	0.90	Mn ⁺⁺	0
		Na ⁺	3
		Cl ⁻	4
		Residu sec	9.0
		Temperature	29.5°C
		Couleur	---
		Turbidite	---
		Conductivite	15200 µs

Observations Complementaires

Le puits fait parti de 29 autres puits que les villageois ont été contraint d'abandonner à cause de la salinité. Ornn il est devenu très sale.

FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA SOUS.PREFECTURE DE KEUR MOMAR SARR VILLAGE DE Gankette GUENT	ECHANTILLON N° 6 DATE DE PRELEVEMENT 14 - 11 - 1984 LABORATOIRE D'ANALYSE E.P.T. et Gnith																																	
Caracteristiques physiques (m)	Parametres physico-chimiques (g/l)																																	
NIVEAU DYNAMIQUE 11.0 PROFONDEUR 9.54 DIAMETRE 1.50 HAUTEUR DE MARGELLE 0.8	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Ca⁺⁺</td> <td style="width: 20%;">0.45</td> <td style="width: 60%;">Temperature ...</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">... 30°C ...</td> </tr> <tr> <td>Mg⁺⁺</td> <td>0.86</td> <td>Couleur 5⁺ en</td> </tr> <tr> <td>Fe⁺⁺</td> <td>6.10⁻⁵</td> <td>mg/l de Pt/Co ...</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Turbidité 6</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">... (66^{te} de marte) ...</td> </tr> <tr> <td>Mn⁺⁺</td> <td>5.10⁻⁵</td> <td>Conductivité ...</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">... 3080 /μs ...</td> </tr> <tr> <td>Na⁺</td> <td>0.58</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cl⁻</td> <td>0.72</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Residu sec</td> <td>2.4</td> <td></td> </tr> </table>	Ca ⁺⁺	0.45	Temperature 30°C ...	Mg ⁺⁺	0.86	Couleur 5⁺ en	Fe ⁺⁺	6.10 ⁻⁵	mg/l de Pt/Co ...			Turbidité 6			... (66^{te} de marte) ...	Mn ⁺⁺	5.10 ⁻⁵	Conductivité 3080 /μs ...	Na ⁺	0.58		Cl ⁻	0.72		Residu sec	2.4	
Ca ⁺⁺	0.45	Temperature ...																																
		... 30°C ...																																
Mg ⁺⁺	0.86	Couleur 5⁺ en																																
Fe ⁺⁺	6.10 ⁻⁵	mg/l de Pt/Co ...																																
		Turbidité 6																																
		... (66^{te} de marte) ...																																
Mn ⁺⁺	5.10 ⁻⁵	Conductivité ...																																
		... 3080 /μs ...																																
Na ⁺	0.58																																	
Cl ⁻	0.72																																	
Residu sec	2.4																																	

Observations Complementaires

Le village connaît des difficultés très énormes pour son alimentation en eau. Le puits est le seul que le village utilise sur une trentaine de réalisés par les villageois eux-mêmes. Avec une concentration de 0.72g/l de Cl⁻, le puits est le seul relativement peu salé et est un des 29 autres réalisés à cause de leur concentration en sel. Or ce puits connaît une exploitation intense. Avec un débit très faible, les femmes sont généralement obligées d'attendre de longues heures avant de se commencer à puiser.

FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA		ECHANTILLON N° 7	
SOUS-PREFECTURE DE		DATE DE PRELEVEMENT	
... KEUR MOMAR SARE 14-11-1984	
VILLAGE DE		LABORATOIRE D'ANALYSE	
... NIDMRE EPT. et Gnith	
Caracteristiques physiques (m)		Parametres physico-chimiques (g/l)	
NIVEAU DYNAMIQUE	29.2	Ca ⁺⁺	0.16
PROFONDEUR	30.7	Mg ⁺⁺	0.1
DIAMETRE	2.0	Fe ⁺⁺	0
HAUTEUR DE MARGELLE	0.8	Mn ⁺⁺	0
		Na ⁺	0.4
		Cl ⁻	0.9
		Residu sec	3.0
		Temperature	29°C
		Couleur	/
		Turbidite	/
		Conductivite	500 µs

Observations Complementaires

Puits utilise' par la population de Niomne'

FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA SOUS.PREFECTURE DE KEUR MOMAR. SABR VILLAGE DE .. KEUR AYA .. -----	ÉCHANTILLON N° 8 DATE DE PRELEVEMENT 14 - 11 - 1984 LABORATOIRE D'ANALYSE EPT. d. Gnih
--	--

Caracteristiques physiques	Parametres physico-chimiques
NIVEAU DYNAMIQUE	Ca ⁺⁺ 0.02 Temperature
PROFONDEUR 6.70	Mg ⁺⁺ 0.03 27°C
DIAMETRE 1.77	Fe ⁺⁺ 0 Couleur
HAUTEUR DE MARGELLE 0.90	Mn ⁺⁺ 0 Turbidité
	Na ⁺ 0.09 Conductivité
	Cl ⁻ 0.2 3800 μS
	Residu sec 1.9

Observations Complémentaires

Là nous n'avons trouvé personne qui pourrait nous fournir des informations complémentaires. Néanmoins on peut noter que le puits contient une eau claire, de salinité normale peu turbide donc d'une bonne qualité.

FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA	ECHANTILLON N° 9	
SOUS-PREFECTURE DE -- KEUR MOMAR SARR --	DATE DE PRELEVEMENT -- 14.11.1984 --	
VILLAGE DE -- KEUR MOMAR SARR --	LABORATOIRE D'ANALYSE -- E.P.T. et Gnith --	
Caracteristiques physiques	Parametres physico-chimiques (g/l)	
NIVEAU DYNAMIQUE	Ca ⁺⁺ 0.18	Temperature ... -- 25°C --
PROFONDEUR	Mg ⁺⁺ 0.14	Couleur ...
DIAMETRE	Fe ⁺⁺ 0.0	Turbidite ...
HAUTEUR DE MARGELLE	Mn ⁺⁺ 0.0	Conductivite ...
(Forage)	Na ⁺ 0.14	-- 1000 µs --
	Cl ⁻ 0.25	
	Residu sec 2.3	

Observations Complementaires

(néant)

FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA		ECHANTILLON N° 10	
SOUS.PREFECTURE DE KEUR MOMAR SARR		DATE DE PRELEVEMENT 14-11-1984	
VILLAGE DE NGUER MALAL		LABORATOIRE D'ANALYSE E.P.T et G.N.I.H	
Caracteristiques physiques		Parametres physico-chimiques	
NIVEAU DYNAMIQUE	46	Ca ⁺⁺	0.17
PROFONDEUR	43.2	Mg ⁺⁺	0.05
DIAMETRE	2.0	Fe ⁺⁺	0
HAUTEUR DE MARGELLE	0.80	Mn ⁺⁺	0
		Na ⁺	0.34
		Cl ⁻	0.3
		Residu sec	2.9
		Temperature	32°C
		Couleur	
		Turbidite	
		Conductivite	1160/45

Observations Complementaires

La nous avons échantillonné un puits et un forage. Le forage se situe dans le paléocène (209m) et alimente le puits par un système de drains. Ainsi les populations disposent d'une eau relativement potable. Le système est très efficace car il permet aux populations d'éviter d'énormes charges comme l'entretien des accessoires de la pompe et l'alimentation en carburant du forage.

FICHE TYPE DE POINTS D'EAU

REGION DE LOUGA		ECHANTILLON N° <i>11</i>	
SOUS-PREFECTURE DE ----- <i>KEUR MOMAR SARR</i> -----		DATE DE PRELEVEMENT ----- <i>14.11.1984</i> -----	
VILLAGE DE ----- <i>KEUR MOMAR SARR</i> -----		LABORATOIRE D'ANALYSE ----- <i>E.P.T. et Grith</i> -----	
Caracteristiques physiques		Parametres physico-chimiques	
NIVEAU DYNAMIQUE	<i>4.55</i>	Ca ⁺⁺	<i>0.16</i> Temperature ...
PROFONDEUR	<i>5.40</i>	Mg ⁺⁺	<i>0.29</i> ----- <i>27°C</i> -----
DIAMETRE	<i>1.80</i>	Fe ⁺⁺	<i>6.10⁻⁵</i> Couleur -----
HAUTEUR DE MARGELLE	<i>0.95</i>	Mn ⁺⁺	<i>0.0</i> Turbidité -----
		Na ⁺	<i>0.11</i> Conductivité -----
		Cl ⁻	<i>0.28</i> ----- <i>1000 µS</i> -----
		Residu sec	<i>2.3</i>

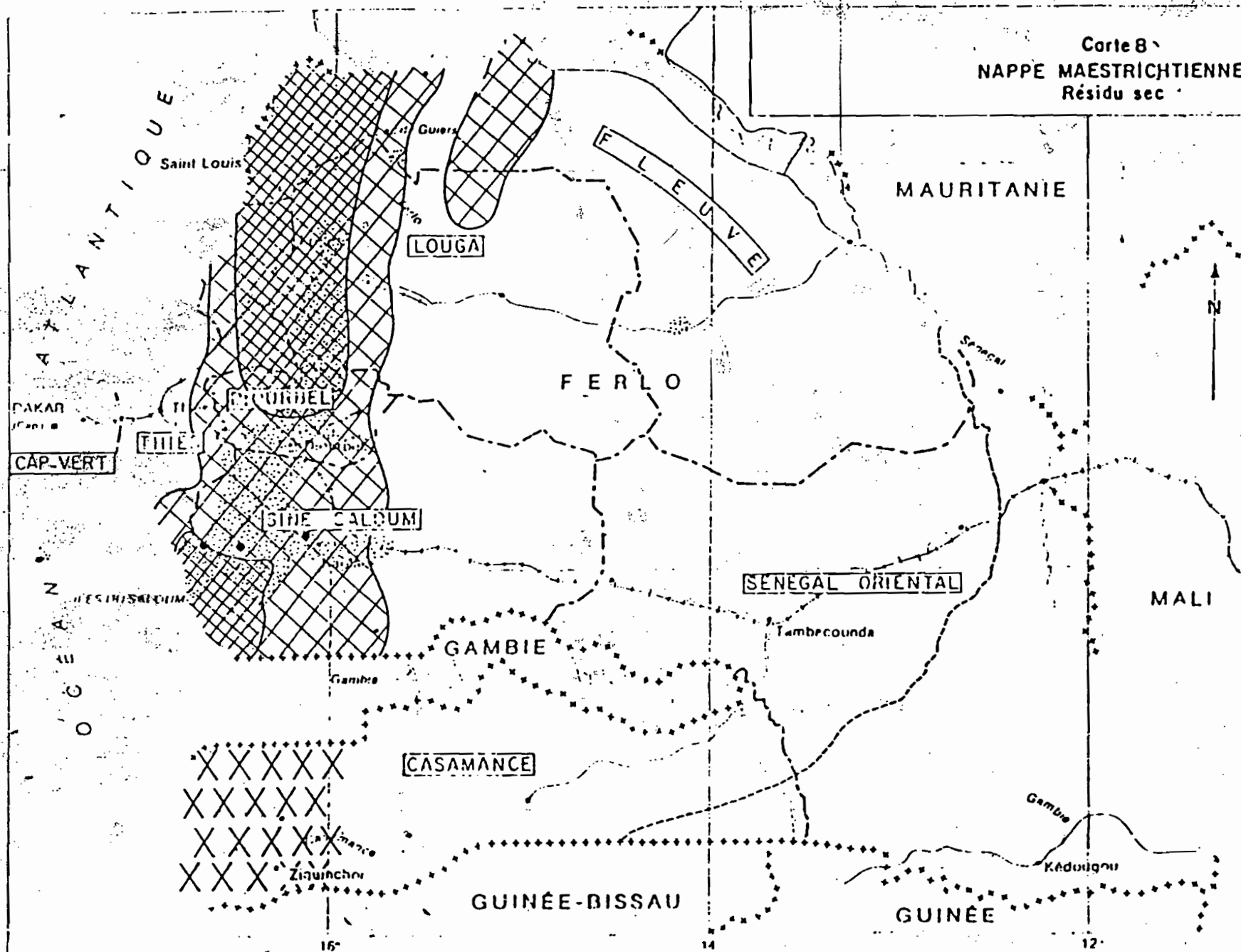
Observations Complementaires

L'ancien puits qui n'est pas utilisé malgré son assez bonne eau. Les populations s'alimentent à partir du forage et utilisent le puits pour les activités annexes. (linge, animaux etc...)

ANNEXES 2

" Courbes de concentrations totales et inchores "

Carte 8 NAPPE MAESTRICHTIENNE Résidu sec



LEGENDE

- Rivière principale de bassin variable permanence
- Rivière principale permanente ou presque permanente
- Rivière secondaire de caractère permanente
- Rivière secondaire saisonnière ou pérenne
- Chemin de fer
- Cours d'eau permanent
- Cours d'eau temporaire
- Zone inondable des rivières pérennes

----- Limite internationale

d'après IGN, carte géologique de l'Afrique
à 1:10 000 000 (1972) et cartes
d'usage (1971-1972)
à 1:10 000 000 (1971)



Février 1982 1 J.R. SH

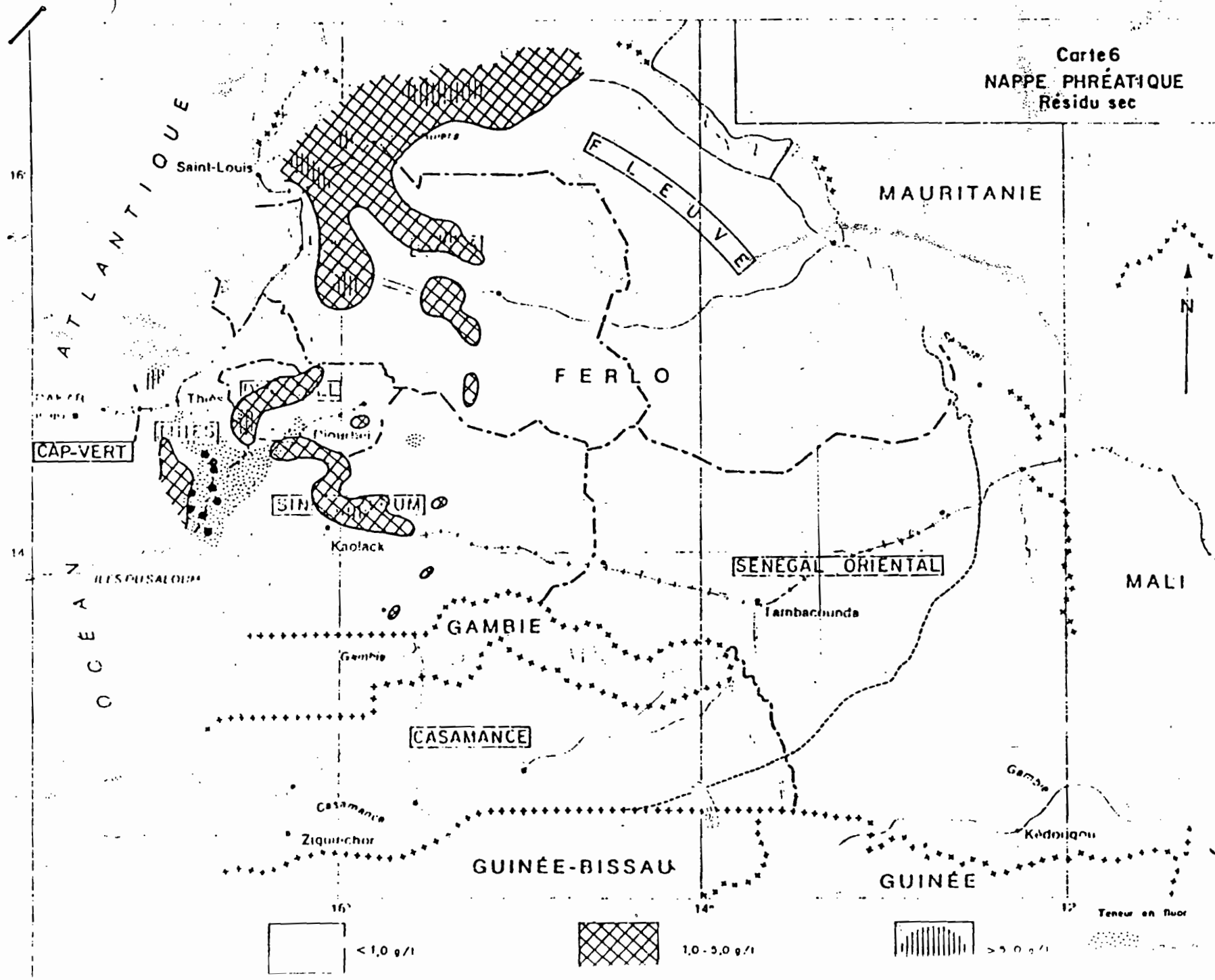
Echelle 1/3 000 000

RÉPUBLIQUE
DIJ



Teneur en fluor
----- > 2 mg/l

Carte 6
 NAPPE PHRÉATIQUE
 Résidu sec



LÉGENDE

- Eau phréatique de haute nappe permanente
- Eau phréatique à caractère de nappe intermittente
- Eau de surface de caractère permanent
- Eau de surface de caractère intermittent
- Eau de surface temporaire
- Zone d'irrigation
- Zone de marécage
- Zone de culture
- Zone de forêt
- Zone de savane
- Zone de brousse
- Zone de steppe

- Chemin de fer
- Cours d'eau permanent
- Cours d'eau temporaire
- Zone d'irrigation
- Zone de marécage
- Zone de culture
- Zone de forêt
- Zone de savane
- Zone de brousse
- Zone de steppe

d'après IGN, carte géologique de l'Afrique
 à l'échelle 1:500 000 (1972) et l'Atlas
 de l'Afrique (1975)
 à l'échelle 1:500 000 (1973)



BRGM
 AGE

16 Juin 1982 1 J.R. S.B.

Echelle 1/3 000 000



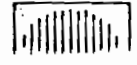
RÉPUBLIQUE
 DU



<math>< 1,0 \text{ g/l}</math>



$1,0 - 3,0 \text{ g/l}$



>math>3,0 \text{ g/l}</math>

Teneur en fluor

Bibliographie

- P. Michel : Mémoires O.R.S.T.O.M n°63
 " des bassins des fleuves Sénégal et Gambie "
 Etude Géomorphologique (Tome 1 et 2)
 O.R.S.T.O.M Paris 1973
- J. Archambault
 " Les eaux souterraines de l'Afrique Occidentale "
 3^e trimestre 1960
- DEGREMONT
 " Mémento 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 Rue Tchecoslovaquie
 1974
- Bureau des recherches géologiques et minières
 " Cartes hydrogéologiques et hydrochimiques du Sénégal " 1965
- Centre de documentation O.M.V.S
 " Hydrogéologie du Faso septentrional / Sénégal / A.O.F "
 (Microfiche 02374 F.1)
- Ministère de l'hydraulique
 " Notice explicative de la carte hydrogéologique du Sénégal "
 Direction de l'hydraulique et de l'énergie 1967