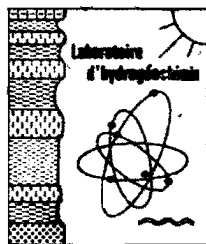


M. CARN  
J. M. GARNIER  
G. F. MAGLIONE

**DONNÉES PRÉLIMINAIRES  
SUR LES POSSIBILITÉS  
D'INSTALLATION D'UNE SALINE  
A L'EMPLACEMENT DU LAC RETBA  
Cap-Vert Sénégal**



1976

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE DAKAR



## A V A N T - P R O P O S

Depuis dix ans le thème unique de nos recherches a été focalisé sur l'hydrogéologie en zone sahélienne à semi-aride et sur l'étude des mécanismes de formation des roches salines, continentales et marines en milieu confiné évaporatoire (MAGLIONE, 1974).

Au cours de ces dernières années, la vague de sécheresse enregistrée par la zone sahélienne s'est traduite par une diminution considérable du rapport Pluviométrie/Evaporation (P/E). (fig. I) L'aspect défavorable de cette péjoration climatique vis à vis du maintien de l'activité biologique, qu'elle soit animale, végétale ou humaine, n'a pas besoin d'être souligné.

A côté de cet aspect négatif, l'accentuation des conditions d'aridité et notamment de l'évaporation peut parfois présider au démarrage de certaines activités, susceptibles de prendre le relais de celles touchées par la sécheresse.

C'est dans cette optique que se place l'étude des mécanismes de formation des évaporites du littoral sénégalais et des sebkhas de Mauritanie. L'augmentation de l'excédent évaporatoire se traduit en effet par une concentration des eaux de surface et subaffleurantes qui peut donner lieu à une mise en réserve minérale exploitable (gypse, sel marin, éléments rares tels que le magnésium, le brome, le lithium, le rubidium...).

Deux zones géographiques d'étude ont été choisies selon un gradient croissant de l'évaporation :

- . Littoral sénégalais : niayes, lacs interdunaires plus ou moins asséchés.
- . Littoral et sebkhas intérieures de Mauritanie.

Ce choix répond en outre à un souci méthodologique de disséquer les paramètres et les mécanismes de formation dans un milieu encore évolutif, le littoral sénégalais, pour l'appliquer aux sebkhas mauritaniennes mises en place au cours du Quaternaire et peu évolutives de nos jours.

Le littoral sénégalais a fait l'objet d'une étude dès notre arrivée au Centre de Dakar (Mars 1974). Après une reconnaissance générale de la région, une recherche et une synthèse bibliographique, la caractérisation des grandes lignes de l'hydrochimie et de la piézométrie des nappes phréatiques des sables quaternaires a été faite.

Deux sites particuliers, jugés représentatifs, ont été choisis et font l'objet d'études de détail.

Le lac Retba a été choisi comme modèle de milieu confiné se concentrant par évaporation directe. (fig. II,a)

Le lac Tamna a été choisi comme modèle de milieu confiné se concentrant par évaporation capillaire. (fig. II,b)

En chacun des sites une campagne de 150 sondages à la tarière a permis de prélever des échantillons d'eaux et de dresser les cartes piézométrique et conductimétrique des nappes phréatiques avant les saisons des pluies 1974 et 1976.

Les échantillons d'eaux ont fait l'objet d'analyses chimiques des éléments majeurs au Laboratoire du Centre de Dakar, d'éléments-traces aux S.S. C. ORSTOM de BONDY. Les prélèvements de sédiments et de sels cristallisés ont fait l'objet d'analyses diffractométrique. Les deux sites ont été équipés de pluviomètres totalisateurs et d'échelles limnimétriques au lac Retba. Celui-ci fait l'objet d'un prélèvement d'eau hebdomadaire, accompagné d'un relevé limnimétrique et d'une mesure conductimétrique.

La conjoncture a voulu que le programme d'études du littoral sénégal-mauritanien, mis sur pied en Mars 1974, se trouve confronté à des projets de mise en valeur. De plus, il s'inscrit dans la logique des recherches qui ont vu le jour à la suite de la vague de sécheresse, si cruellement ressentie par les pays du Sahel.

Aussi ce rapport se veut-il essentiellement, dans sa forme comme dans son fond, une sorte de catalogue de faits physico-chimiques, chiffrés aussi précisément que possible. Il devrait permettre aux techniciens d'abord, aux économistes ensuite, situés à l'aval de nos études, de décider de la faisabilité d'abord, de la factibilité ensuite des projets de mise en valeur que ce rapport nous a tout naturellement conduit à suggérer.

Gilbert F. MAGLIONE,

DAKAR, Juillet 1976.

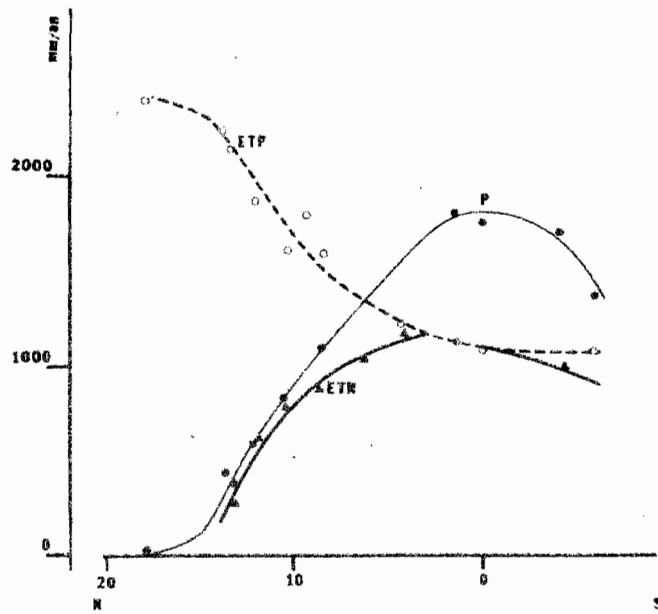


Fig. I VARIATIONS DE LA PLUVIOSITÉ (P), DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (ETP) ET DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION RÉELLE (ETR) DANS LA ZONE TROPICALE NORD.

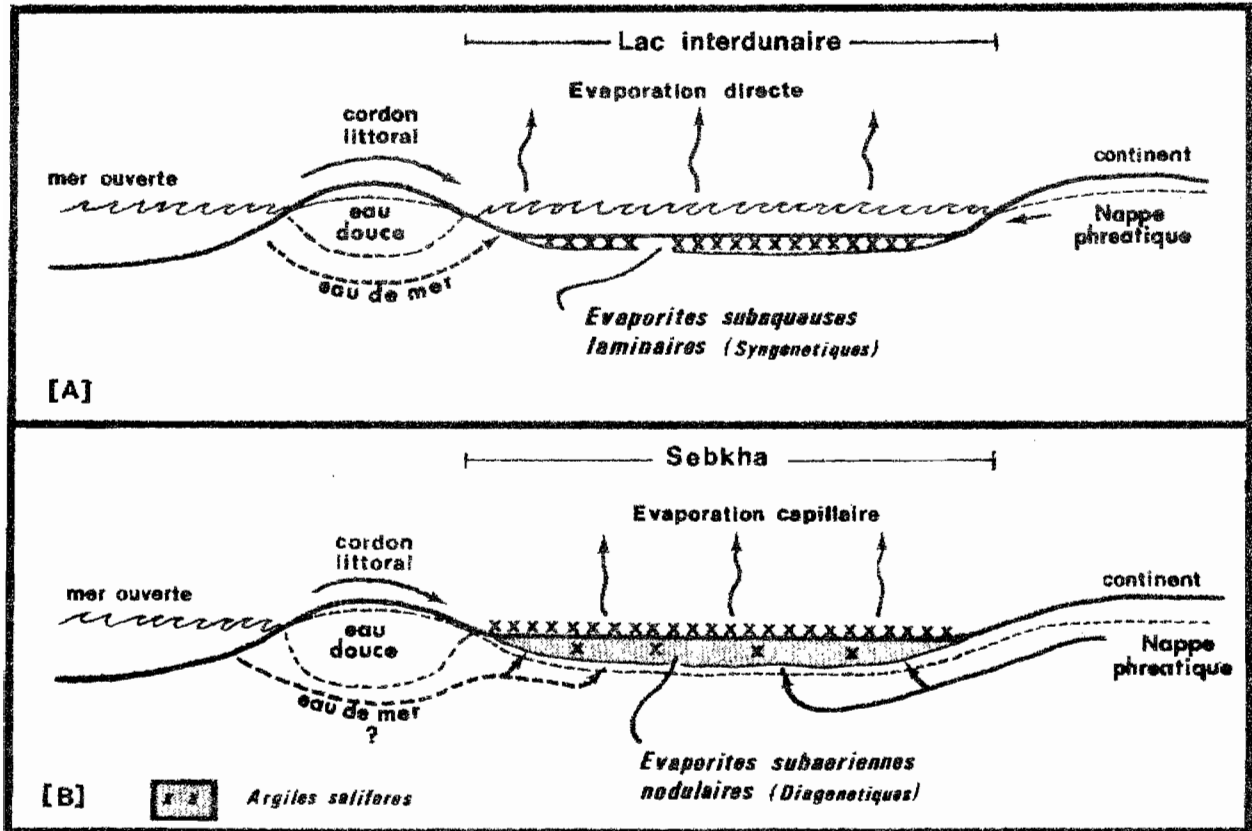


Fig. II LES DEUX TYPES DE PARAGENESE ASSOCIES A DEUX TYPES D'EVAPORATION.

Le lac Retba est situé dans la presqu'île du Cap-Vert, à une trentaine de kilomètres au NNE de Dakar. Il s'allonge sur 5 km selon une direction NNE, SSW, en s'insinuant entre les dunes du cordon littoral et les dunes intérieures très éoussées; sa largeur oscille entre 0,5 et 1,5 km.

Les eaux lacustres sont salées. La cote du plan d'eau était à -3,50 m en Mars 1976 (-2,40 m en 1956 : carte I G N à 1 : 50.000).

## I. - CADRES GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE.

Le cadre géologique est résumé dans la figure 1. Les formations marneuses de l'Eocène constituent un plan incliné en direction de la mer depuis le plateau de BARGNY, à la côte moyenne + 40. A l'aplomb du lac, la géophysique a permis de déceler cette formation à la côte -50, profondément entaillée par des vallées fossiles d'âge oligo-miocène (HEBRARD, 1973).

Au dessus de ce substratum tertiaire formant un mur imperméable se développe un ensemble sableux, d'origine éolienne. Il s'agit de dunes continentales désertiques, dont la mise en place s'est produite alors que la mer se trouvait à -100 m par rapport au niveau moyen actuel.

Cet épisode désertique (Ogolien) correspond à l'un des maximums de la glaciation würmienne ; il est daté de 20.000 B.P.

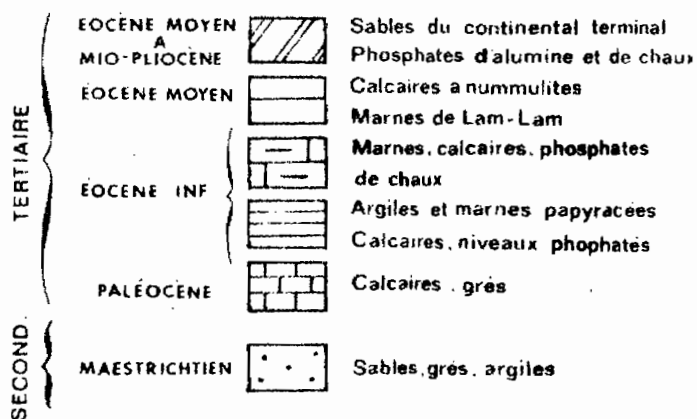
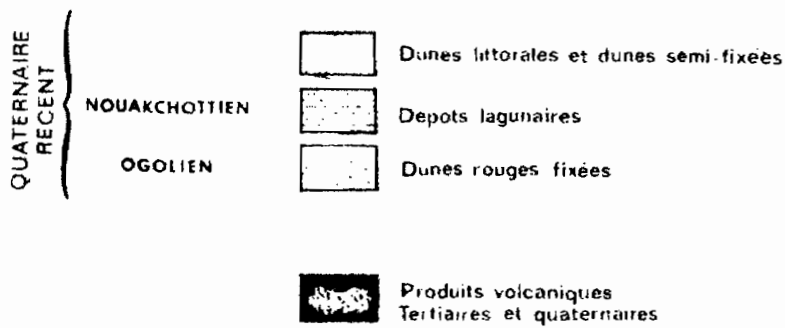
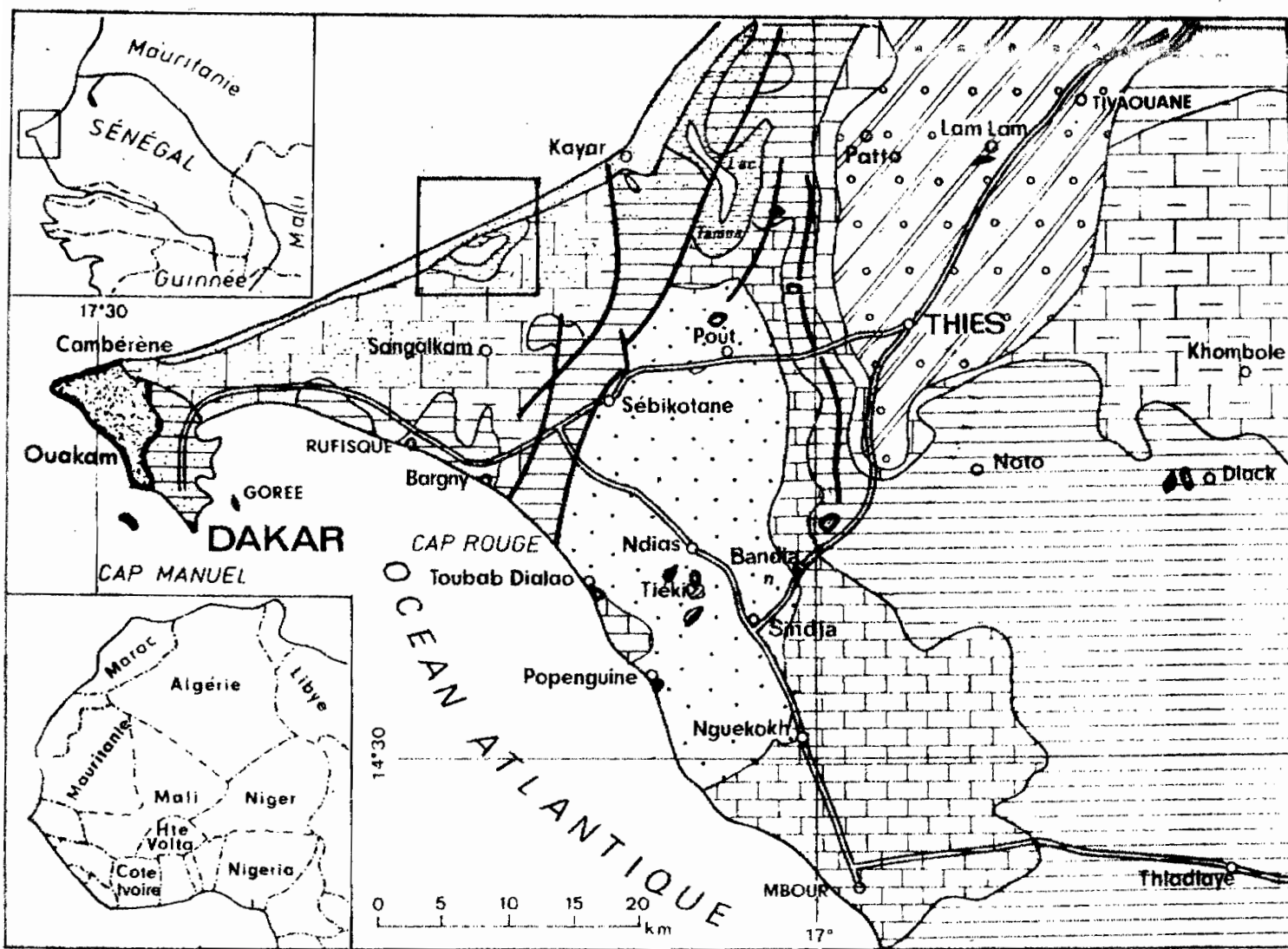
Le niveau de la mer remonte ensuite progressivement, amenant un climat plus humide. En provenance du plateau de BARGNY, les rivières alimentent des lacs interdunaires avant de se jeter dans la mer. Cette dernière lors de sa remontée envahit les vallées et les interdunes ; c'est à cette époque (Tchadien = 10.000 ans B.P.) que l'embouchure de la rivière Sangalkam est colmatée, formant un delta.

Au maximum de la transgression marine (Nouakchottien N 5.000 ans B.P.) s'est mis en place une terrasse sableuse et coquillères (Dosinia, Arca, Tympanotonus...) qui ceinture actuellement le lac dans sa partie méridionale ; à marée haute, la mer nouakchottienne devait atteindre 3 à 4 m au-dessus du niveau zéro actuel.

La lecture de la carte géomorphologique (fig. 2) permet les observations suivantes :

. le lac installé au fond d'une dépression interdunaire avait une surface de 4,20 km<sup>2</sup> en Mars 1976 ;

. il est dominé au N.W par un système de dunes littorales blanches, subrécentes et actives (+ 20 m) ;

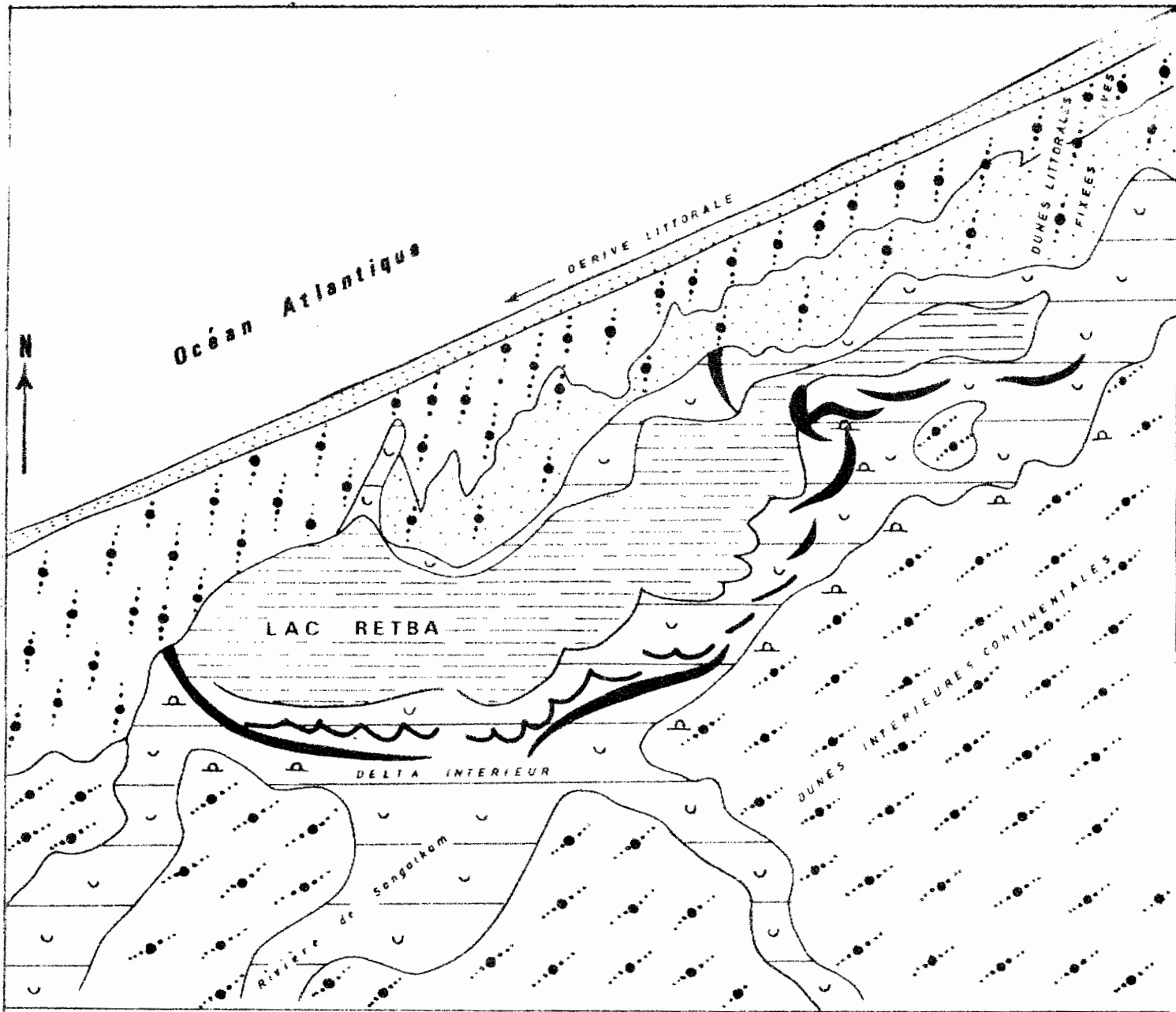



Extrait de la carte géologique du Sénégal (BRGM) au 1/500 000




Zone en cours d'étude par l'ORSTOM.

**Fig. 1 CARTE GÉOLOGIQUE DE SITUATION DES MILIEUX CONFINÉS DU LITTORAL SÉNÉGALAIS**




 Kjökkenmødding

 cordon littoral sableux discontinu et cordon dunaire littoral (< 3000ans-actuel)

 cordons littoraux coquilliers du lac Retba (< 3000-580BP)

 transgression nouakchottienne (5000ans)

 dunes intérieures continentales (20 000 ans)

ECHELLE

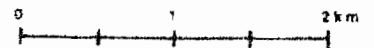


Fig. 2 CARTE GÉOMORPHOLOGIQUE DU LAC RETBA (d'après Elouard et al)

. il s'appuie au S.E sur les formations coquillères du Nouakchottien datées de 5.000 ans B.P. (ELOUARD et al., 1975).

Ce niveau forme le substratum des dunes littorales comme on peut le voir dans la trace de l'ancien chenal reliant la lagune à l'océan.

Notons également la présence de cordons coquilliers datés 3.000-680 ans B.P. formés de deux espèces (*Arca senilis* et *Dosinia isocardia* DUNK) qui reposent soit sur le Nouakchottien soit sur le bord des dunes intérieures. Il existe en bordure du lac des amas de coquilles appelés Kjekkenmoding qui résultent de l'action de l'homme qui pêchait et consommait les arches sur place.

En fin plus à l'intérieur on retrouve un système dunaire continental plus ancien et daté de 20.000 ans B.P. Ces dunes intérieures sont entaillées par le réseau hydrographique qui draine un bassin versant de 16 km<sup>2</sup> très perméable et qui alimente le lac en saison des pluies.

## II. - CADRE HYDROGÉOLOGIQUE

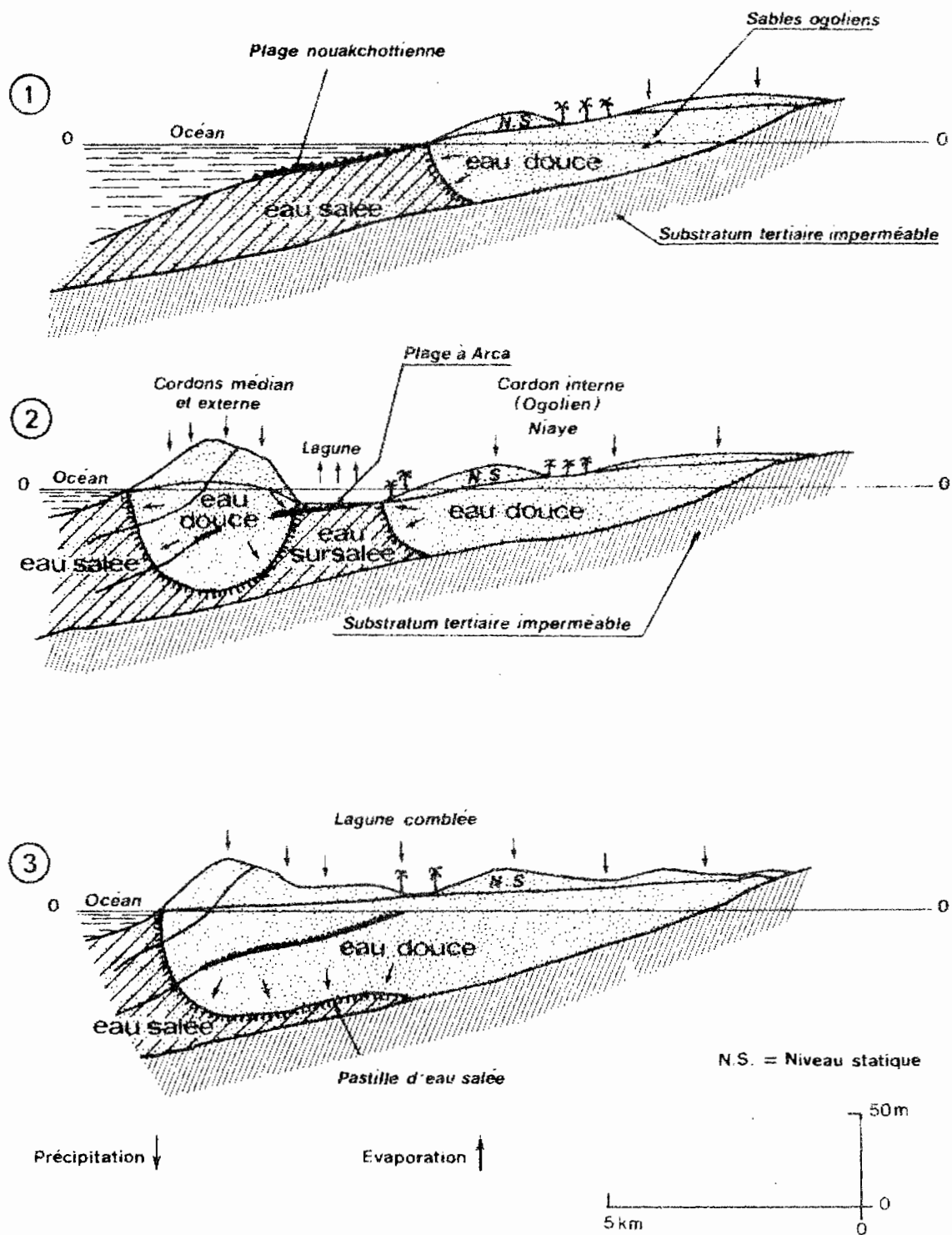
La structure hydrogéologique est classique ; elle peut être assimilée à la coupe de la figure 3 (MARTIN, 1957).

A l'origine la nappe d'eau douce contenue dans les dunes littorales s'écoule vers l'océan. Cette eau dunaire (d'origine météorique) peu dense ne se mélange pas à l'eau de mer dont la salure et la densité sont plus élevées. Il se crée entre ces eaux un équilibre qui se matérialise par la formation d'un "interface" dont la position est régit par les lois de l'hydrodynamique. Ainsi l'eau douce "flotte" sur l'eau de mer.

Le schéma de la coupe 1 (fig. 3) peut être modifié par l'édification d'un cordon dunaire en avant qui isole une lagune. C'est le cas du lac Retba qui fonctionna en lagune jusqu'à vers le 15<sup>ème</sup> siècle.

La dérive littorale progressant il y eut fermeture de la lagune et formation d'un lac. A partir de ce stade, le lac se comporte en bac évaporatoire. Il est probable que du fait du colmatage du fond du lac par des sédiments argileux, les eaux de celui-ci fortement minéralisées soient isolées des eaux de la nappe sous-jacente elles mêmes sursalées (fig. 3-2). La surface originelle peut être considérée égale à la surface représentée par la côte zéro, si l'on considère le niveau moyen de la mer à cette époque équivalent au niveau actuel (fig. 4). Une partie de l'eau douce des dunes s'écoule vers le lac. Cette eau correspond à la partie de la nappe dont la surface piézométrique s'incline vers celui-ci. La ligne de crête des dunes





- ① Position du biseau salé au Nouakchottien.
- ② et ③ Position des biseaux salés après édification du cordon littoral (état actuel)
- ② avec lagune intérieure.
- ③ avec lagune comblée par irrigation du cordon littoral.

**Fig. 3 DISPOSITION HYDROGÉOLOGIQUE DES LACS SALÉS ET DES NIAYES DU LITTORAL SÉNÉGALAIS EN RELATIONS AVEC LES ÉVÉNEMENTS QUATÉNAIRES (d'après L. MARTIN)**

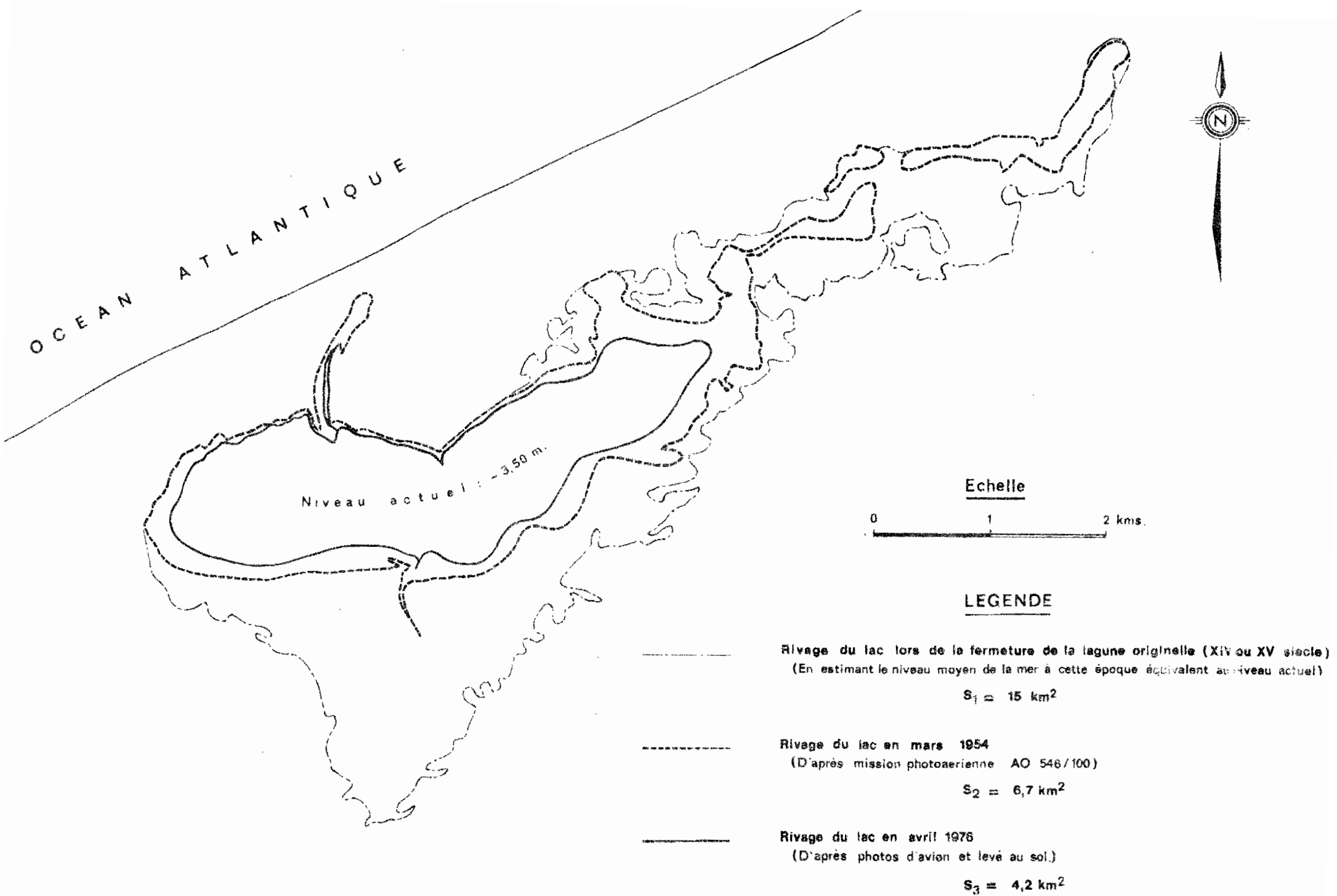


Fig. 4 EVOLUTION DU LAC DEPUIS SA FORMATION

délimite approximativement la surface du Bassin versant. Le stade ultime de cette évolution géomorphologique peut être le comblement de la lagune par étalement du cordon littoral (coupe 3 fig. 3) ou bien la disposition du lac par assèchement et précipitation de sels suite à un déséquilibre entre l'alimentation et l'évaporation.

### III. - CADRE CLIMATIQUE

Le climat qui affecte la région est de type sahélien. Il se caractérise par l'alternance d'une longue saison sèche très ensoleillée et d'une courte saison des pluies. D'autre part, le lac situé en bordure immédiate du littoral est soumis aux alizés qui agitent pendant près de 7 mois ses eaux.

Les valeurs des variables climatiques consignées dans le tableau I ci-dessous sont des moyennes de moyennes mensuelles. Elles correspondent à des périodes d'observation des stations climatiques de Thiès et de Sangalkam principalement cette dernière station est implantée depuis Juin 1975 par la section de botanique de l'ORSTOM. Les données recueillies à cette station (fig. 5) ne peuvent pas fournir de résultats statistiques mais, par sa localisation, (5 km du lac) elles donnent une image plus précise du régime climatique du lac en particulier en ce qui concerne le régime des vents qui est un élément important dans l'évaporation. Dans le tableau I on constate que les précipitations dans les 2 stations sont identiques et que, à Sangalkam l'humidité est plus forte et la température moyenne plus faible qu'à Thiès. Ces différences sont en grande partie dues à l'influence de l'océan. Les résultats obtenus pour l'évaporation sont assez différents et parfois contradictoires surtout pour l'évaporation Piche.

La valeur de l'évaporation sur bac enterré à Sangalkam est équivalent à la moyenne des valeurs des bacs de M'Boro et N'Denn. Ce dernier type d'évaporation rend mieux compte des déperditions évaporatoires subies par le lac.

	<u>Thiès</u>	!	<u>Sangalkam</u>
Précipitations	701 mm	(1934-1960)	701,8 mm
T° moyenne	25,9°C	(1951-1964)	23,7 °C
(1) Humidité moyenne	64,0 %	(1951-1964)	67,9 %
Evaporation Piche	1268 mm	(1951-1964)	863,25 mm
Evaporation bac			1457,5 mm
(2) Evaporation bac			
M'Boro		1957	1203 mm
"           "			
N'Denn		(1962-1963)	2030

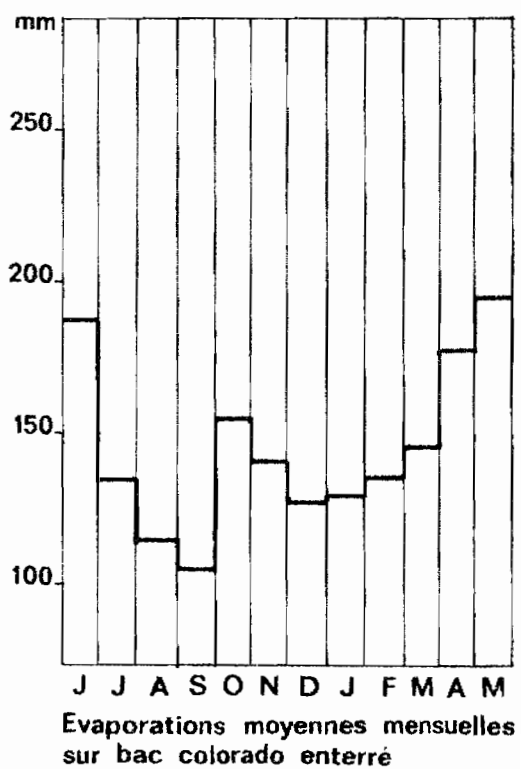
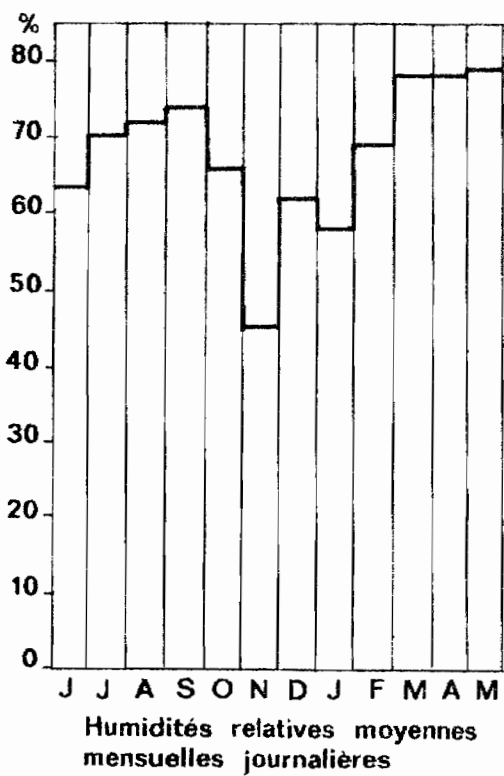
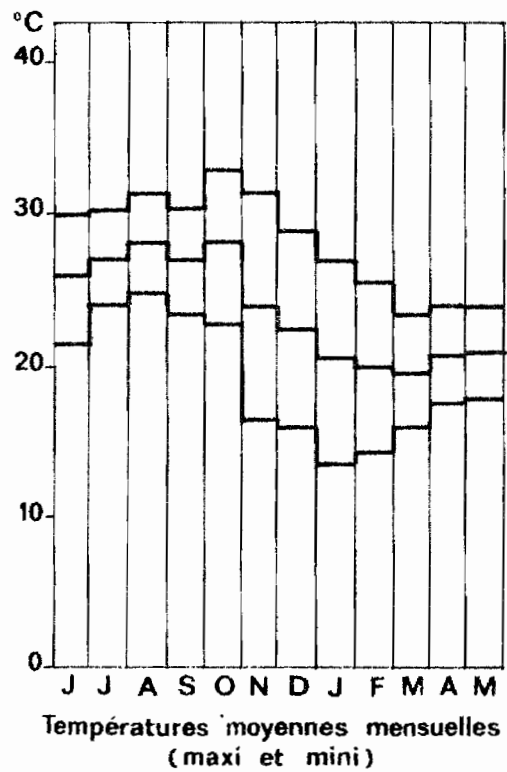
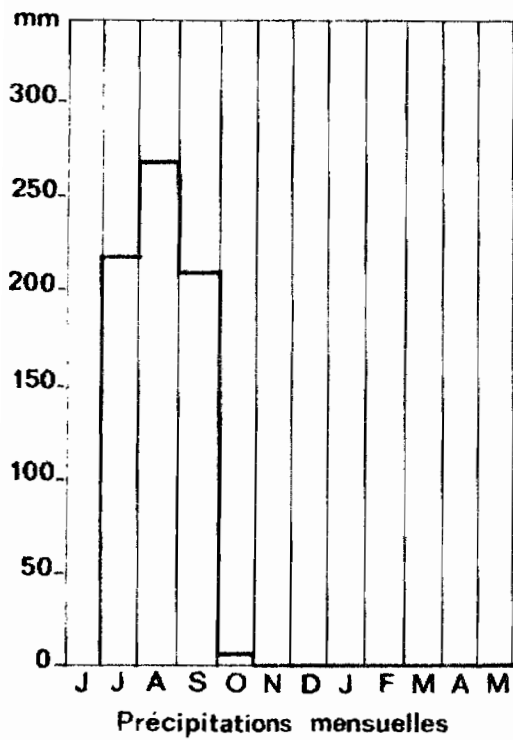


Fig. 5 DONNÉES CLIMATIQUES DE LA STATION DE SANGALKAM  
( Juin 1975 - Mai 1976 )

(1) Humidité moyenne =  $\frac{H_{\max} + \min}{2}$

(2) Aménagement Hydro-Agricole des Niayes société centrale pour l'équipement du Territoire. Coopération R H 043 Janvier 1965.

En prenant une valeur moyenne de 1500 mm d'évaporation par an, on constate que l'évaporation sur eaux libres est double des précipitations.

#### IV. - BILAN HYDROLOGIQUE

La conséquence directe, des conditions climatiques de la région (forte insolation, vent et déséquilibre entre précipitation et évaporation) ainsi que les faibles apports par le réseau de surface, devrait être la disposition du lac par assèchement. On observe en effet une diminution de la surface du lac depuis sa fermeture (fig. 4), mais il apparaît un état d'équilibre pluriannuel. Cet état d'équilibre résulte de plusieurs causes qui sont :

- l'évaporation dans le cas d'eau très fortement minéralisées est plus faible que sur eaux douces. En effet la présence de sels dissous abaisse la tension de vapeur par suite de la diminution de l'activité de l'eau. La diminution de l'évaporation peut aller jusqu'à 50 % dans le cas d'eaux saturées en NaCl.

- La nappe contenue dans les dunes (littorales et intérieures) restitue une partie de l'eau qu'elle a reçue par infiltration d'une partie des précipitations de l'hivernage précédent et des hivernages antérieurs.

L'apport de la nappe des dunes soutient le niveau du lac jusqu'à une période de l'année plus ou moins avancée, directement fonction de l'abondance des pluies.

La figure 6 représente les variations annuelles de la hauteur à l'échelle limnimétrique d'observation. Ainsi on peut noter qu'il y a une rupture de pente de la hauteur à l'échelle aux mois de Janvier 1974 et d'Avril 1975. Ce décalage s'explique par un soutien plus faible du niveau du lac par la nappe des dunes en 1974 résultant d'une saison des pluies déficitaire par rapport à la moyenne décennale.

En 1975, les pluies importantes ont permis à la nappe dunaire de soutenir le niveau du lac sur une plus longue période.

Le bilan hydrique est très différent d'une année sur l'autre (cf. fig. 6).

En 1974, compte tenu de l'évaporation durant les mois de Juillet à Septembre compris, on peut considérer que les apports par le réseau de surface furent très faibles ; en effet la hauteur des précipitations durant ces trois mois (472mm) est supérieure à la montée du niveau du lac (450 mm). Par contre en 1975 l'apport par le bassin versant a été très important (557 mm) ; s'ajoutant aux 643 mm de précipitations

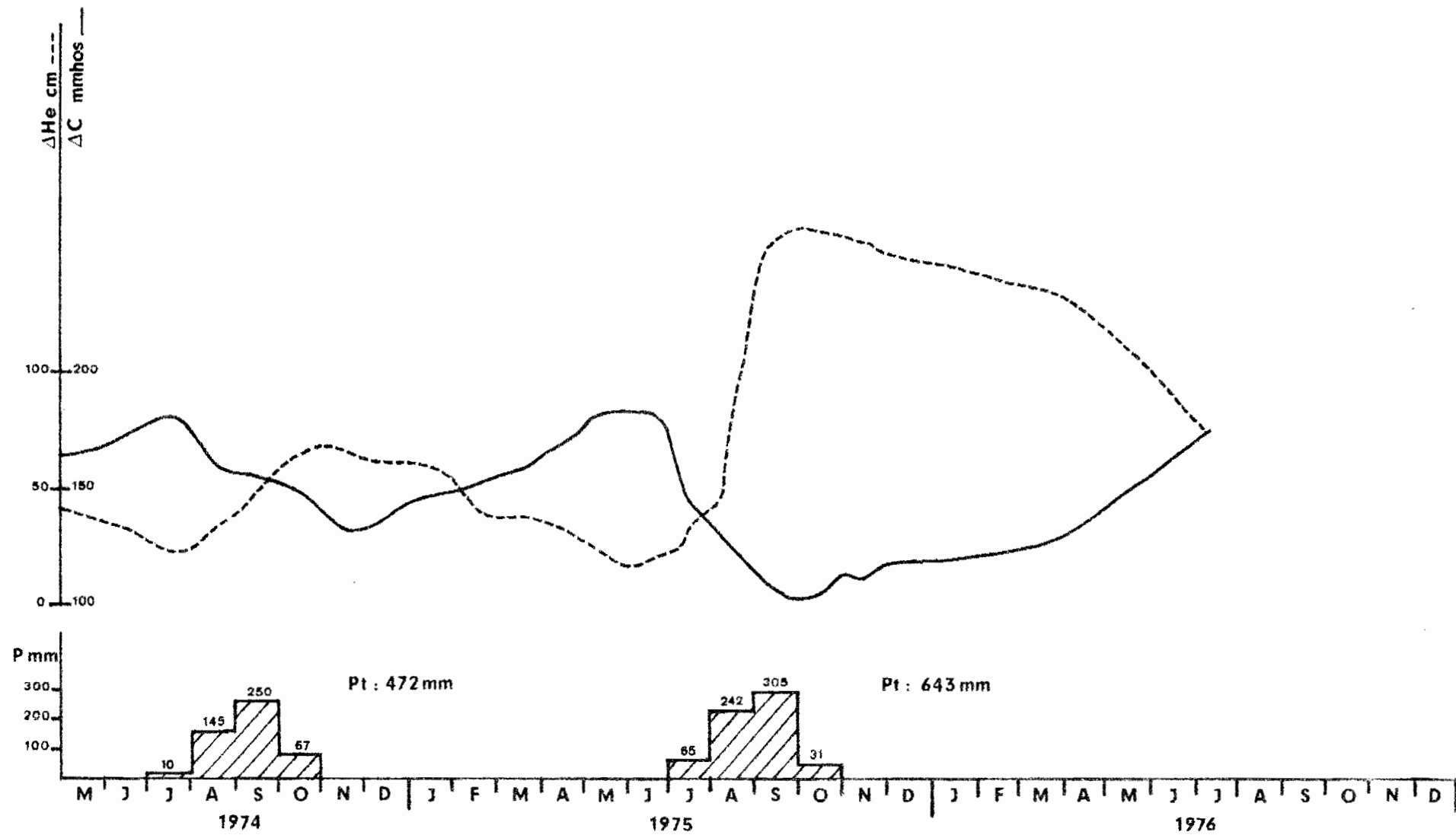


Fig. 6 VARIATIONS HYDROLOGIQUES ET CONDUCTIMÉTRIQUES INTERANNUELLES DU LAC RETBA

il a contribué à élever le niveau du lac de 1200 mm entre l'étiage et la crue 1975.

Enfin notons qu'une grande partie des précipitations du bassin versant ne rejoignent pas le lac au cours d'un cycle hydrologique. Par manque de données sur l'évapotranspiration il est impossible de connaître le devenir de l'exédent (s'il y en a) qui peut soit rejoindre le lac de façon occulte soit alimenter la nappe d'eau douce sous jacente.

Les caractéristiques géomorphologiques et climatologiques confère à cette région une situation favorable à la concentration en sels dissous des eaux soumises à l'évaporation.

#### V. - DONNEES HYDROCHIMIQUES.

L'étude hydrochimique débutée en Mai 1974 porte sur deux ensembles distincts, la nappe phréatique et le lac. L'analyse des eaux de ces deux unités a été réalisée à partir de l'échantillonnage indiqué sur la figure 7. Soit 28 échantillons sur la nappe et 50 sur le lac, d'autre part un échantillonnage bimensuel des eaux du lac a été effectué jusqu'en Mars 1975 à proximité de l'échelle "a" et à partir de cette date à l'échelle "b".

La limite d'inversion salée correspond à l'extention des infiltrations de l'eau de mer à l'époque ou le lac était encore une lagune. Il existe d'ailleurs une grande similitude entre la surface originelle du lac et cette limite.

#### 1. - CARACTERISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE.

La figure 8a représente l'allure de la surface piézométrique de la nappe aux abords du lac en Mai 1974. Compte tenu de la régularité du profil de la cuvette les profondeurs observées permettent de définir le sens de l'écoulement de l'eau. Si l'on considère que la limite d'inversion salée est à la côte zéro et que la côte du lac en Mai 1974 était à -4,25 m on peut retenir une pente de la nappe de l'ordre de 1,5 ‰. Les valeurs de la conductivité de la figure 8b indiquent une décroissance centrifuge rapide.

En faisant l'hypothèse que l'eau de mer imbibait le sol jusqu'à la côte zéro, avec une conductivité de l'ordre de  $46 \text{ mmhos.cm}^{-1}$ , on assiste donc à un désalement de cette zone qui est en accord avec le sens de l'écoulement de la nappe d'eau douce.

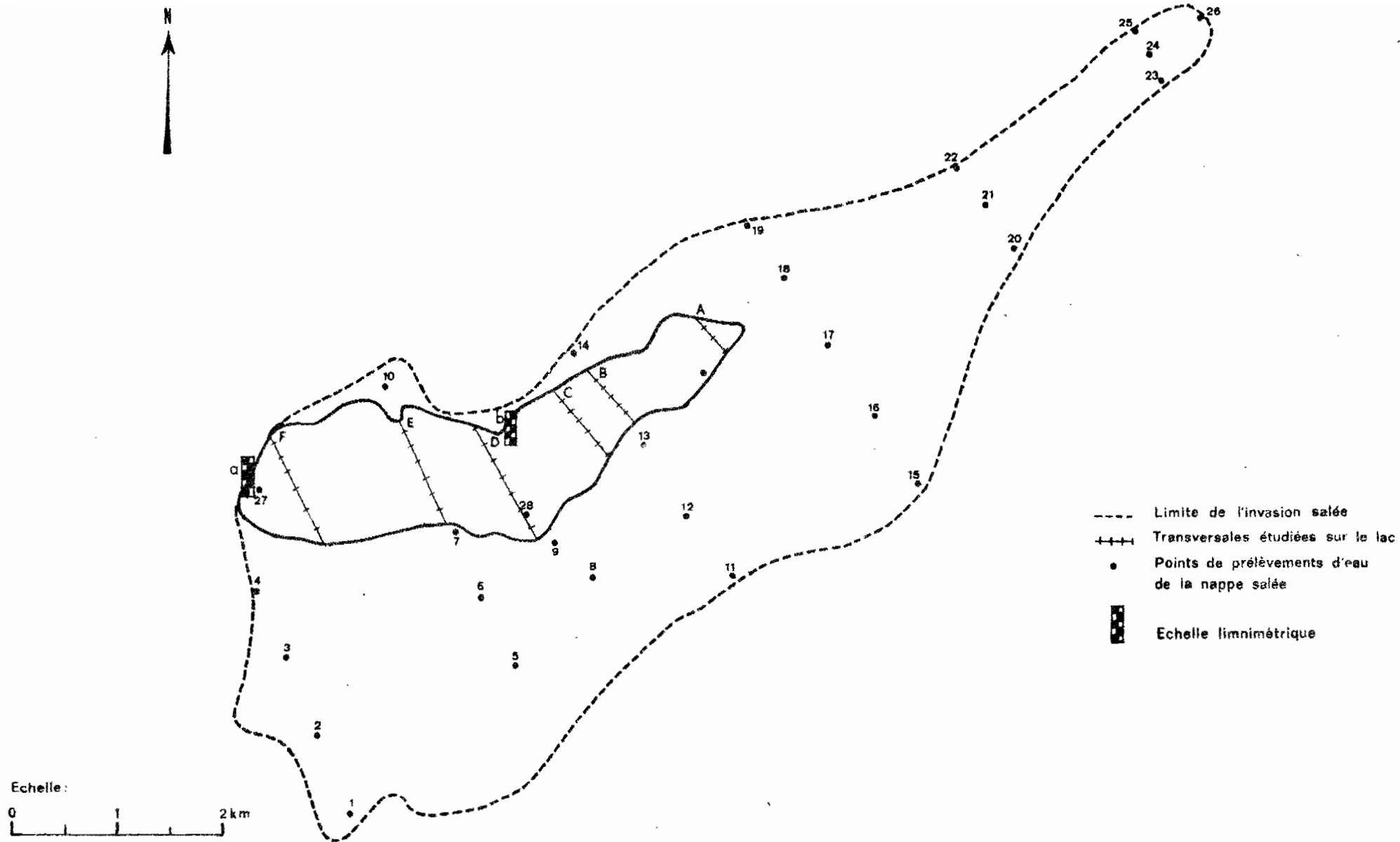
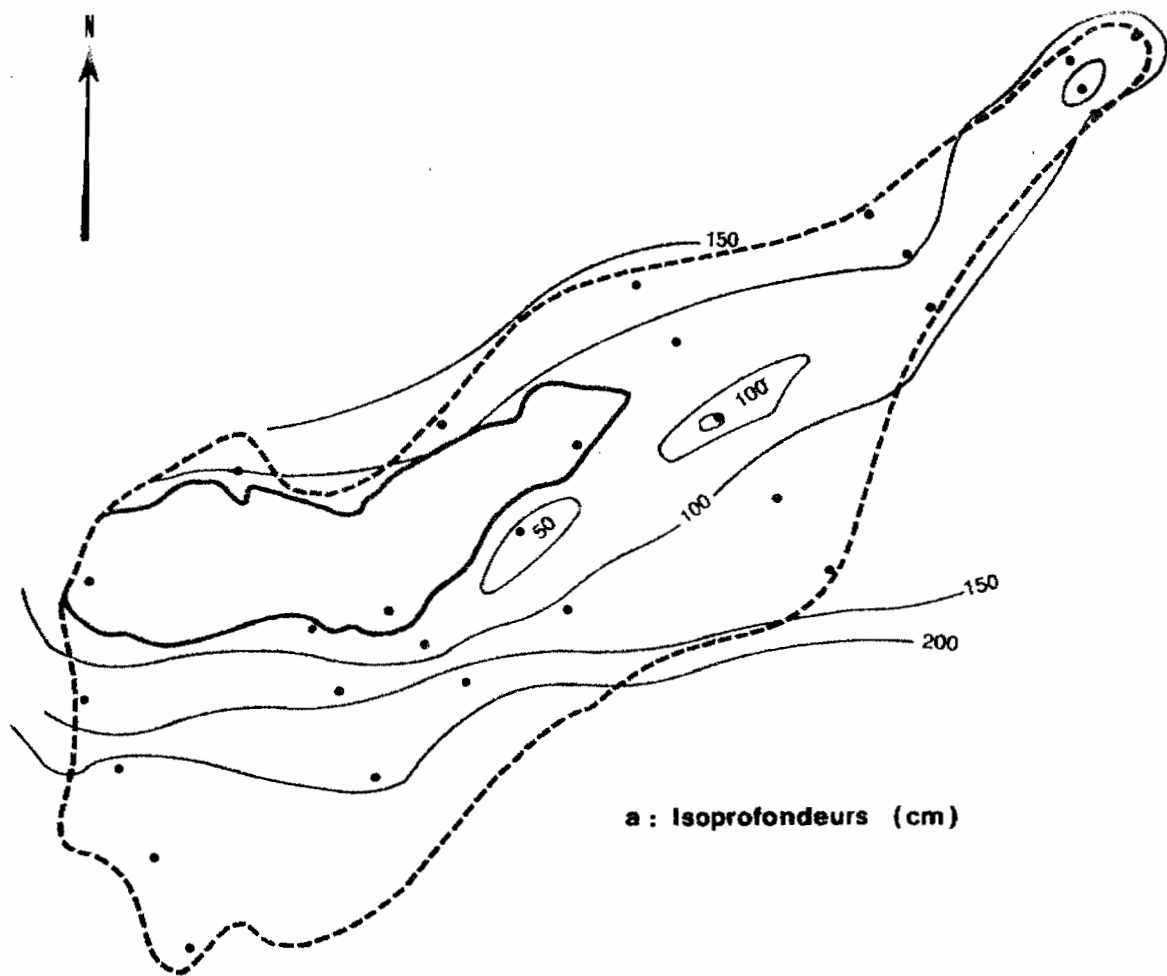
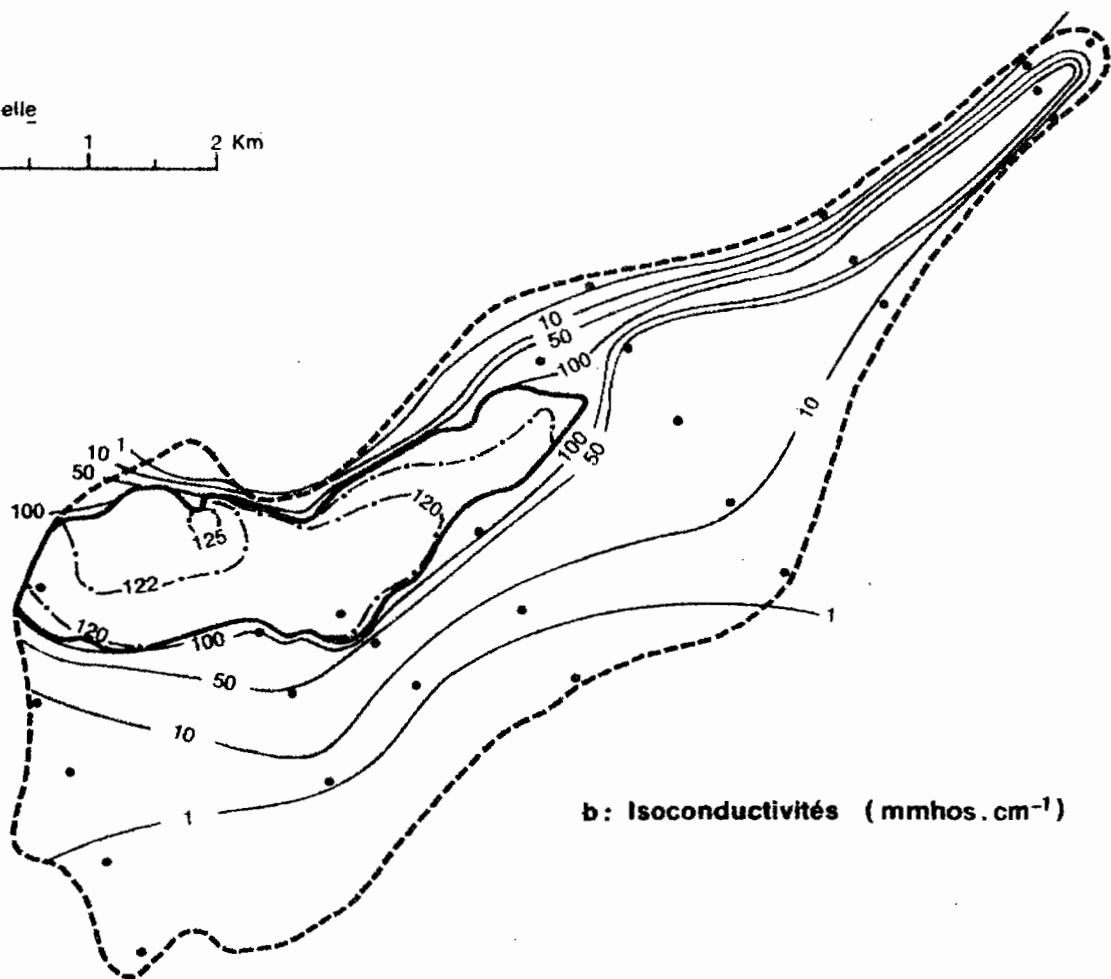


Fig. 7 LAC RETBA : POINTS D'IMPLANTATION DES OUVRAGES





Echelle  
 0 1 2 Km



**Fig. 8 CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA NAPPE PHRÉATIQUE DU LAC RETBA**

## 2. - CARACTERISTIQUES PHYSICO CHIMIQUES DES EAUX DU LAC.

L'action simultanée de l'évaporation et des apports en eaux douces modifie continuellement la concentration en sels des eaux lacustres. La figure 6 représente les variations de la concentration (exprimée par la conductivité) et de la hauteur à l'échelle. Il existe une correspondance (inverse) assez bonne entre ces deux variables ; pour une même hauteur à l'échelle on trouve une valeur de la conductivité équivalente, ce qui permet de penser que la quantité de sels est assez constant dans le lac et que le réseau de surface apporte peu d'éléments minéraux.

Les isobathes de la figure 9a montrent que la zone la plus profonde se situe dans l'axe entre le marigot de Sangalkam et la traçe de l'ancien chenal (fig. 2). Les variations de la conductivité des eaux de surface (fig. 9b) indiquent des gradients de concentration notable : ces gradients prennent leur origine dans les eaux douces (dunes littorales ; plage à Arca ) qui font sentir leur effet de dilution au sein de la masse d'eau lacustre plus minéralisée.

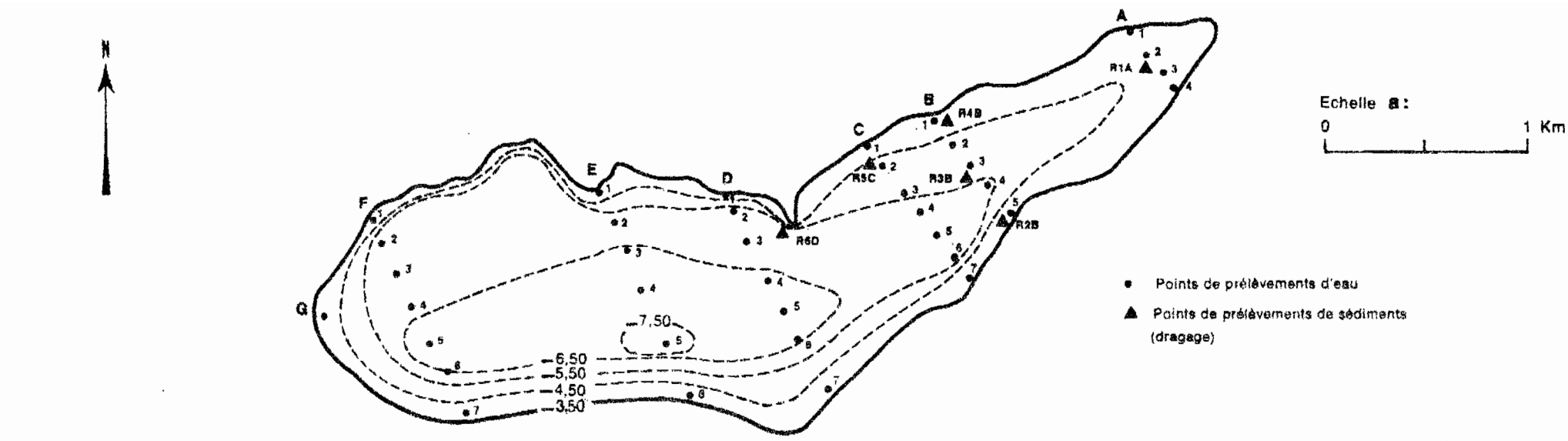
La température moyenne des eaux de surface est de 25°C sensiblement en équilibre avec la température moyenne de l'air à l'époque de nos observations

La fig. 9c montre une importante variation (de 5 à 10°C) entre les températures des eaux de surface et celles des eaux de fond. Les plus fortes température (35°C) coïncident avec les plus fortes isobathes ; la corrélation entre ces deux paramètres est d'ailleurs assez bonne (fig. 11), mais à première vue contradictoire ; les eaux chaudes, moins denses, devraient avoir tendance à s'élever.

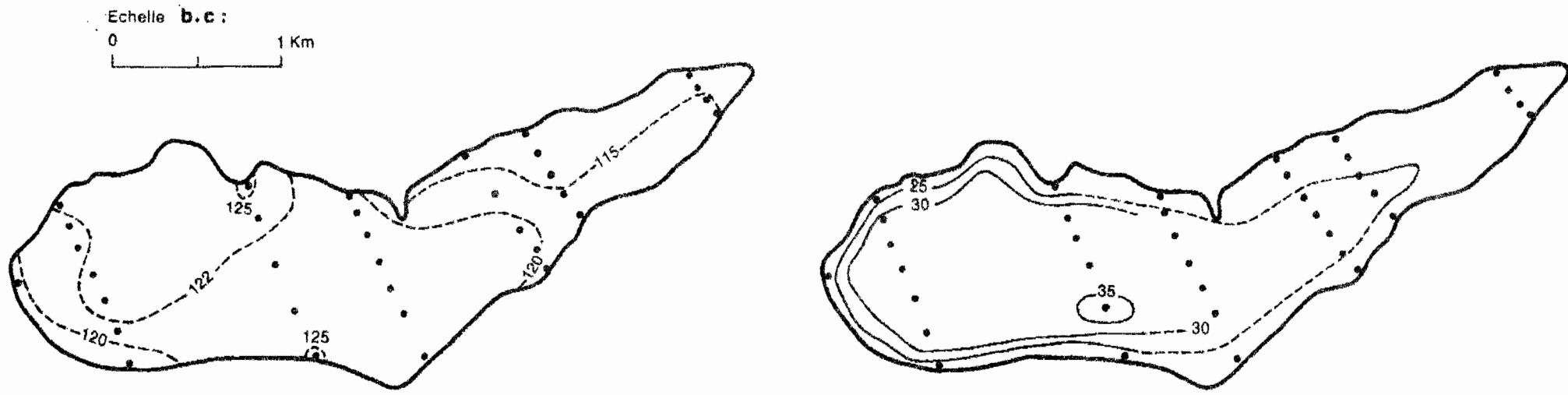
L'origine des fortes températures enregistrées au fond pourrait s'expliquer par la présence dans cette même zone d'un milieu fortement réducteur (fig. 10d). Cette zone réductrice ( $E_h$  (sédiments) = -25 à -18 mV ;  $E_h$  (interface eaux-sédiments) = -120mV) résulte d'une activité microbactérienne sulfato-réductrice. Des études en cours, en collaboration avec le laboratoire de Microbiologie du Centre ORSTOM de Bel-Air (J. BALDENSBERGER), ont déjà montré la présence de souches bactériennes apparemment bien adaptées à des conditions de salinité aussi rigoureuse ( $\approx 244$  g/l).

En définitive, la masse d'eau lacustre présente des hétérogénéités hydrochimiques aussi bien horizontales que verticales ; en particulier en ce qui concerne le pH et le potentiel d'oxydo-réduction, ( $E_h$ ).

La zone réductrice au niveau des eaux du fond, mise en évidence dans la partie occidentale (fig. 10d) est associée à des pH légèrement moins alcalins que ceux de la zone non réductrice. Cependant, si cette zone réductrice semble interférer sur les potentiels des eaux de surface (fig. 10c), il ne semble pas en être de même entre



**a: Isobathes et points de prélèvements**



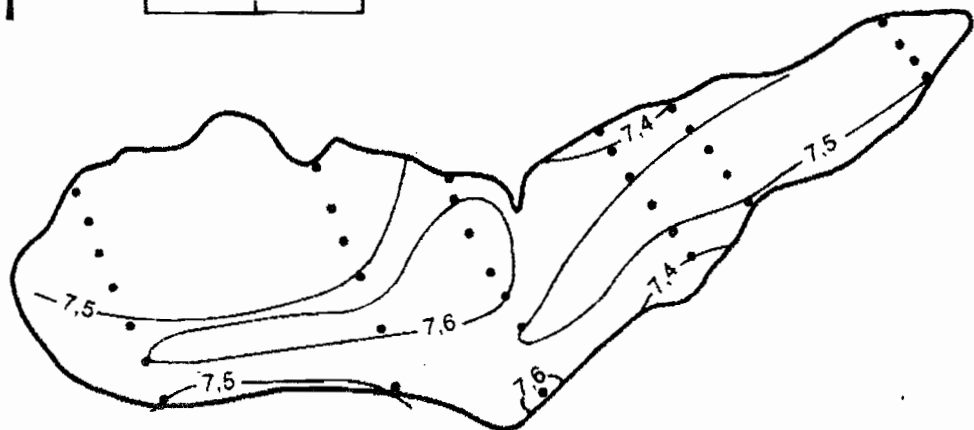
**b: Isoconductivités des eaux de surface (mmhos.cm<sup>-1</sup>)**

**c: Isothermes des eaux du fond (°C)**

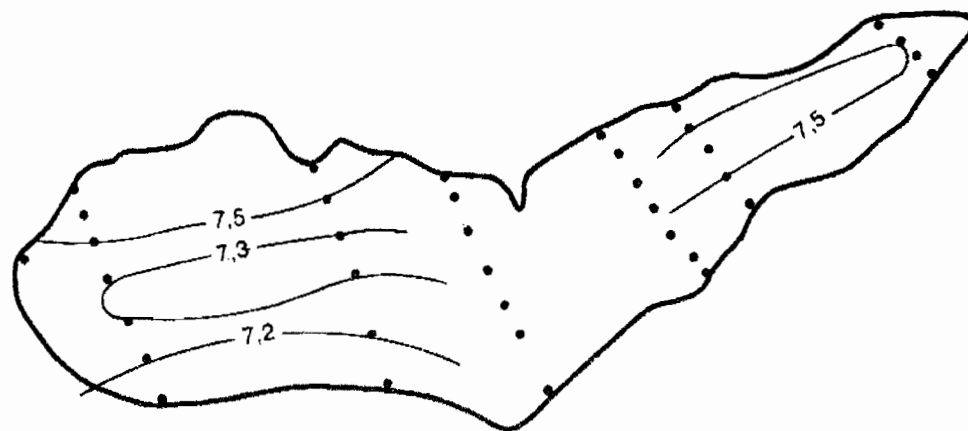
**Fig. 9 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES EAUX DU LAC RETBA**



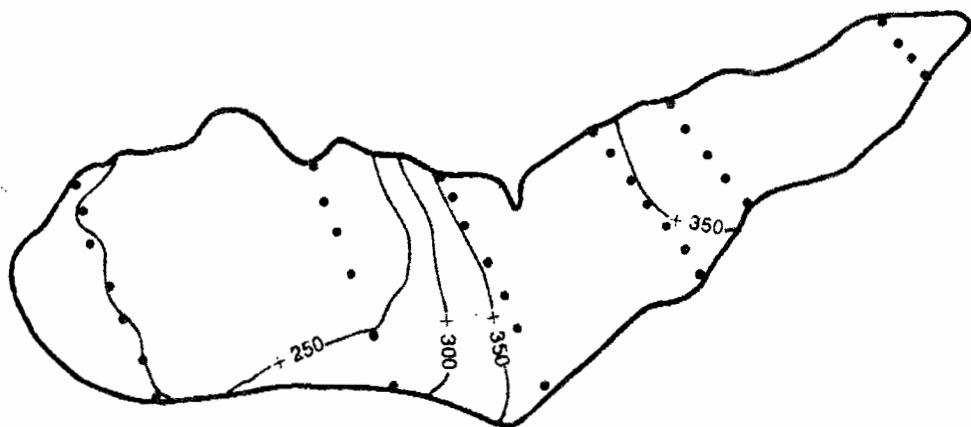
Echelle:  
0 1 Km



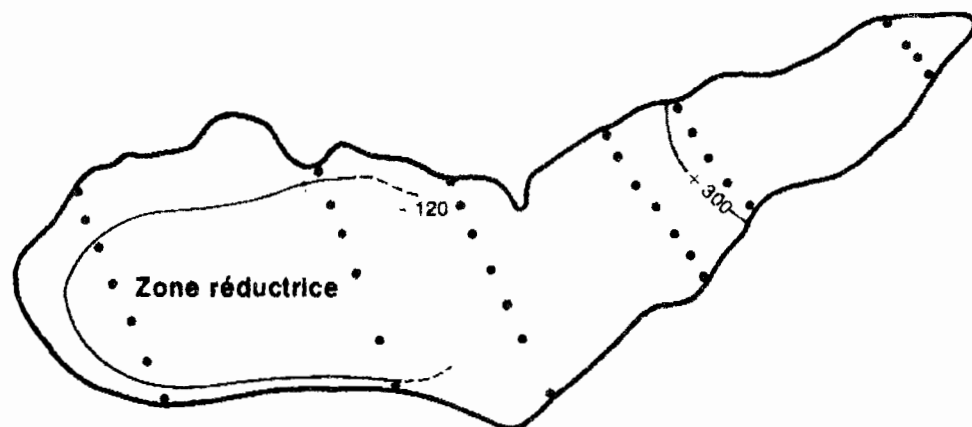
a : Iso pH des eaux de surface



b : Iso pH des eaux du fond



c : Iso Eh des eaux de surface



d : Iso Eh des eaux du fond

Fig. 10 CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DU LAC RETBA

les pH des eaux du fond (fig. 10 b) vis à vis des pH des eaux de surface (fig. 10a).

Les corrélations de la figure 11 confirment l'existence de liaisons directes entre certaines variables. En particulier on notera la stratification des eaux, conforme à la notion de différenciation par densité.

L'analyse des ions majeurs des eaux de l'échantillonnage du mois de Mars 1976 permet de dresser un bilan instantané des concentrations en sels. A cette date les eaux avaient une concentration moyenne de 162 g/l en surface et de 244,5 g/l en profondeur, la moyenne générale étant de 203 g/l. Ces chiffres soulignent l'importante stratification saline des eaux.

La dernière saison des pluies (1975) ayant été "normale", les eaux sont relativement moins minéralisées pour une même époque : 105 g/l en Décembre 1975 contre 232 g/l en Décembre 1974.

La plus forte concentration observée en surface est celle du mois de Juin 1975 avec 297 g/l, soit 8,3 fois la salinité de l'eau de mer.

Les valeurs consignées dans le tableau II montrent l'importante variation de concentration des eaux au cours d'un cycle hydrologique. On notera également les faibles concentrations des eaux des nappes dunaires vis à vis des eaux lacustres.

Les corrélations inter ioniques de la figure 12 ont été établies à partir des résultats de l'échantillonnage de Mars 1976. Nous avons reporté sur chaque graphique les concentrations de l'eau de mer. Les eaux dulac, qui résultent de la concentration de l'eau de mer (héritage d'une lagune), montrent parfois des écarts de concentration par rapport aux valeurs théoriques attendues. Ainsi, l'alignement des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  sur une droite 5 et 7,5 fois l'eau de mer confirme l'origine marine de ces eaux. Le chlore, élément "conservatif" est pris comme référence. Dans le graphique  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  on observe un déficit des ions sulfates vis à vis des chlorures, encore plus important si l'on tient compte du faible facteur de concentration (4,5 et 5,8 fois).

Le déficit en ions calcium par rapport aux ions sulfates déjà faible est encore plus important vis à vis des chlorures.

Ces différents graphiques montrent en définitive que la concentration par évaporation des ions dissous dans l'eau de mer n'est pas linéaire. La baisse des teneurs en ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  correspond à la précipitation de gypse,  $\text{Ca SO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ .

Les analyses par spectrométrie de diffraction aux R-X des échantillons dragués au fond (fig. 9a) montrent la présence de gypse et de halite ( $\text{NaCl}$ ). La présence de ce dernier minéral résulte de la cristallisation du chlorure de sodium de l'eau d'imbibition du sédiment.

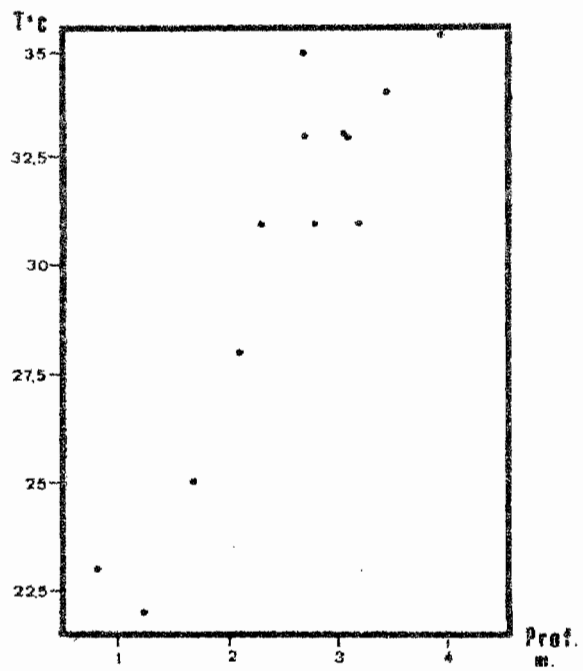
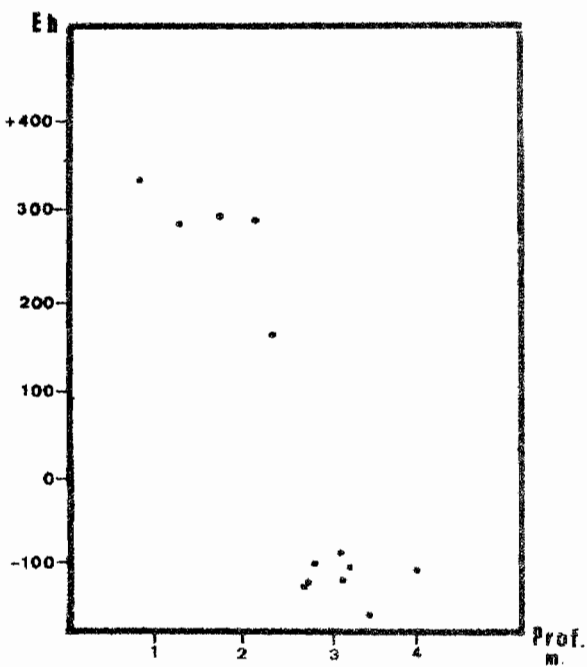
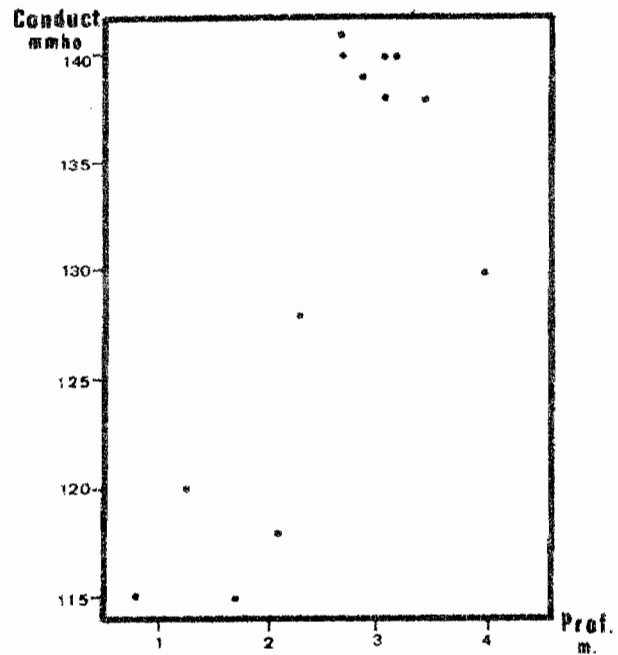
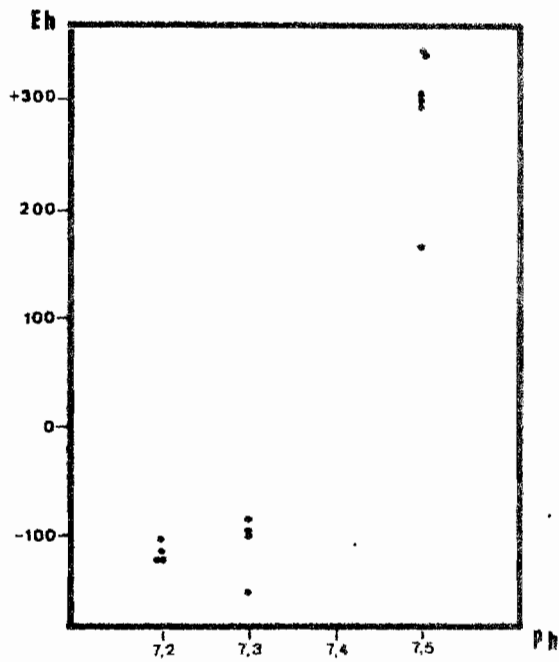
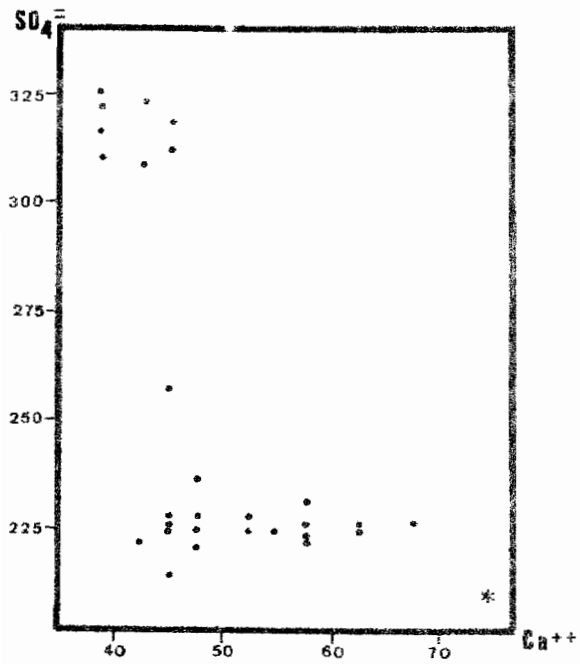
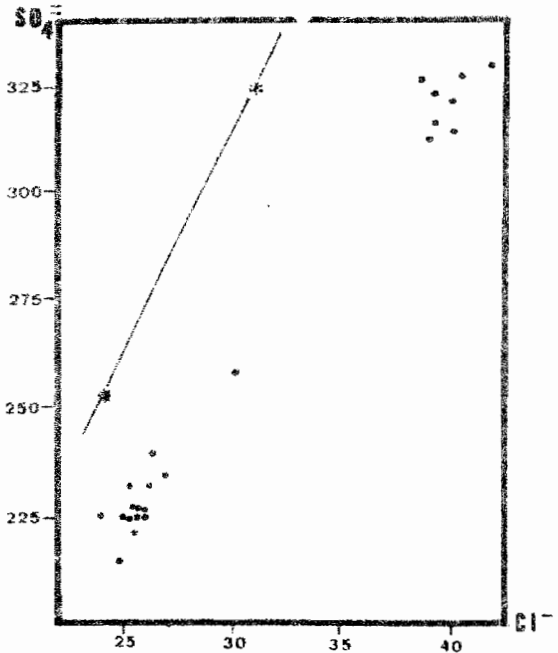


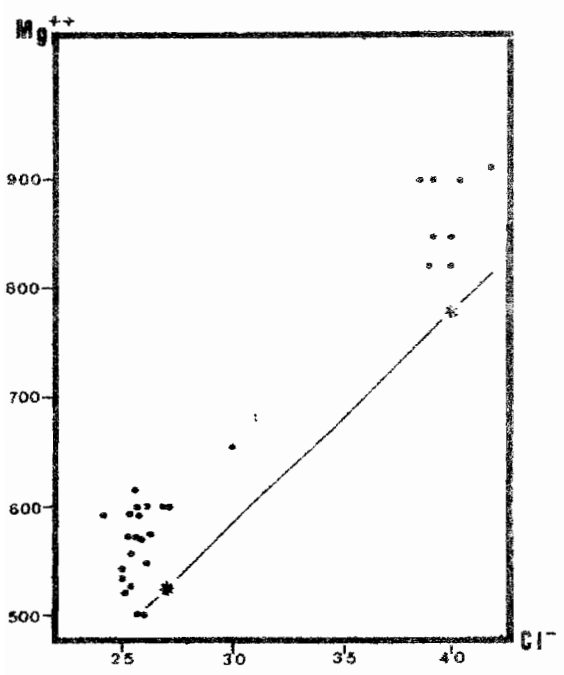
FIG. 11 CORRÉLATIONS INTER VARIABLES PHYSIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DU LAC



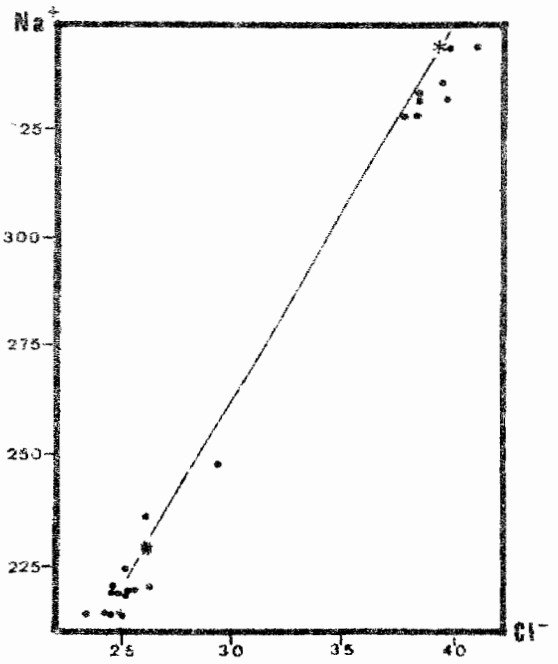
\*Eau de mer X 3,8



\*Eau de mer X 4,5  
\* " " X 5,8



\* Eau de mer X 5  
\* " " X 7,5



\* Eau de mer X 5  
\* " " X 1,5

Valeurs en milliequivalents/litre

FIG. 12 CORRÉLATIONS INTER IONIQUES DES EAUX DU LAC

N°	Date	T°, °c	Conductivité mmhor.cm <sup>1</sup>	Densité	pH	Eh mv'	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Somme totale des sels dissous en g/l
1	28-5-74	29,0	1,17	-	7,80	-	300	90	92	35	131	989	275	-	1,91
2	28-5-74	28,5	0,89	-	7,80	-	96	24	112	12	152	125	293	-	0,81
3	24-5-74	-	1,54	-	8,70	-	32	22	276	16	340	67	91	-	0,84
4	-	25,0	46	1,024	8,20	-	400	1270	10560	380	18966	2651	140	3	34,4
5	3-76	23,0	115	1,120	7,50	+250	1020	7200	50140	2350	90520	10800	305	5	162,3
6	3-76	30,0	130	1,170	7,40	-100	1020	10370	76000	3520	138500	14880	490	8	244,8
7	23-7-74	-	168	1,188	7,00	-	625	10672	88289	2893	163995	9558	366	4,5	276,4
8	15-10-74	-	147	1,140	7,30	-	545	8424	69429	2385	125750	13088	403	3,5	220,0
9	25-06-75	-	180	1,200	7,30	-	561	11674	92880	3130	171040	17700	427	-	297,4
10	14-10-75	-	111	1,060	7,40	-	371	3526	26325	938	49600	5060	207	-	86,0

Tableau II. Composition chimique des eaux représentatives des différents milieux du système hydrologique du lac Retba  
(en mg/l)

1. Nappe phréatique de la plage à Arca
2. Nappe dunaire
3. Source du flanc Ouest
4. Eau de mer pour référence
5. Eau moyenne de surface du lac (Mars 1976)
6. Eau moyenne du fond du lac (Mars 1976)
7. Eau " de surface du lac (étiage 1974)
8. " " " " (crue 1974)
9. " " " " (étiage 1975)
10. " " " " (crue 1975)



La corrélation entre les ions  $Mg^{2+}$  et  $Cl^{-}$  montre un excès de magnésium que nous ne pouvons encore expliquer à ce stade de notre étude (échange de bases avec les argiles du fond ? )

## VI. - BILAN POTENTIEL DES SELS EXPLOITABLES.

La forte minéralisation des eaux et le volume du lac autorisent à parler de potentiel de sels disponibles.

Un des buts de cette étude, outre une meilleure connaissance des mécanismes de concentration évaporatoire dans les milieux confinés, consistait à dresser un bilan du stock de sels disponibles.

Le lac Retba, avec un volume de  $107 m^3$  en Mars 1976 et une concentration moyenne de 203 g/l, contenait donc une quantité de  $2. 10^6$  tonnes de sels. Ce tonnage se distribue de la façon suivante :

$1,60.10^6$  T de NaCl  
 $0,06.10^6$  T de  $CaSO_4$  (=  $0,0725.10^6$  T de gypse)  
 $0,13.10^6$  T de  $MgSO_4$   
 $0,14.10^6$  T de  $MgCl_2$   
 $0,06.10^6$  T de KCl.

L'importance de ces chiffres permet d'envisager une exploitation au moins semi-industrielle du sel.

Nous avons montré que le site du lac Retba présentait un milieu climatique favorable à une évaporation intense. La géomorphologie de la cuvette permet l'utilisation d'une surface d'environ  $1 km^2$ , attenante au lac, plane, au N - E. Cette aire pourrait servir à l'épandage des saumures pompées dans le lac. Une petite digue entre le verrou formé par les cordons coquillier du N - E (fig. 3) permettant d'individualiser le lac de l'aire d'épandage.

D'autre part cette aire, qui correspond approximativement à la surface du lac en 1954 (fig. 4), est individualisée en sous unités adéquates pour l'exploitation du sel. Le substratum de cette zone est relativement imperméable, limitant ainsi les pertes par infiltration.

Le seul problème technique réside dans l'élévation des saumures afin d'alimenter l'aire d'épandage. Une solution originale pourrait être trouvée en mettant à profit l'énergie éolienne, largement disponible dans cette région.

Le protocole d'exploitation pourrait être le suivant :

- à la fin de la saison des pluies début du pompage de l'eau du lac, de préférence en

profondeur afin d'utiliser les eaux les plus concentrées. L'apport de saumure serait calculé en fonction du taux d'évaporation, de façon à assécher toute la saumure répandue et à recueillir le sel avant la nouvelle saison des pluies.

- Au début de la saison des pluies ouverture d'un passage dans la digue de façon à évacuer les eaux pluviales de l'aire d'évaporation.

Ainsi en inondant une surface de  $0,5 \text{ km}^2$  sous une lame d'eau moyenne de  $0,10 \text{ m}$  d'une eau à  $100 \text{ g/l}$  on obtiendrait  $5,000 \text{ T}$  de sel par an.

## C O N C L U S I O N S

Les premières données recueillies en cours d'étude de l'hydrochimie du lac Retba ont attiré notre attention sur l'intérêt économique que représentait cette masse d'eau lacustre par ses tonnages importants de sels dissous, à priori facilement exploitables.

C'est essentiellement le but que nous avons voulu fixer à ce rapport préliminaire : attirer l'attention des économistes sur les réserves en sels du lac Retba, géographiquement bien situé dans une zone appelée à se développer avec la mise en place du complexe de Cayar.

Volontairement, nous n'avons pas abordé dans ce rapport les enseignements plus fondamentaux, que nous ont apporté dans l'étude de ce milieu confiné les méthodes isotopiques (  $^{18}\text{O}$  ), l'analyse des éléments-traçes et le dépouillement analytique des eaux par l'intermédiaire du programme de calcul WATEQF.

Ces données et leur interprétation feront l'objet d'un rapport ultérieur lorsque nous disposerons d'une année complète d'observations couvrant l'ensemble d'un cycle hydrologique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-----

MAGLIONE G. - 1974 - Géochimie des évaporites et silicates néoformés en milieu continental confiné. Les dépressions interdunaires du Tchad, Afrique. Thèse Doct. ès Sciences, Université PARIS VI, C.M.R.S. A.O. 7906, 331 p et collection "Travaux et Documents" ORSTOM, n° 50, 340 p.

MARTIN A. - 1967 - Les nappes de la presqu'île du Cap-Vert (République du Sénégal). Leur utilisation pour l'alimentation en eau de Dakar. B.R.G.M. / F.A.C., 56 p.

ELOUARD, P., EVIN, J. et HEBRARD, L. - 1975 - Observations et résultats de mesure au radiocarbonate sur les cordons littoraux coquillers du lac Retba, Sénégal. Ass. sénég. Et. Quatern. Afr., Bull. liaison n° 46, Déc. 1975, 15 - 19.

HEBRARD, L. - 1973 - Renseignements géologiques sur le lac Retba. Bull. AASNS n° 43, Juin 1973, 3 - 5