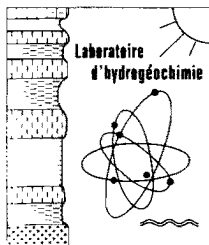


F.X. COGELS
J.Y. GAC

AMENAGEMENT ET EVOLUTION HYDROGEOCHIMIQUE DU LAC DE GUIERS DEPUIS 1916



AVRIL 1983

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE DAKAR - HANN



AMENAGEMENT ET EVOLUTION HYDROGEOCHIMIQUE
DU LAC DE GUIERS (Sénégal) DEPUIS 1916

F.-X. COGELS et J.-Y. GAC

Communication présentée au Colloque de l'AUFELF "Barrages en TERre et développement des zones rurales en Afrique", Thiès (Sénégal) 11/16 Avril 1983.

AMENAGEMENT ET EVOLUTION HYDROGEOCHIMIQUE
DU LAC DE GUIERS (Sénégal) DEPUIS 1916 *
F.X. GOGELS (1) - J.-Y. GAC (2)

RESUME :

Le lac de Guiers situé en rive gauche du fleuve Sénégal représente la plus grande réserve d'eau douce de surface du Sénégal. A son maximum d'extension, il couvre une superficie de 300 km² et contient 720 millions de m³ d'eau.

Avant 1916 (état naturel), les masses d'eaux circulaient librement entre le fleuve Sénégal et le lac de Guiers. Le flux et le reflux des eaux douces, saumâtres et salées dans la Taoué engendraient des équilibres successifs entre les plans d'eau fluvio-lacustres et contrôlaient la minéralisation des solutions.

De 1916 à 1947, les barrages en terre, de conception assez sommaire édiflés en aval du confluent Sénégal/Taoué, étaient submergés par la crue puis rebâtis lors des basses eaux. Au cours de cette période, la pénétration d'eau de mer dans le lac a probablement été limitée à l'épisode aride 1940/1944.

L'utilisation plus rationnelle des eaux du lac correspond à la construction en 1947 du pont-barrage de Richard-Toll. Depuis cette date, la communication avec le fleuve n'est établie qu'à l'arrivée de l'onde de crue et est interrompue dès l'amorce de la décrue. Le lac est désormais "à l'abri" de la remontée de la langue salée.

L'environnement actuel résulte des aménagements de plus en plus élaborés entrepris depuis 1947 pour assurer une meilleure gestion de cette importante réserve d'eau douce :

- fermeture des déversoirs potentiels du Ndiaël et du Ferlo,
- développement de l'exploitation agricole,
- implantation de l'usine de traitement des eaux à N'gnith,
- rectification du cours de la Taoué par le creusement d'un chenal,
- construction d'un second barrage.

Le renouvellement des eaux du lac est désormais assujettie à l'importance de la crue annuelle du fleuve et l'évolution hydrogéochimique de la réserve d'eau douce ainsi constituée dépend essentiellement du jeu et de l'ampleur des phénomènes d'évaporation.

Le bilan hydrologique du lac établi pour les six dernières années (1976/1982) fait ressortir la part importante des pertes subies par évaporation (79 %) devant celles, dues aux pompages conjugués, de la C.S.S. (19 %) et de la SONEES (2 %). Les apports sont surtout tributaires de la crue du fleuve (81 %), des précipitations (11 %) et des rejets des zones irriguées (8 %).

(1) Fondation Universitaire Luxembourgeoise, 140, Rue des Déportés Arlon (Belgique)
Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Dakar (Sénégal)

(2) Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer - BP 1386 - DAKAR
(Sénégal).

* Communication présentée au Colloque de l'AUFELF "Barrages en Terre et Développement des zones rurales en Afrique", Thiès, (Sénégal) 11/16 Avril 1983.

Dès l'isolement du lac, les eaux se retirent progressivement vers le centre de la dépression puis migrent vers le nord marquant chaque étape de leur recul par l'abandon de mares résiduelles. Les eaux se concentrent par évaporation, et cette minéralisation se traduit par des comportements différents pour les éléments dissous. Les teneurs en chlore, sodium et sulfate augmentent régulièrement. L'activité biologique maintient la silice à une teneur constante. La sédimentation chimique touche les carbonates, le magnésium, le calcium et le potassium. Les eaux initialement carbonatées calciques deviennent progressivement chlorurées, sodiques et impropres à la consommation.

Le lac de Guiers est, à l'heure actuelle, fortement sollicité par suite de la persistance de la sécheresse. Une exploitation éventuellement plus intensive nécessite de connaître, au préalable et avec précision, les flux de sels et leurs transferts qui accompagnent les grands mouvements des masses d'eaux provoqués par la crue, les vents et les pompages en cours. La nécessité d'une "maîtrise de l'eau" au Sahel se doit aussi de stimuler les recherches sur les phénomènes évaporatoires pour en déceler les causes, en cerner les mécanismes et trouver des solutions appropriées pour en atténuer les effets.

INTRODUCTION

Le lac de Guiers occupe, en rive gauche du Sénégal, une dépression allongée, étroite et peu profonde (Fig. 1). Il s'étire du nord au sud sur près de 50 km, prenant en écharpe les alignements de dunes rouges d'âge Ogolien ce qui situe son origine entre 15 000 et 20 000 ans B.P. Dépendant du fleuve Sénégal, qui pourvoie à son alimentation, le lac de Guiers a enregistré et conservé dans ses sédiments et dans ses eaux libres ou captives la marque des événements majeurs (transgression, phénomènes de subsidence, variations climatiques...) qui ont jalonné l'histoire récente de ce grand bassin ouvert sur l'océan. Ce n'est qu'à l'époque historique (depuis 1916), que les aménagements successifs, en imposant au lac une nouvelle configuration, ont rompu les équilibres naturels et profondément modifié son comportement hydrogéochimique.

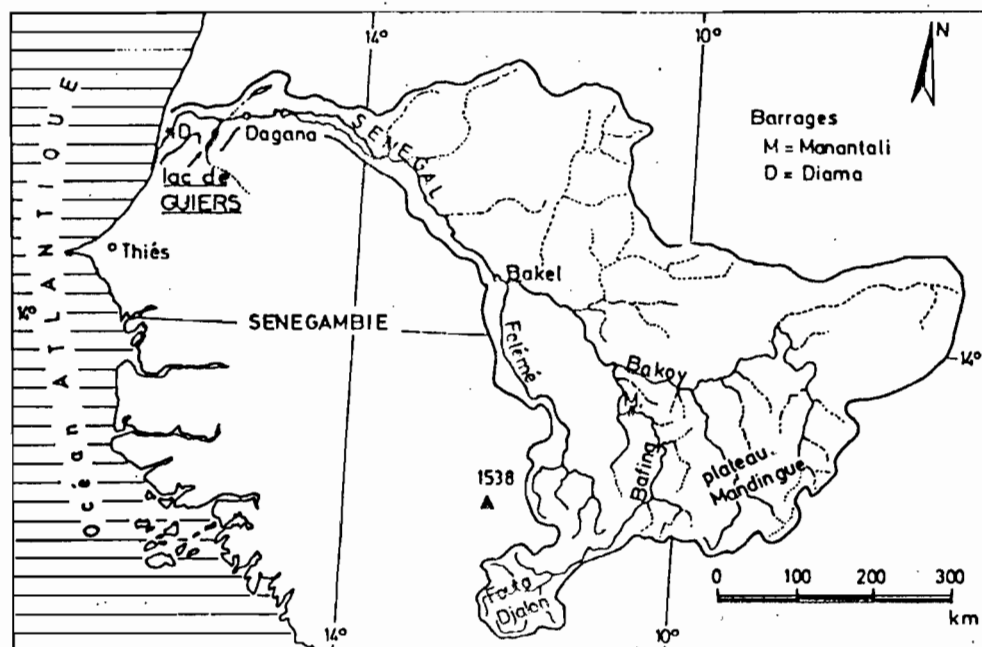


Fig. 1 - Bassin versant du fleuve Sénégal et situation géographique du lac de Guiers.

I - RELATIONS FLEUVE SENEGAL - REMONTEE SALINE - LAC DE GUIERS

1. Le régime du fleuve Sénégal

Le fleuve Sénégal est issu de la jonction du Bakoye, du Bafing et de la Falémé qui prennent leurs sources sur le plateau Mandingue et dans le massif du Fouta-Djalon. Après la réunion des trois branches-mères, en amont de Bakel, le Fleuve s'engage en domaine sahélien en décrivant de nombreux méandres dans une large vallée alluviale. Il parvient à la hauteur du lac de Guiers après un parcours de près de 1 700 km, peu avant d'aborder son delta et d'atteindre son embouchure.

Les observations hydrométriques sur le fleuve Sénégal remontent à 1903. Son régime de type tropical pur se caractérise, dans son parcours aval, par une période de hautes eaux de 3 à 4 mois avec une pointe de crue en Octobre et une période de basses eaux qui s'étale sur 8 à 9 mois de Novembre/Décembre à Juin/Juillet.

À Dagana, station située à une trentaine de kilomètres en amont du confluent de la Taoué et du Sénégal, le module moyen interannuel pour la période 1903/1981 s'élève à 650 m³/s (Fig. 2). Les valeurs extrêmes ont été observées en 1924 (969 m³/s) et en 1977 (258 m³/s). Depuis le début du siècle, on peut globalement distinguer trois épisodes humides (avant 1910, 1919/1939, 1950/1967) et trois périodes arides (1911/1918, 1940/1949, 1968/1982). La sécheresse actuelle apparaît, en durée et en intensité, bien plus importante que celles des années 1913 et 1941/1942. Elle se traduit par une intrusion précoce de la mer à l'embouchure du fleuve et par le transit d'eaux fortement salées à la hauteur du lac de Guiers.

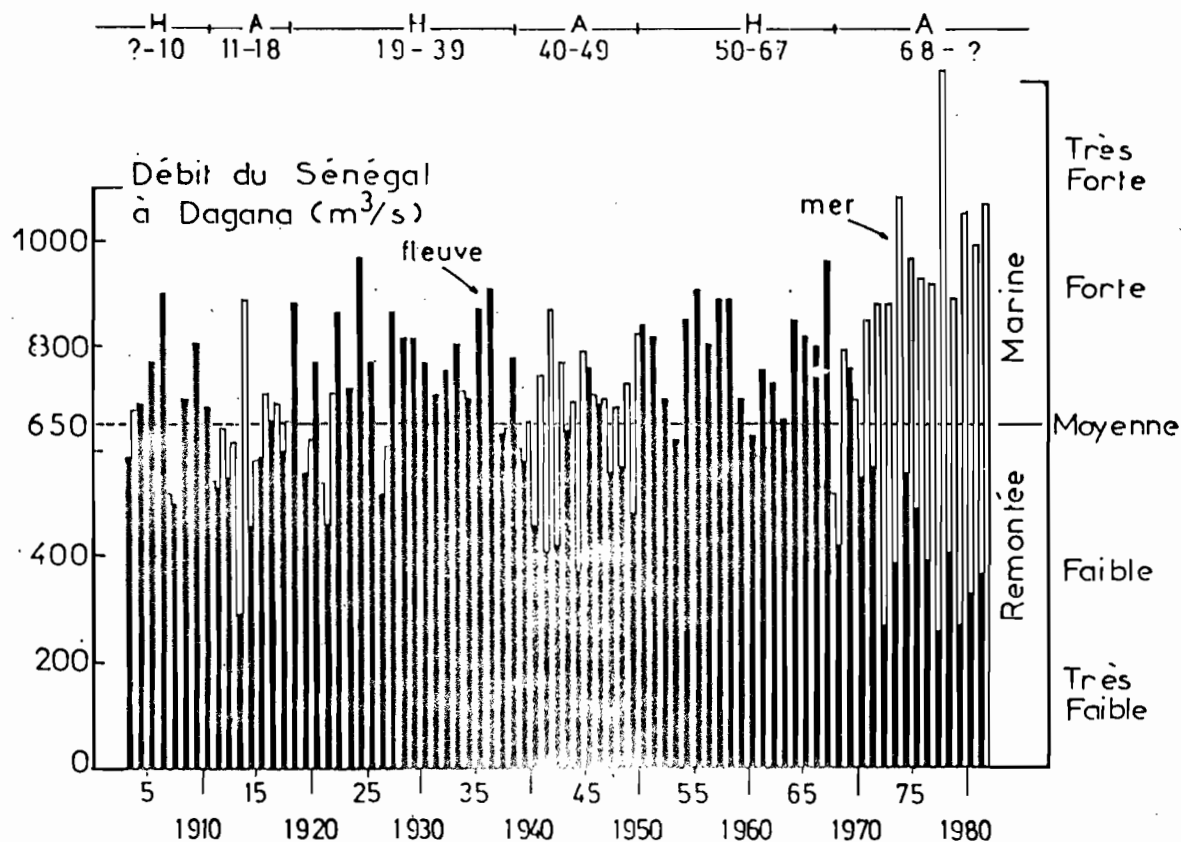


Fig. 2 - Relation entre les débits du Sénégal et l'importance de la remontée saline.

2. La remontée saline

Le lit mineur du fleuve Sénégal se situe en contrebas de l'Océan sur une longueur de 450 km. En faisant abstraction d'une éventuelle variation du niveau moyen de la mer, quatre causes principales sont à l'origine de la remontée d'eau salée vers l'amont du fleuve : la morphologie du lit, le régime du fleuve, la puissance de la houle à l'embouchure et la pente du talus continental.

Le même mécanisme se répète chaque année. Après le passage des eaux de la crue, l'intrusion saline débute par une première phase d'oscillation du plan d'eau du fleuve sous l'influence des marées (le *mascaret* semble peu important ou du moins celui-ci, s'il existe, n'est pas décelable sur les enregistrements du marégraphe de Saint-Louis. Lorsque la décrue est bien amorcée (écoulement inférieur à 600 m³/s), les eaux marines franchissent l'embouchure au sud de la langue de Barbarie. L'importance de la remontée marine va alors dépendre de deux paramètres, étroitement liés aux hauteurs et à la distribution des précipitations sur le bassin (ROCHETTE, 1974 ; GAC et al., 1981 ; ICOLE et al., 1982):

- la plus ou moins grande précocité du tarissement de la crue du fleuve
- la durée de la période d'étiage pendant laquelle le débit devient inférieur à 50 m³/s.

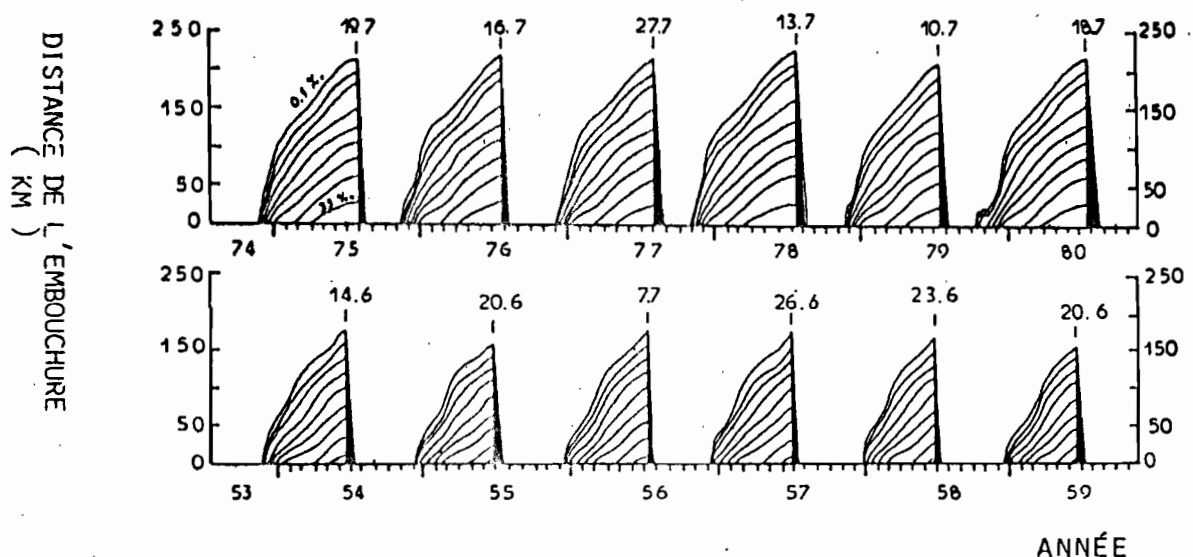


Fig. 3 - Importance de la remontée saline en années humides (1954/1959) et en années sèches (1975/1980). les isohalines successives sont de 0,1 - 2,5 - 5,0 - 10,0 - 15,0 - 20,0 - 25,0 - 30,0 et 35,0 ‰ .

En général, une crue faible engendre une intrusion rapide du biseau salé, une crue forte un temps de séjour moins long des eaux marines dans le lit du fleuve. La figure 3 illustre les positions respectives des isohalines au cours d'une succession de cycles hydrologiques très humides (1953/1958) ou très secs (1974/1979). On remarque :

- qu'en période humide, le front salé se stabilise vers le km 150, soit quelques kilomètres seulement en amont de la ville de Richard-Toll. La salinité reste inférieure à 2,5 ‰ pendant les deux mois où le sel réside à la hauteur du lac de Guiers ; la phase de retrait a lieu vers le 20 Juin.
- qu'en période aride, la mer se déploie largement et en profondeur jusqu'au km 250. Au confluent de la Taoué, les eaux du fleuve sont salées pendant près de 5 mois et au moment de la phase de retrait qui se produit vers la mi-Juillet, le taux de salinité se situe entre 10 et 15 ‰ .

Dans tous les cas, et quelle que soit l'importance de la crue, le lac de Guiers par l'intermédiaire de la Taoué (avant 1916) ou le chenal aménagé (depuis 1974) se situe dans la zone d'une centaine de kilomètres délimitée par les positions extrêmes du front salé. Sa morphologie particulière le prédispose aussi, comme nous allons le voir, à subir les contraintes du flux et du reflux annuels des eaux marines dans le fleuve.

3. Le lac de Guiers

Le fond de la dépression occupée par le lac de Guiers se situe en-dessous du niveau de la mer à la cote - 1,75 m I. G.N. A l'origine, lorsque le lac communiquait avec la vallée du Ferlo, crues et décrues de l'amont ou de l'aval déterminaient son remplissage ou son assèchement, selon les positions respectives des plans d'eau dans le fleuve, le lac et la vallée (HENRI, 1918 ; HUBERT, 1921).

A l'heure actuelle, la construction et le rehaussement des digues limitent le remplissage du lac à la cote + 2,25 m. La carte bathymétrique et les courbes morphométriques (Fig. 4), établies par COGELS et GAC (1982) fournissent à différentes altitudes les principales caractéristiques du lac. Les formules du Tableau I permettent d'évaluer avec plus de précision sa surface, son volume et sa profondeur moyenne en fonction de la hauteur d'eau à l'échelle de N'Gnith (calée sur le 0 IGN).

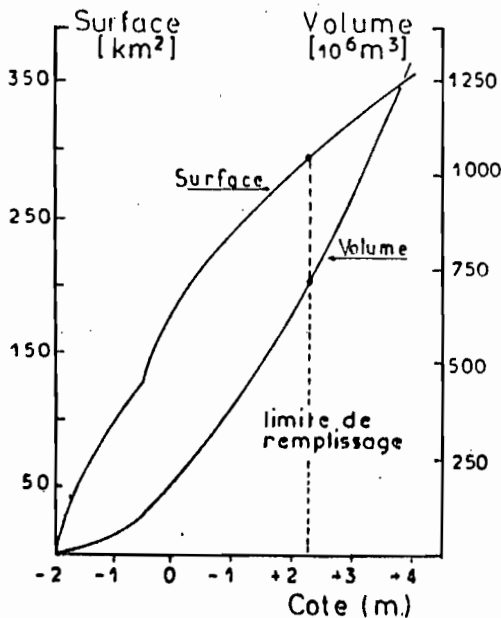


Fig. 4 : Courbes morphométriques du lac de Guiers.

Le "grand lac", à la cote hypothétique de + 4 m, occuperait une superficie de 354 km², contiendrait 1,3.10⁹ m³ et aurait une profondeur moyenne de 3,68 m. A son maximum d'extension actuelle (cote + 2,25 m.) le lac couvre une superficie de 300 km², constitue une réserve d'eau douce de 720 millions de m³ et ne laisse émerger que l'île centrale de Nouk Pomo et quelques rares bancs sableux disséminés dans la partie méridionale (Fig. 5). Lorsque le plan d'eau du lac se situe au niveau de la mer, la presque-île centrale s'individualise, les étendues d'eau libre se réduisent au sud des seuils de Sier et de Diamenar. Le "petit lac" correspond à la physiologie du lac pour des cotes inférieures à - 1,00 m : les eaux se concentrent dans la région nord et seules quelques mares terminales, vite asséchées, persistent dans la zone méridionale.

TABLEAU I - Relations entre la superficie, le volume, la profondeur moyenne du lac de Guiers et la cote IGN du plan d'eau.

Abaques surface / volume, modélisation

H (m.)	Volume (10 ⁶ m ³)	H (m.)	Surface (Km ²)
de - 1,75 à - 1,51	V = 84,089 (H+2) ^{3,197}	de - 1,75 à - 1,51	S = 121,255 + 85,194 Ln (H+2)
de - 1,50 à - 1,41	V = 72,383 (H+2) ^{2,981}	de - 1,51 à - 0,51	S = 98,399 (H+2) ^{0,662}
de - 1,40 à - 1,31	V = 56,350 (H+2) ^{2,491}	de - 0,51 à + 4,00(1)	S = 58,603 + 164,822 Ln (H+2)
de - 1,30 à - 1,01	V = 49,499 (H+2) ^{2,136}		
de - 1,00 à - 0,81	V = 49,684 (H+2) ^{1,931}		
de - 0,80 à + 1,99	V = 50,326 (H+2) ^{1,857}		
de + 2,00 à + 4,00(1)	V = 62,888 (H+2) ^{1,692}		

(1) Les estimations ont été "poussées" jusqu'à la cote + 4,00m. dans la perspective de la construction des barrages de retenue de Diama et de Manantali et d'un éventuel réhaussement des digues actuelles.

Cote (m.), Surface (km²), Volume (10⁶ m³), Profondeur moyenne (m)

H	S	V	P	H	S	V	P	H	S	V	P
- 1,75	3,2	1,0	0,32	0	172,9	182,3	1,05	+ 1,75	276,5	585,8	2,12
- 1,50	62,2	9,2	0,15	+ 0,25	192,3	226,9	1,18	+ 2,00	288,0	656,5	2,28
- 1,25	81,3	26,8	0,33	+ 0,50	209,6	275,9	1,32	+ 2,25	297,1	727,5	2,45
- 1,00	98,4	49,7	0,50	+ 0,75	225,3	329,3	1,46	+ 2,50	306,5	801,3	2,61
- 0,75	114,1	76,2	0,67	+ 1,00	239,7	387,1	1,62	+ 3,00	323,9	957,7	2,96
- 0,50	125,4	106,9	0,85	+ 1,25	252,9	449,2	1,78	+ 3,50	339,6	1125,3	3,31
- 0,25	150,8	142,3	0,94	+ 1,50	265,1	515,4	1,94	+ 4,00	353,9	1303,8	3,68

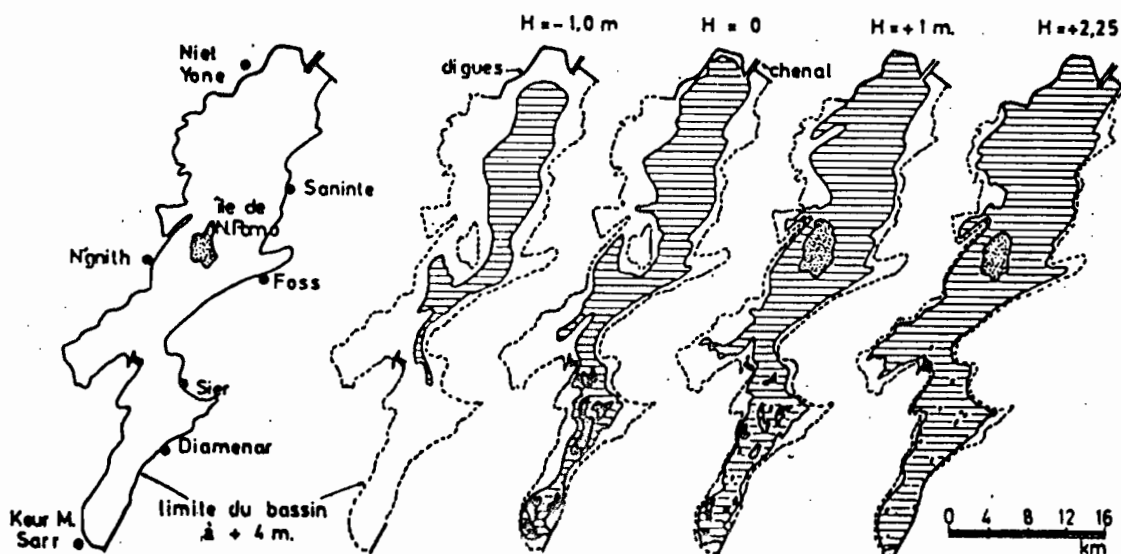


Fig. 5 - Aspects et contours du lac de Guiers à différentes altitudes.

En définitive, le lac de Guiers constitue un milieu très instable qui se dilate ou se contracte suivant la période de l'année. Autrefois (avant 1916), cette évolution rapide du paysage lacustre était différée par le flux et le reflux des eaux douces saumâtres ou salées dans la Taoué ; elle est aujourd'hui accentuée par le déséquilibre entre la courte période d'alimentation (de 2 à 3 mois) et la durée de l'isolement du lac (de 9 à 10 mois).

II - CHRONOLOGIE DES AMENAGEMENTS DU LAC DE GUIERS ET DE LA TAOUE. EVOLUTION DES PLANS D'EAU

a) Les Aménagements successifs

En ne tenant compte que des transformations qui ont eu une influence perceptible sur le fonctionnement hydrologique du lac de Guiers, les situations successives au cours du XXème siècle se résument en 8 étapes (Fig. 6).

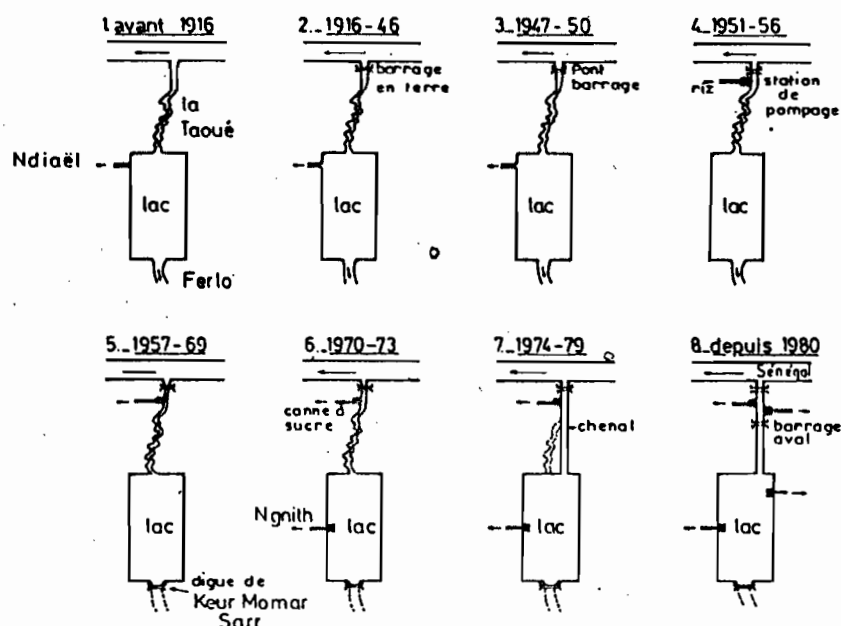


Fig. 6 - Représentation schématique des aménagements successifs du lac de Guiers depuis 1916.

1. Avant 1916, état naturel avec une période d'alimentation exclusive du lac en eau douce (avant 1890) et une période de pénétration occasionnelle d'eau salée dans le lac au cours d'années particulièrement sèches et de marées très fortes.
2. De 1916 à 1946, construction d'un barrage en terre au moment des basses eaux dans le seul but d'empêcher la pénétration d'eau de mer dans le lac.
3. De 1947 à 1950, construction du pont-barrage de Richard-Toll. Le barrage est fermé non plus aux basses eaux mais à la décrue et plus précisément au moment de l'équilibre des plans d'eau fluvio-lacustre.

4. De 1951 à 1956, début des pompages pour l'irrigation des casiers rizicoles, fermeture de la brèche de Niet Yone pour éviter les pertes vers le Ndiaël.
 5. En 1957, construction de la digue de Keur Momar Sarr qui isole le lac de la vallée du Ferlo.
 6. De 1970 à 1973, surélévation des digues de la zone nord, la culture de la canne à sucre se développe, installation de l'usine de pompages de N'Gnith.
 7. De 1974 à 1979, rectification de la Taoué par le creusement d'un chenal qui limite les pertes de charge et réduit la distance lac/fleuve.
 8. Depuis 1980, situation actuelle avec la présence de deux barrages qui permet de prolonger le temps de pompage dans les eaux du fleuve.
- (9. A partir de 1990, situation future avec la mise en place sur le fleuve des barrages de Diama et de Manantali.)

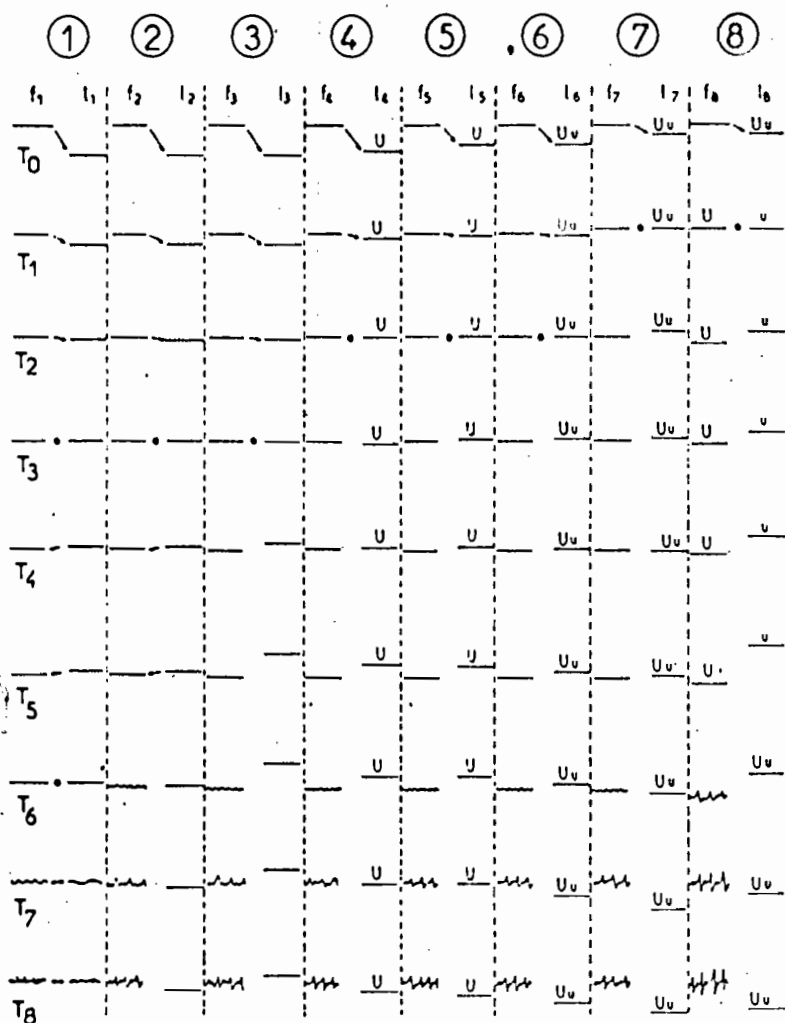
b) Position relative des plans d'eau fluvio-lacustres

Depuis le début du siècle, le dispositif fluvio-lacustre a donc été soumis à de nombreux changements et il n'est pas toujours facile à *posteriori*, d'évaluer l'incidence exacte qu'ils ont eu, tour à tour sur les positions relatives des plans d'eau. La confrontation entre les différentes situations n'est d'ailleurs possible que dans la mesure, où on suppose, bien que cette probabilité soit quasi-nulle, d'une part que les conditions d'alimentation par le fleuve sont identiques et que d'autre part "l'état" initial du lac est semblable dans les différents cas.

Le cycle hydrologique se décompose en neuf phases (de T_0 à T_8) ; désignons par $f_1, f_2 \dots f_8$ et par $l_1, l_2 \dots$ et l_8 les cotes respectives du fleuve et du lac dans les 8 situations. Le Tableau II et la figure 7 permettent de suivre les variations saisonnières, des positions relatives des plans d'eaux fluvio-lacustres.

TABLEAU II - Variations saisonnières relatives des niveaux du fleuve et du lac dans les 8 situations

Phase	Date	Fleuve	Lac
T_0	Sept./Oct.	$f_1=f_2=f_3=f_4=f_5=f_6=f_7=f_8$	$l_1=l_2=l_3<l_4<l_5=l_6<l_7=l_8$
T_1	Oct./Nov.	$f_1=f_2=f_3=f_4=f_5=f_6<f_7=f_8$	$l_1=l_2=l_3<l_4<l_5=l_6<l_7=l_8$
T_2		$f_8 < f_1=f_2=f_3 < f_4=f_5=f_6=f_7$	$l_1=l_2=l_3<l_4<l_5=l_6<l_7<l_8$
T_3		$f_8 < f_1=f_2=f_3 \approx f_4=f_5=f_6=f_7$	$l_4<l_1=l_2=l_3<l_5=l_6=l_7<l_8$
T_4	Déc./Janv.	$f_8<f_7=f_6=f_5=f_4=f_3 < f_1=f_2$	$l_7<l_6<l_1=l_2<l_4=l_5<l_3<l_8$
T_5	Fév./Mars	$f_8<f_7=f_6=f_5=f_4=f_3 < f_1=f_2$	$l_7<l_6=l_1=l_2<l_5<l_4<l_3<l_8$
T_6	Mars/Avril	$f_8<f_7=f_6=f_5=f_4=f_3<f_2<f_1$	$l_7<l_2<l_1=l_6<l_4=l_5<l_8<l_3$
T_7	Mai/Juin	$f_8 \approx f_7 \approx f_6 \approx f_5 \approx f_4 \approx f_3 \approx f_2 < f_1$	$l_7<l_6<l_8<l_2<l_1=l_4=l_5<l_3$
T_8	Juin/Juillet	$f_8 \approx f_7 \approx f_6 \approx f_5 \approx f_4 \approx f_3 \approx f_2 \approx f_1$	$l_7<l_8<l_6<l_5<l_4<l_2<l_1<l_3$



NOTE : - Les pastilles noires(•) indiquent la position d'équilibre.

- les flèches le sens des écoulements.

- Les oscillations de faible amplitude (l'onde de marée), de fortes amplitudes sont proportionnelles à l'importance de l'intrusion marine.

- U (usine de la CSS),
u (usine de N'Gnith).

Fig. 7 - Représentation schématique des variations saisonnières des plans d'eaux fluvio-lacustres dans les 8 situations.

Les causes et les mécanismes qui déterminent, dans les différentes situations, les niveaux du fleuve et du lac ont été largement décrits par COGELS et GAC (1982) ; nous invitons le lecteur à se reporter à cette étude, dont nous ne donnerons ici, que les conclusions essentielles :

- A crue égale, la situation actuelle favorise l'équilibre précoce des plans d'eau (remplissage plus rapide par suite de la réduction des pertes de charge, élimination des déversoirs). L'équilibre était atteint beaucoup plus tardivement dans les conditions naturelles (pertes de charge importantes dans la Taoué, fuite vers les vallées limitrophes) et était répétitif avec le va-et-vient des eaux entre les deux milieux,
- A remontée saline de même ampleur, l'embouchure de la Taoué est soumise aujourd'hui à l'onde de marée dès Février/Mars ; le même phénomène n'apparaissait au début du siècle qu'en Mai/Juin. Les raisons sont de deux ordres : le maintien actuel des pompages dans le fleuve tant que les eaux sont douces (appel de la mer) et la possibilité offerte autrefois aux eaux

du lac, en l'absence de barrage, de soutenir le fleuve en refoulant les eaux marines retardant ainsi leur apparition à la hauteur du lac de Guiers.

- Le mode d'alimentation et de fonctionnement actuel du lac, l'épargne sur une plus longue période, le maintient à un niveau plus élevé et lui permet de survivre jusqu'à la crue suivante dans la mesure où la précédente a été suffisante et qu'il n'est pas trop sollicité pour les besoins de l'irrigation. En contrepartie, si avec l'infrastructure actuelle, le gain pour le lac est substantiel, la situation sur les rives du fleuve devient critique avec l'intrusion précoce dans le lit mineur de la langue salée.

En définitive, le rapprochement dans les situations 3 et 8 de la position relative des plans d'eau du fleuve et du lac ($l_3 \gg l_8$ et forte influence de la remontée saline en f_8) dans l'ultime phase (T_8), incite de nouveau (l'exemple d'Assouan n'est pas si lointain !) à la prudence devant tout projet de bouleversement du milieu naturel. La "maîtrise de l'eau", dans l'état actuel des choses, consisterait d'une part à interrompre en temps opportun, et avant qu'il "n'agonise", les prélèvements dans le fleuve et d'autre part à trouver des solutions appropriées pour limiter les pertes que subit le lac par pompage et surtout par évaporation.

III - BILAN HYDROLOGIQUE DU LAC DE GUIERS

Le contour et la physionomie du lac de Guiers se modifient sans cesse. Les variations annuelles et interannuelles du plan d'eau peuvent atteindre 3 mètres (Fig.8), ce qui témoigne de la précarité des équilibres et de la profonde instabilité du milieu.

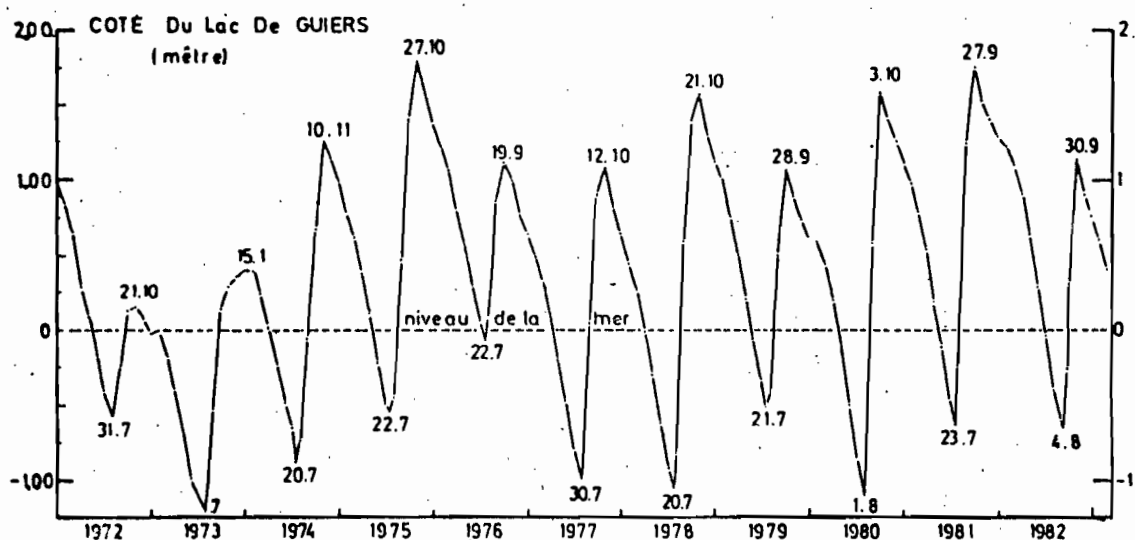


Fig. 8 - Evolutions saisonnières et annuelles de la cote du plan d'eau du lac de Guiers à N'Gnith entre 1972 et 1982.

Chaque cycle hydrologique, s'il introduit pour le lac des conditions nouvelles, supporte aussi les conséquences de celui qui l'a précédé comme il s'impose par la suite, à son tour, au cycle qui va lui succéder. Le bilan hydrique du lac entre un état initial V_1 et un état final V_2 n'est que la résultante des entrées et des sorties d'eau :

Etat final - Etat initial = Entrées - Sorties :

$$V_2 - V_1 = (V_F + V_{Po} + V_{me} + V_n + V_r) - (V_E + V_{P1} + V_{P2} + V_{ms} + V_i) \quad (1)$$

- | | | | |
|--------------|--|--------------|------------------------------|
| V_F | : apports du fleuve | V_E | : pertes par évaporation |
| V_{Po} | : apports des pluies | V_{P1} | : pompages de N'gnith |
| (1) V_{me} | : apports marins | V_{P2} | : pompages pour l'irrigation |
| V_r | : rejets des zones irriguées et pompages d'appoint | (1) V_{ms} | : retour des eaux marines |
| (2) V_n | : apports souterrains | (2) V_i | : infiltrations souterraines |

(1) Avant 1916, l'eau de mer pouvait pénétrer dans le lac et les éventuels flux ou reflux d'eau salée (V_{me} et V_{ms}) constituaient des composantes plus ou moins importantes du bilan.

(2) Le volant d'eau mis en jeu par l'intervention des nappes a été très peu étudié. PLAUD (1966) fait état d'échanges réciproques entre nappes et lac (V_r et V_i) d'importances insignifiantes et de valeurs sensiblement égales. La réalité de ces échanges éventuels ne pourrait être précisée que par une étude physico-chimique fine : ils ont été négligés dans cette première approche du bilan hydrologique.

L'équation du bilan, au cours d'un cycle hydrologique complet peut alors s'écrire :

$$\Delta V = V_2 - V_1 = (V_F + V_{Po} + V_r) - (V_E + V_{P1} + V_{P2}) \quad (2)$$

Les estimations ont été menées sur les 6 derniers cycles hydrologiques (du 22/07/1976 au 04/08/1982), les résultats obtenus sont donnés dans le Tableau III.

TABLEAU III - Bilan hydrologique du lac de Guiers de 1976 à 1982 (en 10^6 m^3)

Cycles Hydrologiques	OBSERVE			A P P O R T S C A L C U L E				S O R T I E S				V moyen Lac (V_m)	% erreur $\frac{\Delta V_0 - \Delta V_1}{V_m}$	
	V initial (V_1)	V final (V_2)	ΔV_0 ($V_1 - V_2$)	V_F	V_{Po}	V_r	Total	V_E	V_{P1}	V_{P2}	Total			ΔV_1 Calc.
1976-1977 22.7 30.7	167,37	45,37	-122,00	319,04	65,13	30,15	414,32	409,15	108,65	10,92	528,92	-114,60	253,47	2,92
1977-1978 30.7 20.7	45,37	35,87	- 9,50	452,11	37,54	28,71	518,36	401,87	122,55	10,17	534,59	- 16,23	218,47	3,08
1978-1979 20.7 21.7	35,87	106,85	+ 70,98	546,47	77,14	29,85	653,46	450,83	128,78	10,77	590,38	+ 63,08	314,69	2,51
1979-1980 21.7 1.8	106,85	39,52	- 67,33	318,54	58,80	86,66	464,00	428,45	80,85	10,71	520,01	- 56,01	242,46	4,67
1980-1981 1.8 23.7	39,52	87,87	+ 48,35	520,66	58,96	30,63	608,25	457,49	91,64	10,59	559,72	+ 48,53	310,19	0,06
1981-1982 23.7 4.8	87,87	91,53	+ 3,66	523,03	67,25	32,26	622,54	493,10	108,36	13,54	615,00	+ 7,54	340,13	1,14
Moyenne	80,43	67,84	- 12,64	446,64	60,47	30,71	516,82	440,15	106,84	11,12	558,11	- 11,29	279,90	2,4 %

Remarques

- a) Les apports météoriques (V_{p0}) ont été évalués en deux temps (pendant et en dehors de la période d'alimentation du lac), en distinguant pour *chaque pluie*, les quantités d'eau reçues directement par le lac et la contribution du ruissellement sur son bassin versant (limité à la cote + 4,00 m.) L'étroitesse du bassin, la rareté de la végétation et la localisation des précipitations les plus intenses au moment où le lac est le plus étendu, nous ont amené à adopter un coefficient de ruissellement, qui peut paraître excessif, de 10 % .
- b) Les surplus des zones irriguées (V_r), incluant les eaux de drainage des sols salés, sont rejetés dans la zone nord-ouest du lac. Vu leurs effets, à priori négatifs, sur la qualité des eaux du lac, il n'existe que très peu d'information sur les quantités réellement déversées : les volumes quotidiens ont été estimés à 80 000 m³/jour (de 1976 à 1978) et à 85 000 m³/jour (depuis 1979) à partir du débit de la pompe, de sa durée moyenne de fonctionnement et de la croissance de la minéralisation des solutions dans le secteur nord-ouest du lac.
- c) Les prélèvements par pompage (V_{p1}), vers les périmètres irrigués peuvent être évalués en connaissant l'importance des surfaces sous culture et les besoins des différentes plantes au cours de leur cycle (12 000 m³/ha/an pour le riz et 35 000 m³/ha/an pour la canne à sucre.
- d) Les prélèvements de la station de N'Gnith (V_{p2}) pour l'alimentation en eau de l'agglomération de Dakar, sont connus et divulgués mensuellement (30 000 m³/jour de 1970 à 1982, portés à 40 000 m³/jour depuis 1982). Ces prélèvements sont interrompus lorsque la cote du lac descend en dessous de la cote - 0,85 m. IGN.
- e) Les pertes par évaporation (V_E) ont fait l'objet d'une attention particulière étant donné leur importance capitale sur le rythme hydrologique du lac. Les estimations ont été menées en distinguant trois périodes : la première correspond à la phase d'isolement du lac ($V_F = 0$), la seconde à la période d'alimentation du lac par le fleuve et la dernière au temps de réponse très court (15 jours) qui jouxte la fermeture des barrages et qui se traduit par des oscillations "aberrantes" du niveau du lac dûes vraisemblablement au rééquilibrage des masses d'eau.
- f) Les apports fluviaux (V_F) n'ont pu être chiffrés directement à partir d'abaques relatives à des échelles limnimétriques disposées sur le fleuve et la Taoué. Plusieurs raisons peuvent être évoquées : l'envasement continu de la Taoué, l'ouverture progressive et rarement simultanée des vannes du pont-barrage etc... Ils ont été déterminés en fonction des variations de volume observées dans le lac et à partir des autres termes du bilan (à l'exception de V_{p1} considéré comme nul durant la crue du fleuve).

De 1976 à 1982, la contenance moyenne du lac de Guiers a été de 280 millions de m³ d'eau ce qui correspond à une cote de + 0,52 du plan d'eau, une surface moyenne de 210 km² et une profondeur moyenne de 1,33 m.

Les différentes composantes du bilan hydrologique moyen des six dernières années (Fig. 9) soulignent la contribution importante (80,8 %) du fleuve dans la réalimentation du lac devant celle des précipitations (11,1 %) et confirment la part prépondérante (79 %) des pertes en eau subies par évaporation. Ces résultats apportent aussi un démenti à l'assertion d'une grande responsabilité de la C.S.S. et de la SONEES dans l'assèchement du lac : leurs parts respectives dans le bilan des pertes ne s'élèvent qu'à 19 % et 2 % .

s'élever le niveau du lac. L'évaporation ne peut alors être qu'estimée à partir des mesures réalisées sur des bacs d'évaporation en posant :

- comme *certain*, que l'évaporation du lac E_L sera inférieure à celle des bacs d'évaporation E_B ,
- comme *probable* que le rapport E_L/E_B sera dans la fourchette des valeurs minimales et maximales de ce rapport observées pendant le reste de l'année du fait que cette période d'hivernage se situe entre la saison chaude, sèche et la saison froide.
- comme *plausible*, qu'en saison des pluies, l'inertie thermique du lac et "l'effet" de bac, par suite justement des précipitations, entrent moins en "résonance" pour provoquer des taux d'évaporation E_L et E_B plus importants qu'au cours des mois qui encadrent la saison des pluies.

Les erreurs certaines sur la période d'hivernage n'ont cependant qu'une incidence mineure sur l'évaluation annuelle de l'évaporation. Durant les six derniers cycles hydrologiques, l'évaporation moyenne annuelle et journalière du lac de Guiers ont été de 2,21 m et de 6,04 ± 0,2 mm (Tableau IV), valeurs tout à fait comparables aux estimations de POUYAUD (1979) pour le lac de Bam (2,34 m/an et 6,34 mm/jour) et de RIOU (1975) pour le lac Tchad (2,15 m/an et 5,88 mm/jour).

TABLEAU IV - Evaporation moyenne mensuelle (mm/jour) et annuelle (m/an) en bacs d'évaporation et sur le lac de Guiers de 1976 à 1981. Comparaison avec le lac de Bam et le lac Tchad.

Mois	L a c de G u i e r s			Lac de Bam	Lac Tchad
	E_{Lac}	E_{Bac}	E_L/E_B	E_L	E_L
Janvier	4,48	8,25	0,54	5,70	4,63
Février	5,26	8,77	0,60	6,30	5,06
Mars	6,07	12,15	0,50	7,00	6,72
Avril	7,68	13,73	0,56	7,60	7,60
Mai	7,55	13,59	0,56	7,80	7,34
Juin	7,52	11,95	0,63	7,40	6,43
Juillet	5,66	10,19	0,56	6,60	5,84
Août	5,29	8,31	0,64	5,20	4,77
Septembre	5,39	7,56	0,71	5,20	5,02
Octobre	7,36	8,92	0,83	6,30	6,42
Novembre	6,01	8,75	0,69	6,40	5,97
Décembre	4,26	7,92	0,54	5,50	4,70
mm/jour	6,04	10,01	0,60	6,42	5,88
m/an	2,206	3,654	0,60	2,340	2,150

La valeur moyenne du rapport E_L/E_B est de 0,60 et bien inférieure aux coefficients de correction généralement appliqués (de 0,7 à 0,8) pour extrapoler les résultats expérimentaux aux surfaces d'eau libre. On observe sur la figure 10 que l'évaporation en bac est toujours supérieure à celle du lac. Les deux courbes présentent une allure bimodale avec des taux très élevés d'évaporation d'Avril à Juin et un maximum secondaire en Octobre ; les minimum apparaissent en Août/Septembre puis en Décembre/Janvier.

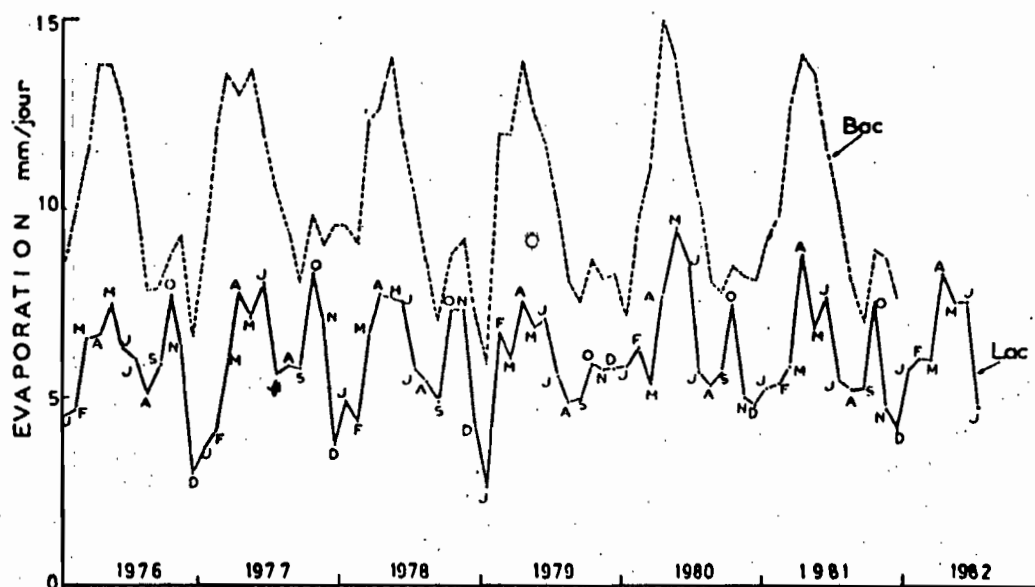


Fig. 10 - Comparaison entre l'évaporation moyenne mensuelle (mm/jour) en bac et du lac de Guiers de 1976 à 1982.

V - PHYSICOCHIMIE DES EAUX DU LAC DE GUIERS ET EVOLUTION DE LA SALINITE DEPUIS 1916

L'une des caractéristiques principales du lac de Guiers réside dans l'importante variation, observée dans le temps et dans l'espace, de la qualité physico-chimique de ses eaux. L'augmentation de la salinité montrée par la position des courbes d'isoconductivité à différentes périodes de l'année (Fig. 11) s'explique par l'intense évaporation qui s'exerce sur les eaux du lac et probablement aussi par des échanges nappes-lac dans lesquels interviennent des reliques fossiles des récentes intrusions marines.

L'évolution de la minéralisation progressive des eaux du lac de Guiers, illustrée par la figure 12, donne une idée assez précise du chemin chimique suivi par les principaux éléments en solution et de leur comportement dissemblable :

- le sodium (Na), le chlore (Cl) et les sulfates (SO_4) suivent une évolution parallèle ; ils augmentent régulièrement avec le facteur de concentration et ne participent probablement pas aux éventuelles précipitations chimiques,
- plusieurs courbes présentent des fléchissements plus ou moins marqués et à des taux de concentration différents : c'est le cas pour les carbonates (Al_c), le magnésium (Mg), le potassium (K) et le calcium (Ca). Ce ralentissement dans l'augmentation des teneurs qui concerne aussi le pH (stabilité à 8,5 - 9,0) montre que la sédimentation chimique touche ces éléments plus particulièrement les carbonates et le calcium (précipitation de calcite),
- la courbe représentative de l'évolution de la silice est tout à fait particulière : la teneur en silice est constante jusqu'à un facteur de concentration de 10, puis après une phase d'augmentation et de diminution, la concentration croît à nouveau pour atteindre dans la phase ultime une valeur très proche de sa concentration initiale dans les eaux diluées. Il est vraisemblable que les teneurs en silice sont contrôlées par la présence de diatomées mais il n'est pas exclu qu'elle puisse aussi participer à l'édification de minéraux silicatés, à l'exception toutefois de la silice amorphe dont le seuil de saturation n'est pas atteint.

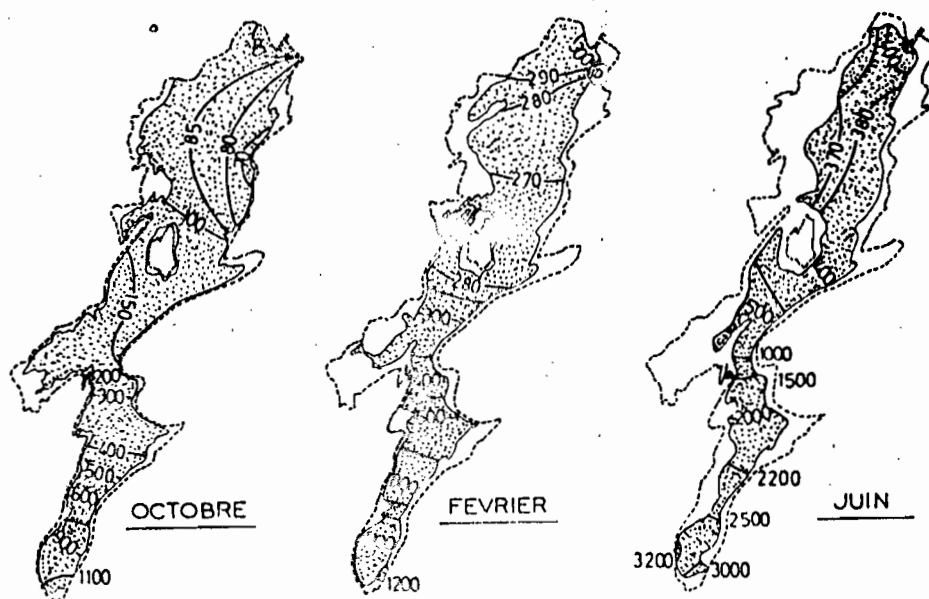


Fig. 11 : Evolution saisonnière des courbes d'isoconductivité (μ mols/cm) dans le lac de Guiers.

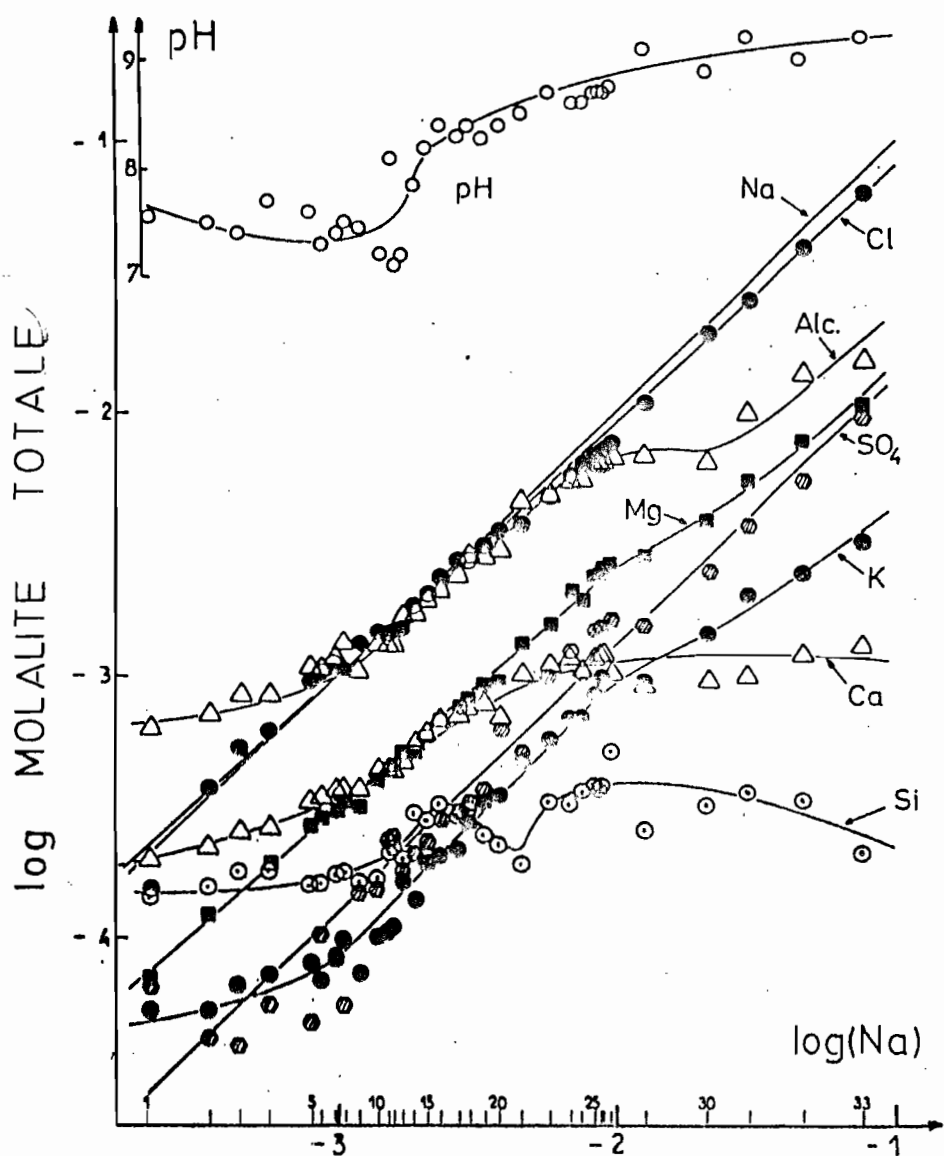


Fig. 12 : Evolution de la composition chimique des eaux du lac de Guiers en fonction du facteur de concentration.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CARMOUZE J.P. - (1976) - La régulation hydrogéochimique du lac Tchad. Travaux et Documents ORSTOM, Paris, 58, 418 p.
- COGELS F.-X. & GAC J.-Y. - (1982) - Le lac de Guiers : Fonctionnement, bilans hydriques. Evaporation d'une nappe d'eau libre en zone sahélienne (Sénégal). Cah. ORSTOM, sér. Géol., XII, 1, pp. 41-60.
- GAC J.-Y. - (1980) - Géochimie du bassin du lac Tchad, bilan de l'érosion, de l'altération et de la sédimentation. Travaux et Documents ORSTOM, PARIS, 123 ; 251 p.
- GAC J.-Y., J. MONTEILLET & H. FAURE - (1981) - Les lignes de rivages dans les estuaires : indications de paléoprécipitations. Proceedings du Symposium on "Variations in The Global Water Budget" Oxford U.K. 9-15 août 1981, 10 p.
- HENRY - (1918) - Irrigations et cultures irriguées en Afrique Tropicale. Paris Larose 296 p.
- HUBERT H. - (1921) - Eaux superficielles et souterraines au Sénégal. Paris Larose 30 p.
- ICOLE M., J.-Y. GAC ; J. MONTEILLET & H. FAURE - (1982) - Marqueurs biogéochimiques d'aridité dans l'estuaire du Sénégal et le Manga Nigérien. Bull. Assoc. Géogr. Franc. Paris, 484, pp. 62-64.
- POUYAUD B. - (1979) - Etude de l'évaporation d'un lac en climat soudano-sahélien : le lac de Bam (Haute-Volta). Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XVI, 2, pp. 78-89.
- RIOU C. - (1975) - La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'Afrique Centrale. Mém. ORSTOM, 80, 236 p.
- ROCHE M.A. - (1973) - Traçage naturel salin et isotopique des eaux du système hydrologique du lac Tchad. Thèse Univ. Paris VI, Paris, 385 p.
- ROCHETTE C. - (1974) - Le bassin du fleuve Sénégal. Monogr. Hydrol. de l'ORSTOM, 1, 325 p.