

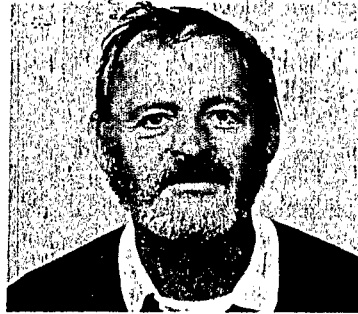
Le lac de Guiers: paramètres du milieu actuel et évaluation des répercussions de l'aménagement de la vallée du fleuve Sénégal

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

INTRODUCTION

Face à l'important déficit pluviométrique enregistré au Sahel depuis près de 15 ans et à l'accroissement des besoins alimentaires, les autorités nationales sénégalaises, maliennes et mauritaniennes ont décidé de mettre en oeuvre un vaste programme d'aménagement de la vallée du fleuve Sénégal.

À cet effet, deux barrages seront construits: le premier à Diama, dans la partie aval du bassin, dont le rôle principal sera d'empêcher la remontée marine annuelle dans le cours du fleuve en période d'étiage (figure 1); le second à Manantali, au Mali, dont la fonction première sera de régulariser le débit du fleuve. Cet ensemble hydraulique devrait être fonctionnel en 1988 et permettra la mise en valeur de près de 300 000 ha de cultures irriguées, le développement industriel de la vallée et celui de la navigation. Il est cependant plus facile de construire un barrage que d'en tirer profit; c'est pourquoi en 1976, à la demande des autorités sénégalaises, l'Institut des Sciences de l'environnement, attaché à l'Université de Dakar, a entrepris une vaste étude d'impact de ces futurs aménagements et de leur valorisation sur une zone bien précise de la basse vallée



J.-Y. Gac
Fondation Universitaire Luxembourgeoise
B-6700 Arlon, Belgique



François-Xavier Cogels
Fondation Universitaire Luxembourgeoise
B-6700 Arlon, Belgique

du fleuve Sénégal; celle du lac de Guiers. Nous en donnons ici les principales conclusions.

CONDITIONS ACTUELLES DU MILIEU

Situé en rive gauche du fleuve Sénégal, le lac de Guiers, à son maximum d'extension, couvre 300 km² pour un volume de 700 millions de mètres cubes. Divers aménagements ont permis, depuis le début des années cinquante, d'en faire la plus grande réserve d'eau douce de surface du pays: barrage à son extrémité aval, évitant les

écoulements vers l'ancienne vallée du Ferlo, et endiguements de sa partie nord (figure 2). L'alimentation hydrique du lac est pour plus de 80 p.100 d'origine fluviale (Cogels, 1984) et s'effectue par l'intermédiaire d'un canal de 17 km reliant le lac au fleuve Sénégal. Ce réservoir d'eau douce revêt une importance capitale dans la région puisque les eaux du fleuve sont inutilisables la majeure partie de l'année: en effet, la pente quasi nulle de la zone aval du cours d'eau, liée aux faibles débits d'étiage, provoque la remontée annuelle d'eau de mer dans le Sénégal, et ce, sur près de 300 km à l'intérieur des terres (Rochette, 1974). Ce phénomène justifie d'ailleurs la mise en fonction future du barrage de Diama.

Les utilisations de l'eau du lac sont multiples; nous les subdivisons en 2 catégories:

a) Utilisations industrielles

- La Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS) exploite près de 8000 ha de canne à sucre dans la région nord du lac (figure 2). Ses besoins en eau d'irrigation (30 000 m³/ha/an) sont assurés par le lac une partie de l'année. La station de pompage de la CSS se situe sur la Taoué à proximité de l'embouchure du canal dans le fleuve.
- La Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal (SONEES) capte et traite quotidiennement 40 000 m³ d'eau du lac (figure 2). L'eau potable produite est destinée principalement à la ville de Dakar.

b) Utilisations traditionnelles

- Les cultures vivrières de décrue sont pratiquées partout sur les rives du lac dans

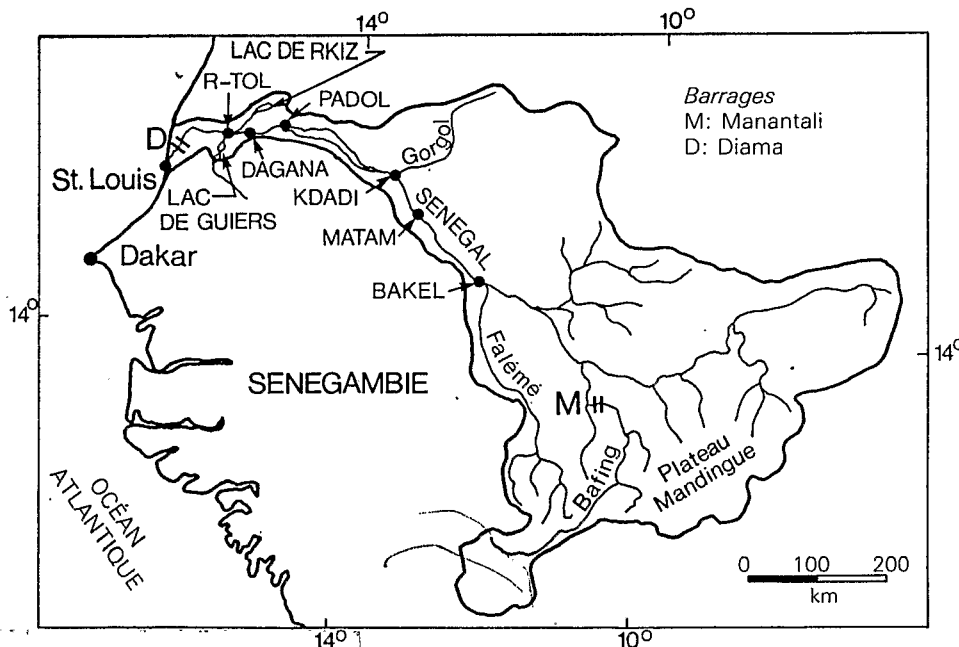


Figure 1

Bassin versant du fleuve Sénégal, situation géographique du lac de Guiers et emplacement des deux barrages



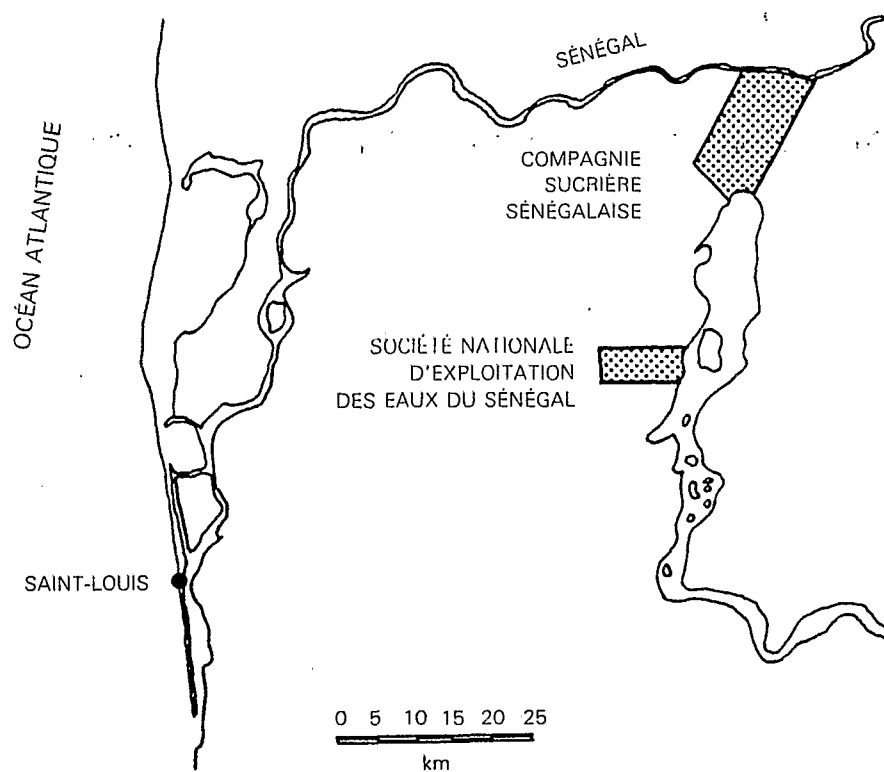


Figure 2
Carte du lac de Guiers et de la zone aval du bassin du fleuve Sénégal

la zone de décrue au fur et à mesure du retrait annuel des eaux. Leur importance alimentaire est capitale puisqu'elles compensent la chute de rendement des cultures nécessitant de la pluie, par suite du déficit pluviométrique de ces dernières années.

- La pêche dont la production annuelle a été estimée à 1600 tonnes (Cogels, 1984) a souffert des conditions hydrologiques extrêmes de ces dernières années. Elle demeure néanmoins la source protéique animale principale pour les riverains du lac mais aussi pour une partie des populations de la vallée du fleuve.
- Le lac profite également à l'élevage transhumant pratiqué par les pasteurs peuls, surtout en fin de saison sèche lorsque les pâturages de l'intérieur du pays sont épuisés.

Aperçu climatique de la région

Le lac de Guiers se situe en région sahé-lienne dont les principales caractéristiques climatiques sont deux saisons bien marquées: une longue saison sèche, une courte saison des pluies concentrant 92 p. 100 des précipitations sur trois mois (juillet à septembre); une pluviométrie moyenne annuelle de

l'ordre de 280 mm. mais très irrégulièrement répartie et à variations interannuelles très importantes; des températures élevées dont la moyenne annuelle est de 27,6 °C; une humidité relative moyenne annuelle de 60 p. 100 mais avec des extrêmes très écartés de 7 à 100 p. 100; une phase climatique aride qui prévaut depuis 1968.

Régime hydrologique du lac

L'année hydrologique se subdivise en deux grandes phases: (a) la phase de remplissage du lac, correspondant à la crue du fleuve Sénégal, soit en général de juillet à octobre; (b) la phase d'isolement le reste de l'année hydrologique; la baisse de niveau des eaux est alors liée pour l'essentiel à l'évaporation et aux divers prélèvements.

Le fonctionnement du système de ponts-barrages situés à proximité de l'embouchure de la Taoué dans le fleuve permet d'isoler le lac du cours d'eau lorsque le remplissage du réservoir a atteint son maximum. Il permet d'autre part à la CSS de prélever ses eaux d'irrigation dans le fleuve tant que la langue salée n'a pas atteint l'embouchure de la Taoué. Après quoi le canal est isolé du cours d'eau et le lac fournit à la CSS les eaux d'irrigation.

Le bilan hydrologique a été étudié pour

la période 1976-1982 et peut se résumer comme suit (Cogels *et al.* 1981, Cogels *et al.* 1985) (figure 3):

a) Au rang des apports

Les apports fluviaux: 81 p. 100 du total

- Les apports pluviométriques (12 p. 100) relativement négligeables (280 mm/an), répartis de juillet à octobre et caractérisés par de très importantes variations d'une année à l'autre.
- Les rejets dans le lac d'eau de drainage des champs de canne à sucre de la CSS (7 p. 100), drainage justifié par l'extrême salure des sols de la région. Quantitativement peu importants, ces rejets jouent par contre un rôle hydrochimique capital dans la qualité des eaux.

b) Au bilan des pertes

- Les pertes dues à l'évaporation s'élèvent à 79 p. 100. Cela représente une hauteur d'eau totale annuelle de 2,21 m. La répartition mensuelle des pertes dues à l'évaporation est indiquée ci-après et schématisée à la figure 4.

Évaporation du lac -
Moyenne de 1976 à 1982 (mm/d)

Janvier	4,45	Juillet	5,66
Février	5,26	Août	5,29
Mars	6,07	Septembre	5,39
Avril	7,68	Octobre	7,36
Mai	7,55	Novembre	6,02
Juin	7,52	Décembre	4,27

Les prélèvements divers et principalement ceux de la CSS (19 p. 100) et de la SONEES (2 p. 100).

- Les pertes par infiltration sont négligeables et ne sont pas prises en compte.

La figure 3 représente les termes moyens du bilan entrées-sorties. Leur importance quantitative par rapport au volume lacustre moyen annuel et la morphologie du lac lui-même (rapport surface-volume élevé) provoquent au cours d'une année hydrologique de très fortes variations de niveau, qui sont la cause d'une grande instabilité du milieu (figure 5).

D'autre part, ces dernières années, les crues fluviales peu importantes ont engendré de mauvais remplissages du plan d'eau, d'où les niveaux extrêmes enregistrés en fin de saison sèche.

Du point de vue strictement hydrologique, la mise en service des barrages de Diama et de Manantali sera donc bénéfique pour le lac de Guiers; puisque l'importance de son remplissage ne sera plus soumise aux aléas de la crue fluviale.

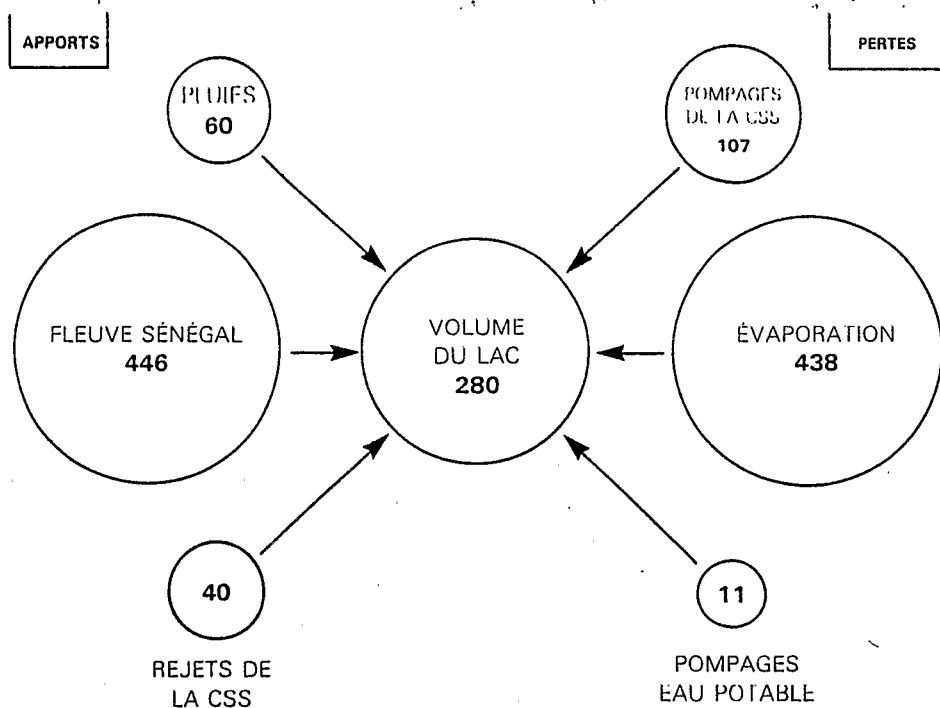


Figure 3
Moyenne 1976-1982 des apports et pertes du lac de Guiers (10^6 m^3)
(V_{lac} = volume moyen annuel du lac)

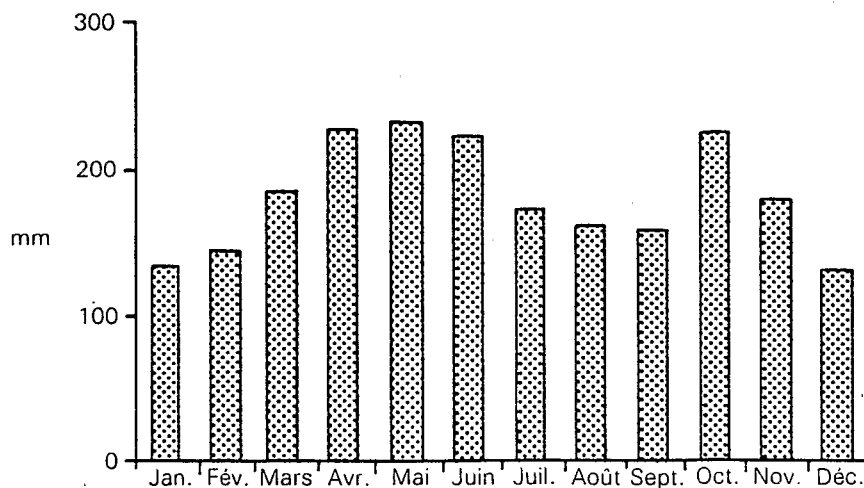


Figure 4
Lac de Guiers. Évaporation mensuelle moyenne (1976-1981), en millimètres

Qualité des eaux

Hydrochimie actuelle. – 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. La figure 6 montre l'évolution annuelle de la conductivité de l'eau du lac en début, milieu et fin d'année hydrologique (phase d'isolement) soit en octobre 1981, février 1982 et juin 1982

Globalement, le lac présente une conduc-

tivité nettement plus élevée dans sa partie sud que dans la région nord. Ceci s'explique par la nature des sols, beaucoup plus salés dans la moitié méridionale du lac. D'autre part, sous l'effet des pompages de la CSS en phase d'isolement, puis des apports fluviaux en période de remplissage, les eaux de l'extrémité sud du lac effectuent annuellement un aller-retour de et vers la région centre. Ces eaux très minéralisées se mélangent peu aux eaux plus douces du reste du plan d'eau. Elles constituent ainsi

une entité à part, évoluant quasi indépendamment.

Comme on peut le voir à la figure 6, il y a une augmentation continue de la conductivité d'octobre à juin, soit durant la phase d'isolement du lac. Cette augmentation est liée essentiellement au processus d'évaporation qui, en 10 mois, multiplie par 4 la teneur de l'eau en ions principaux.

La minéralisation globale moyenne annuelle de l'eau du Guiers est de l'ordre de 275 mg/l qui se répartissent comme suit :

Tableau 1

Teneur annuelle moyenne en substances minérales de l'eau du Guiers

Substance minérale	Teneur (mg/l)
Cl^-	66
SO_4^-	17
HCO_3^-	109
Ca^{++}	19
Mg^{++}	13
Na^+	43
K^+	6

Le pH moyen des eaux est de 7,2.

Les valeurs moyennes qui précèdent ne sont données qu'à titre indicatif puisque la minéralisation évolue dans de fortes proportions en fonction du volume lacustre. Ceci est schématisé à la figure 7. La présentation de ce graphique ne permet cependant pas d'apprécier toute la complexité des phénomènes géochimiques qui entrent en jeu : précipitation de la calcite, sulfato-réduction... cela a été développé précédemment (Cogels, 1984).

Modifications de la qualité des eaux.

La qualité moyenne des eaux du lac de Guiers a été étudiée mensuellement de 1979 à 1982, en se basant sur les données obtenues à 13 stations réparties sur le lac (Cogels *et al.*, 1983). Connaissant le volume du plan d'eau correspondant à chacune des séries d'analyses, il nous a alors été possible de calculer chaque fois la concentration moyenne des divers éléments dissous dans l'eau du lac.

Le cas des chlorures nous intéressera ici plus particulièrement puisqu'il s'agit d'un élément conservatif n'entrant pas dans les cycles biogéochimiques traditionnels. L'évolution des teneurs est sous l'unique dépendance de l'évaporation des eaux ou des facteurs externes comme les rejets.

La première étape de l'étude fut de corréler les teneurs moyennes du lac en chlorures, enregistrées de 1979 à 1982, avec

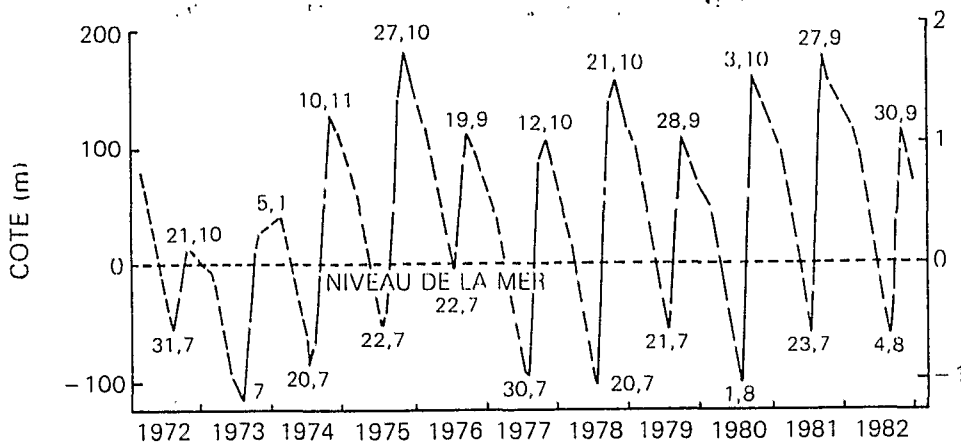


Figure 5
Évolutions saisonnières et annuelles de la cote du lac, de 1972 à 1982 (m)

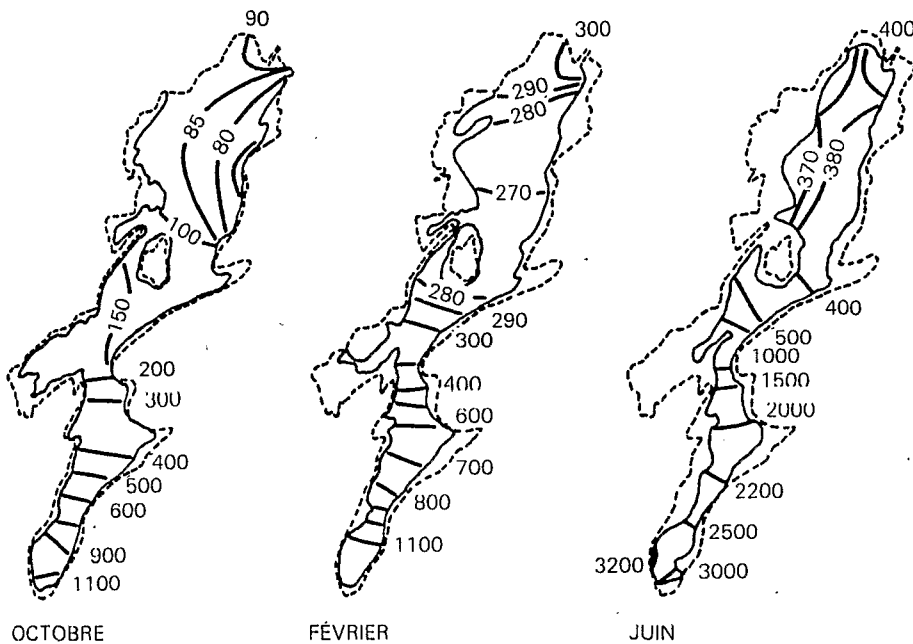


Figure 6
Évolution saisonnière des courbes d'isoconductivité (µmhos/cm) dans le lac (année 1981-1982)

celles mesurées en un seul point du lac et aux mêmes périodes, au laboratoire d'analyses des eaux de la SONEES à NGnith (figure 1), à mi-distance des deux extrémités du lac de Guiers. La relation entre les concentrations moyennes en Cl^- des eaux du lac et celles enregistrées simultanément à NGnith est linéaire et s'écrit :

$$C_{lac} = 14,6 + 0,92 C_{NGnith} \quad (C \text{ en mg/l})$$

L'excellent coefficient de corrélation ($r = 0,95$) indique la fiabilité de la relation.

Partant de cette relation et connaissant les teneurs en Cl^- mesurées à NGnith depuis 1975, il nous a alors été possible de tenter la reconstitution de l'évolution qualitative moyenne des eaux du lac. (fig. 8).

Les points représentatifs de cette évolution se disposent sur 3 droites regroupant les années 1975-1976, 1977-1978 et 1979-1982. On remarque, qu'à contenance égale, les teneurs en chlorures dans le lac n'ont cessé de croître depuis 1975. Cette salinisation progressive est à mettre en relation avec l'état de bassin évaporant quasi fermé du plan d'eau, mais aussi, avec les rejets, dans la région nord du lac, des eaux de drainage des sols salés où on cultive la canne à sucre.

STATUT FUTUR DU LAC

La mise en service des deux barrages sur le fleuve Sénégal aura de profondes répercussions sur le lac de Guiers.

a) Le régime hydrologique du lac sera modifié :

- Le barrage de Diama créera en amont un réservoir d'eau disponible pour l'irrigation et qui s'étendra bien au-delà de l'embouchure de la Taoué dans le fleuve.
- Le barrage de Manantali régularisera les débits fluviaux toute l'année à $150 \text{ m}^3/\text{s}$ à hauteur de la confluence du fleuve et du lac.

Grâce à l'important volume d'eau disponible continuellement dans la réserve de Diama, et au jeu des deux ponts-barrages sur la Taoué, le régime hydrologique du lac pourra alors être entièrement contrôlé et non plus comme aujourd'hui soumis aux aléas de la crue fluviale.

b) L'évolution future de la qualité des eaux dépendra essentiellement du maintien ou non de la station de rejets des eaux de drainage des champs de canne à sucre dans la région nord du lac. Actuellement le bilan entrées-sorties de Cl^- dans le lac est quasi équilibré, comme le montre la figure 9. La CSS tient cependant le rôle prépondérant dans ce bilan puisque 88 p.100 des apports et 70 p.100 des pertes de l'élément sont liés à ses activités. Après la mise en service du barrage de Diama, la CSS ne devra plus assurer tout ou partie de ses pompages à partir des eaux du lac, puisque les eaux fluviales seront douces toute l'année. Le rôle des prélèvements d'eau par la compagnie sucrière, en tant que frein à la salinisation progressive du lac, ne sera donc plus effectif. Diverses hypothèses d'évolution qualitative des eaux ont été envisagées en fonction du plan de gestion quantitatif qui pourrait être adapté (Cogels, 1984). Toutes conduisent à une rapide minéralisation de l'eau et à un seuil intolérable d'ici une dizaine d'années, si le rejet des eaux de drainage ne se fait pas ailleurs que dans le lac.

c) L'aspect hydrobiologique sera le troisième point pris en compte dans l'évaluation des effets futurs des aménagements. La végétation aquatique lacustre, et principalement les Typhaies (*Typha australis*), connaît actuellement une importante régression liée très probablement aux variations extrêmes de niveau des eaux au cours d'une année hydrologique.

Par contre, après la mise en service des deux ouvrages hydrauliques du vallou du fleuve, le lac pourra être rempli à volonté, plusieurs fois en cours d'année si nécessaire. Les variations de niveau pourraient donc être bien moindres qu'aujourd'hui avec pour conséquence le surdéveloppement des macrophytes aquatiques. Les effets néfas-

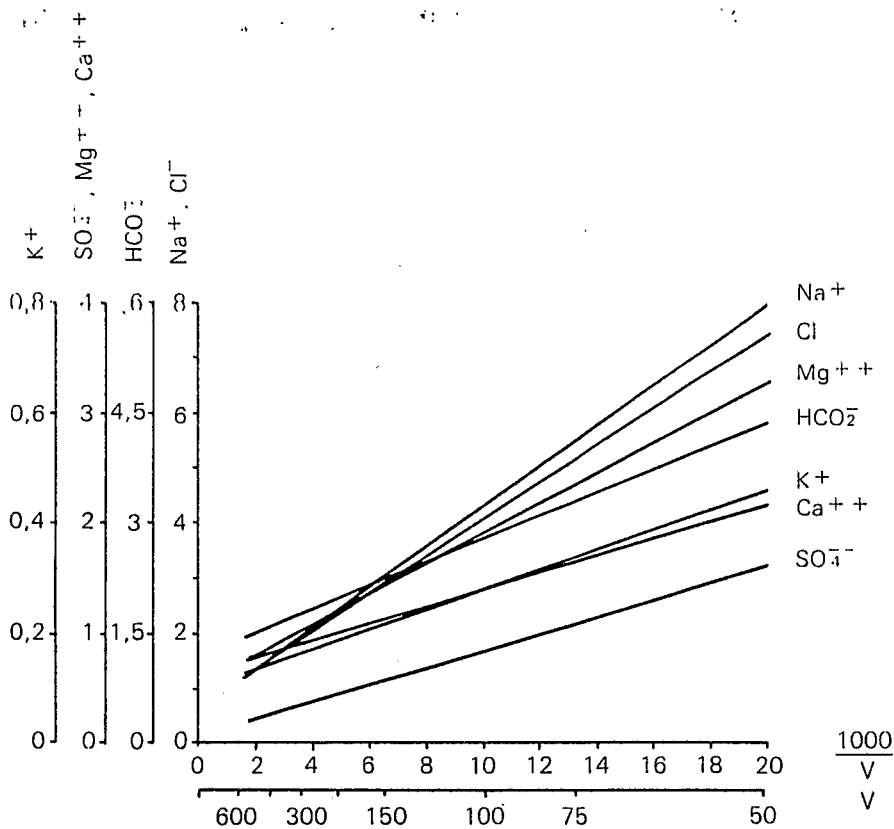


Figure 7

Évolution de la qualité chimique des eaux (mg/l) en fonction du volume du lac (V en 10^6 m³) et du rapport $(\frac{1000}{V})$

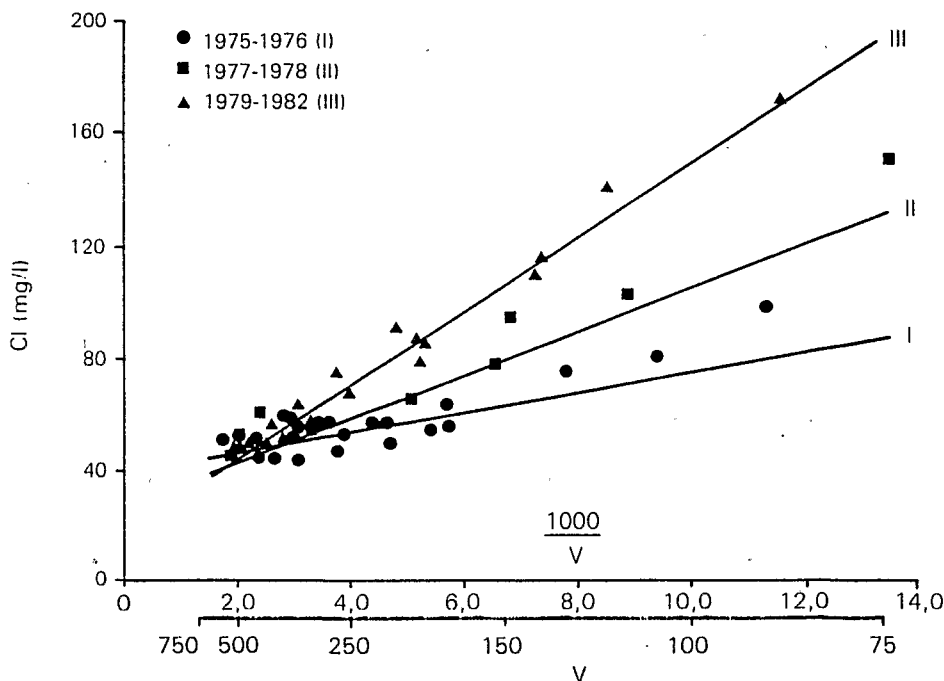


Figure 8

Relation entre la concentration moyenne des eaux lacustres en chlorures (mg/l) et le volume du plan d'eau (V en 10^6 m³) et le rapport $(\frac{1000}{V})$ à différentes époques

tes de cette expansion végétale sont nombreux. Nous citerons entre autres :

- le surdéveloppement de la faune malacologique et principalement celui des hôtes intermédiaires de la schistosomiase, présents actuellement mais en faible densité;
- la prolifération des vecteurs de maladies telles que le paludisme;
- la trop forte expansion de la faune ornithologique et principalement de celle des "mange-mil" (*Quelea quelea*).

Cette situation prospective prévalait en fait il y a une trentaine d'années; à cette époque les débits fluviaux nettement plus importants qu'aujourd'hui et mieux répartis dans le temps et l'absence de prélèvements d'eau avaient pour effet une stabilisation beaucoup plus grande du niveau lacustre en cours d'année.

La faune piscicole du lac de Guiers pourra par contre bénéficier des aménagements fluviaux puisqu'ils devraient permettre d'éviter d'atteindre, en fin de saison sèche, des niveaux extrêmes tels que ceux connus ces dernières années et dont les effets sur l'ichtyomasse ont été désastreux.

PROPOSITION DE GESTION DES EAUX

La future stratégie de gestion quantitative des eaux du lac de Guiers, après la mise en service du barrage de Diama, devrait pouvoir concilier les divers intérêts en jeu tout en essayant de réduire au maximum les effets néfastes de ces aménagements. Cela a été étudié précédemment (Cogels, 1985); nous en résumerons ici les principales conclusions.

La gestion quantitative du lac doit suivre deux grands principes : (a) Le maintien de variations du niveau des eaux entre octobre et juillet soit en dehors de la période de remplissage. Ces variations sont indispensables aux cultures de décrue traditionnelles et permettent la limitation de la végétation aquatique et de ses effets directs et indirects néfastes. (b) Le non dépassement d'un niveau limite inférieur en fin de saison sèche; ce non dépassement est indispensable aux cultures irriguées : seuil limite des pompages, à la production d'eau potable: seuil limite des pompages et problèmes d'accès à la station de NGnith d'eaux méridionales hypominéralisées en cas du dépassement d'un niveau du lac à préciser, et à la faune piscicole.

Les arguments précédents plaident donc en faveur du maintien d'une importante variation annuelle du niveau des eaux du lac, tout en évitant de franchir, en fin de saison

Selon état original

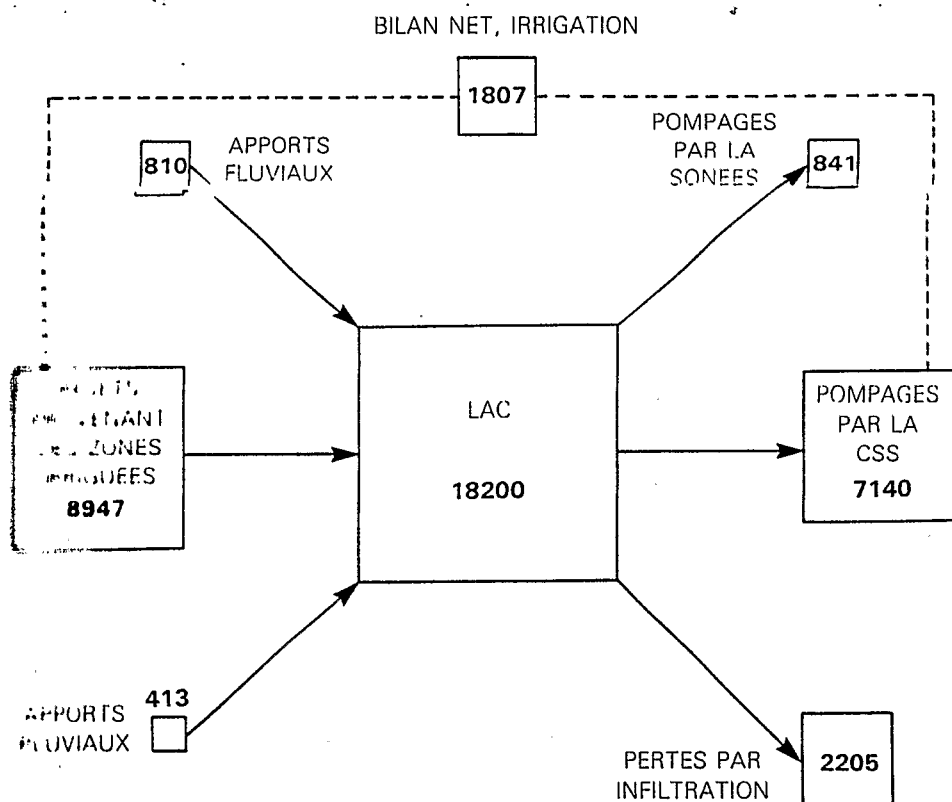


Figure 9
Équilibre moyen annuel (1979-1982) des chlorures dans le lac (tonnes)

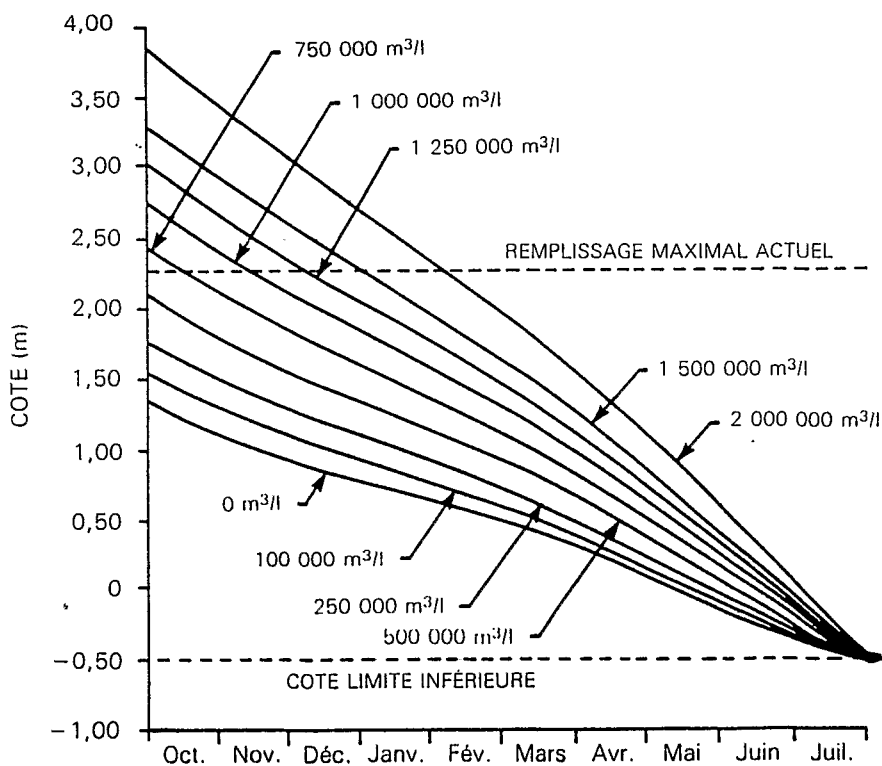


Figure 10
Courbes d'évolution de la cote du lac en cours d'année en fonction des diverses alternatives de prélèvements d'eau

sèche, une limite inférieure qui a été calculée à la cote $-0,50$ m. Le modèle mis au point permet, comme le montre la figure 10, de calculer avec précision la cote du lac à atteindre en fin de phase de remplissage, soit au 1^{er} octobre, permettant, compte tenu des besoins en eau à prévoir, de ne pas dépasser la cote de $-0,50$ m au 31 juillet de l'année suivante. Le modèle inclut les calculs de la surface et du volume du plan d'eau en fonction de la cote, les prélèvements divers, les rejets éventuels dans le lac et l'évaporation quotidienne moyenne calculée sur une moyenne de 6 ans. La pluviométrie peut être prise en compte si nécessaire.

CONCLUSIONS

La gestion d'un milieu aquatique doit obligatoirement se baser sur la connaissance des divers éléments abiotiques, biotiques et humains qui le composent et sur la compréhension de leurs interactions souvent complexes. Le travail présenté ici n'est qu'un bref compte rendu d'une vaste étude menée durant 4 ans, et qui avait pour but de connaître de façon approximative la situation au lac de Guiers. Ce dernier se caractérise, comme la plupart des lacs africains peu profonds, par une grande instabilité tant hydrologique qu'hydrochimique. Cette instabilité a des effets néfastes sur la plupart des éléments biologiques et humains. Les aménagements de la vallée du fleuve Sénégal doivent justement atténuer ces effets par une plus grande maîtrise hydrologique du plan d'eau. Cela, moyennant une gestion rationnelle du lac, devrait offrir de vastes possibilités de pluriutilisation du milieu. C'est ce à quoi nous avons voulu contribuer.

RÉFÉRENCES

- Cogels, F.-X. et J.-Y. Gac (1981). "Le lac de Guiers : fonctionnement, bilans hydriques. Évaporation d'une nappe d'eau libre en zone sahélienne (Sénégal)" *Cah. ORSTOM*, sér. Géol., vol. XII, n° 1, pp. 41-60.
- Cogels, F.-X. et J.-Y. Gac (1983). "La chlorinité des eaux du lac de Guiers : bilan quantitatif, qualitatif et perspectives futures" *Rapport ORSTOM - DAKAR*, 16 pages.
- Cogels, F.-X. (1984). "Étude limnologique d'un lac sahélien : le lac de Guiers (Sénégal)" Thèse doctorale, Fondation Universitaire Luxembourgeoise, Arlon, Belgique, 329 pages.
- Cogels, F.-X. et J.-Y. Gac (1985) "Aménagements et évolution hydrochimique du lac de Guiers depuis 1916" (sous presse).
- Cogels, F.-X. (1985) "Modèle de gestion des eaux d'un lac sahélien : le lac de Guiers (Sénégal)", dans *Vth Congress on Water Resources - Brussels, June 1985*, p. 441-450.
- Rochette, C. (1974) "Le bassin du fleuve Sénégal", *Monographie Hydrologique ORSTOM*, 1, 325 pages.