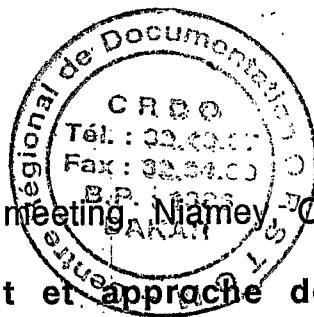


091517



CRDO - DAKAR
date 03/04/94
n° 11495 cote 11495

UICN - Sahelian floodplain meeting Niamey October 1994



Modifications de l'environnement et approche de la problématique de gestion d'un lac sahélien dans le bassin du Sénégal

F-X COGELS et J-Y GAC, ORSTOM, BP 1386, DAKAR, SENEGAL

Long de 50 km et large de 7 km au maximum, le lac de Guiers (14°09' lat N-16°08' long W) est alimenté à son extrémité nord par le fleuve Sénégal via un canal. Une digue isole son extrémité sud de la vallée du Ferlo dont il constituait à l'origine la partie aval. Avec une profondeur moyenne de 2 m on le classe comme "lac plat" comme le sont d'ailleurs la plupart des lacs sahéliens (fig.1). Depuis le début du siècle, le lac de Guiers a fait l'objet de nombreux aménagements qui ont amélioré ses capacités de remplissage et de stockage.

- Avant 1985, ce réservoir d'eau douce conditionnait la survie de cette région sahélienne à fort déficit pluviométrique. En effet, l'eau du fleuve était salée une partie de l'année à cause de remontées marines annuelles favorisées par les faibles débits d'étiage et une pente quasi nulle du cours d'eau. Les eaux du Guiers étaient destinées à la culture irriguée et aux exploitations traditionnelles sur les terres de décrue exondées au retrait des eaux. Elles étaient aussi utilisées pour la production d'eau potable pour les centres urbains et l'approvisionnement des populations et troupeaux de la région.

- Depuis 1986, les conditions de l'environnement fluvial ont changé avec la mise en service de 2 barrages. Le barrage de Diama opérationnel fin 1985 est situé à 50 km de l'embouchure du fleuve dans l'océan. Sa première fonction est d'empêcher la remontée salée marine dans le cours d'eau. 1100 km en amont, à Manantali au Mali, un second barrage aménagé en 1989 régularise les débits du fleuve issus du bassin amont pour permettre la mise en valeur de 250 000 ha de cultures irriguées dans la vallée et la production hydroélectrique.

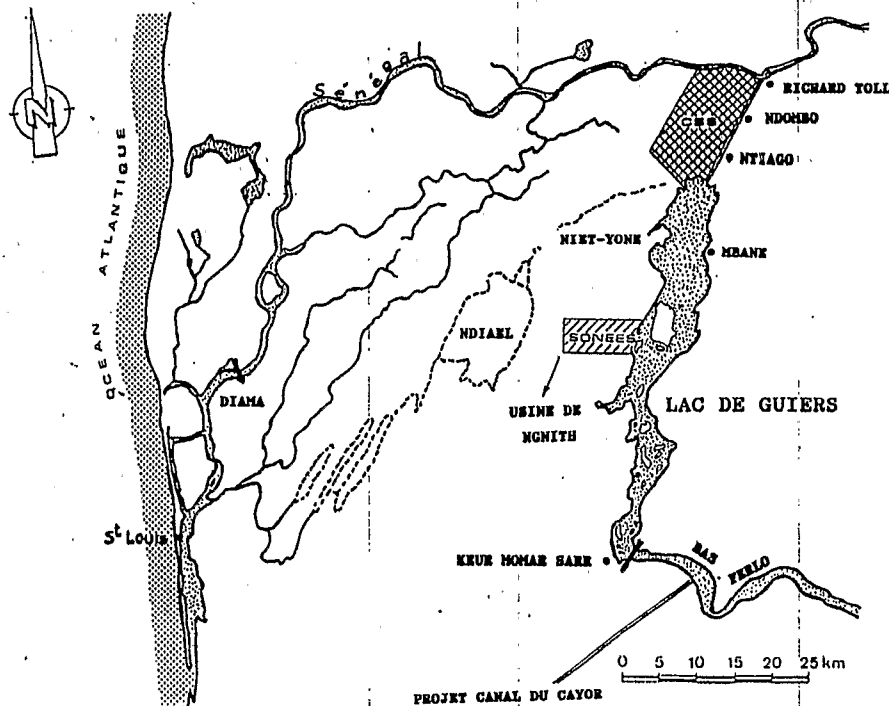


Fig. 1 : Carte de situation du Delta du fleuve Sénégal et du lac de Guiers

Cette communication dresse le bilan des effets des aménagements du fleuve sur le lac de Guiers, 8 ans après les premières modifications de l'environnement. Les changements hydrologiques et de qualité des eaux sont présentés avec leurs implications directes et indirectes pour les populations riveraines.



Fonds Documentaire ORSTOM
Cote : B * 16940 Ex : unique

Les relations fleuve-lac et les changements hydrologiques récents

Les termes du bilan hydrologique

L'hydrologie du Guiers est régulée par 7 paramètres hydrologiques principaux :

- les apports du fleuve via un canal de jonction équipé de vannes
- les apports pluviométriques très irréguliers (200-250 mm/an) de juillet à octobre
- les rejets des eaux de drainage des cultures irriguées sur sols salés autour du lac
- les pompages pour l'irrigation
- les pompages pour la production d'eau potable
- les lâchers périodiques à partir de la digue sud et destinés à l'alimentation de la vallée du Ferlo
- l'évaporation (2.25 m/an)

Les échanges nappes-lac n'ont jamais pu être quantifiés. Les quelques études effectuées les estiment très faibles ou du moins à bilan équilibré. (X)

Modifications du régime hydrologique

- Avant 1985 et la mise en service du barrage de Diama, le lac n'était rempli qu'une fois l'an en période de crue fluviale, soit entre août et octobre. Le niveau maximum dans le lac dépendait du volume d'eau stocké au départ dans le réservoir mais surtout de la durée et de l'importance quantitative de la crue fluviale. Des remplissages le plus souvent insuffisants, les pompages très importants destinés à la culture irriguée et l'intense évaporation étaient les causes principales de niveaux extrêmes inférieurs proches de l'assèchement complet du lac comme en 1980 et 1983 (fig. 2). Le niveau moyen annuel n'était que de 0.37 m. L'hydrologie du Guiers se caractérisait aussi par une grande instabilité limnimétrique en cours d'année avec une variation moyenne annuelle de 2.13 m et des écarts plus importants certaines années (2.67 m en 1978). A cause de la morphologie "lac plat" du Guiers, ces fortes variations de niveau induisaient la mise à sec annuelle d'une frange très importante de rivage.

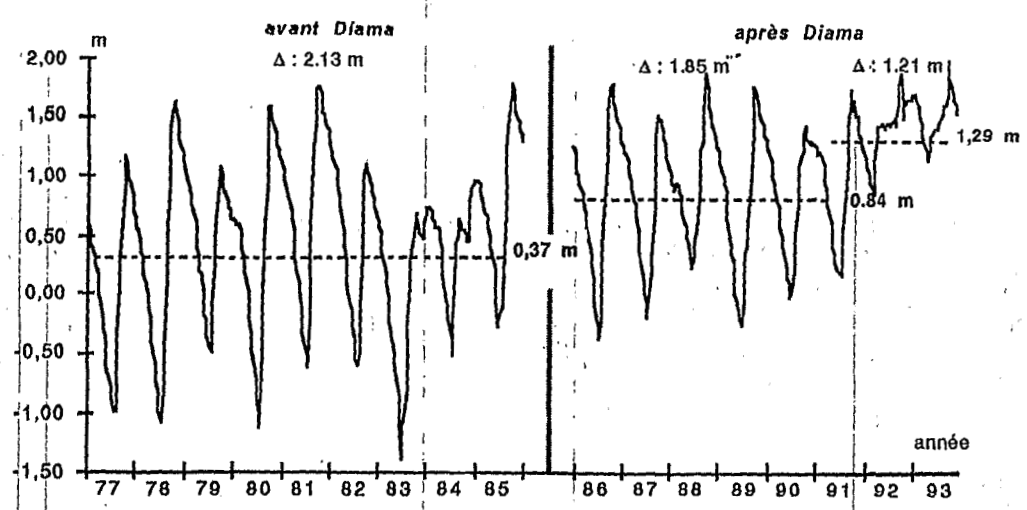


Fig. 2 : Variations limnimétriques du lac de Guiers de 1977 à 1993 (m) - A noter que le fond du lac se situe sous le niveau de la mer.

- Depuis fin 1985 la mise en service du barrage de Diama fournit de l'eau douce en permanence à hauteur de la jonction fleuve-lac, les effets du barrage étant sensibles loin en amont à cause du faible relief de la région. A partir de 1991, le fonctionnement du barrage de Manantali en régime de croisière et la régulation hydrique du fleuve (partielle) ont encore amélioré les

conditions hydrologiques dans la basse vallée et la région du Delta. Aujourd'hui on y dispose d'eau douce à un niveau suffisamment élevé et constant pour remplir le lac à plusieurs reprises en cours d'année si nécessaire.

- De 1986 à 1990 seul le barrage de Diama est fonctionnel. Le lac est rempli à des niveaux supérieurs à ceux de la période antérieure. A cette époque, le remplissage n'est effectué qu'une seule fois par an en période de crue du fleuve comme précédemment. Le niveau moyen annuel est alors de 0.84 m. D'autre part, l'eau du fleuve à l'amont du barrage étant douce et disponible toute l'année pour les cultures irriguées, le lac est moins sollicité et les variations de hauteur d'eau en dehors de la phase de remplissage sont moindres qu'auparavant. La moyenne annuelle de ces variations n'est plus que de 1.85 m et le niveau minimal est rarement inférieur à la cote 0.00 m IGN.

- A partir de 1991, la régulation partielle des débits fluviaux au barrage de Manantali rend la situation hydrologique du lac de Guiers encore plus favorable. Les lâchers réguliers depuis l'amont permettent plusieurs remplissages en cours d'année. Le niveau moyen annuel atteint 1.29 m et la variation de hauteur d'eau 1.21 m seulement. Cette période 1991-1993 préfigure sans doute la situation des années futures si la pluviométrie du bassin versant à l'amont et le stockage dans le réservoir de Manantali le permettent. Grâce à la disponibilité constante d'eau à niveau élevé dans le fleuve et aussi par facilité, la gestion des vannes de la jonction fleuve-lac est réduite à sa plus simple expression, la hauteur d'eau dans le lac évoluant la plupart du temps en fonction du régime limnimétrique fluvial très stabilisé.

Conséquences des changements hydrologiques

L'approvisionnement régulier du lac de Guiers a amélioré les conditions de vie de ses populations riveraines jusqu'alors entièrement dépendantes de l'importance des crues fluviales et soumises aux priorités de fourniture d'eau à l'agro-industrie. Les années 1981 et 1983 furent particulièrement difficiles.

Depuis 1986, la disponibilité de l'eau et la stabilisation du niveau du lac ont eu des effets directs et indirects sur l'environnement, biologique, socio-économique et sanitaire de la région.

- La disponibilité d'eau a favorisé le développement rapide d'initiatives privées. La culture irriguée individuelle a remplacé rapidement les cultures de décrue traditionnelles, devenues d'ailleurs impossibles à cause des niveaux du lac trop stables qui limitent l'exondation de zones de culture suffisantes. De plus, depuis 1991, la succession de courtes phases de crue et de décrue durant l'année, sans relations avec les saisons de culture, a rendu impossible l'utilisation des terres d'inondation. Au départ vivrières et variées, les cultures villageoises se sont spécialisées dans la production de riz et de tomate. Les insuffisances techniques, le manque de formation des exploitants, des problèmes d'écoulement des produits agricoles et une capacité d'investissement très réduite ont conduit souvent à l'endettement de l'exploitant dès la première année puis à une rapide faillite. D'autre part, à cause d'un déficit d'irrigation lié à un manque de moyens financiers, la salinisation des sols des petites exploitations a été rapide et les terres abandonnées. Des déboires de tous ordres sont apparus rapidement. Ils mettent en évidence un déphasage important entre les plans de développement régionaux et les bénéfices qu'en tirent les populations rurales mal préparées à ces changements. Seuls quelques gros exploitants ont réussi à atteindre un seuil de rentabilité suffisant.

- Avant 1986, la mise à sec annuelle d'une importante frange de rivage limitait le développement de la végétation aquatique. Aujourd'hui les conditions hydrologiques sont devenues favorables et toute la zone peu profonde du sud du lac est en phase d'envahissement végétal accéléré.

Typha australis et *Pistia stratiotes* sont les 2 espèces qui ont le plus profité de la stabilisation du niveau du lac depuis 1991. A cet effet s'est additionné celui des modifications de salinité des eaux

décrites plus loin et qui ont favorisé aussi l'expansion végétale. *Typha australis* a toujours été présent au lac. L'espèce affectionne les eaux peu profondes (1 m) et de niveau stable. Sa prolifération a déjà été signalée dans les années 1955 où les conditions hydrologiques et de salinité des eaux étaient semblables à ce qu'elles sont aujourd'hui. Par contre, une suite d'année à étiages très sévères comme de 1978 à 1983 ont provoqué sa régression puis sa disparition presque complète de la région sud en 1983. Depuis, la régénération a été très rapide et le recouvrement de la région méridionale est maintenant en bonne voie.

Jusqu'en 1990, *Pistia stratiotes* était représenté par quelques groupements isolés. A partir de 1991 l'espèce s'est développée surtout dans la région sud du lac et à cadence accélérée au point de former en 1993 un bouchon végétal de plusieurs centaines d'hectares. La faible exondation annuelle des rives ne limite plus la population végétale dont une grande part était jusqu'alors asséchée et détruite annuellement.

Les modifications de la qualité des eaux

Les changements hydrologiques dans le fleuve et le lac ont induit des changements directs et indirects de la qualité des eaux.

Méthodologie de l'étude

Le suivi de la salinité des eaux de 1977 à 1993 est basé sur les analyses quotidiennes du laboratoire de l'usine de production d'eau potable située en rive Ouest du lac à mi-distance de ses 2 extrémités. Une corrélation fiable entre la salinité mesurée à cette station de référence et la salinité moyenne du Guiers a été établie. Elle est basée sur 60 séries complètes d'échantillonnages effectuées de 1979 à 1982 et de 1989 à 1992 sur 13 stations réparties sur le lac. Son application permet le suivi quotidien de la salinité moyenne des eaux.

Résultats

La fig. 3 indique la salinité moyenne annuelle du lac depuis 1977 et ses valeurs maximales et minimales.

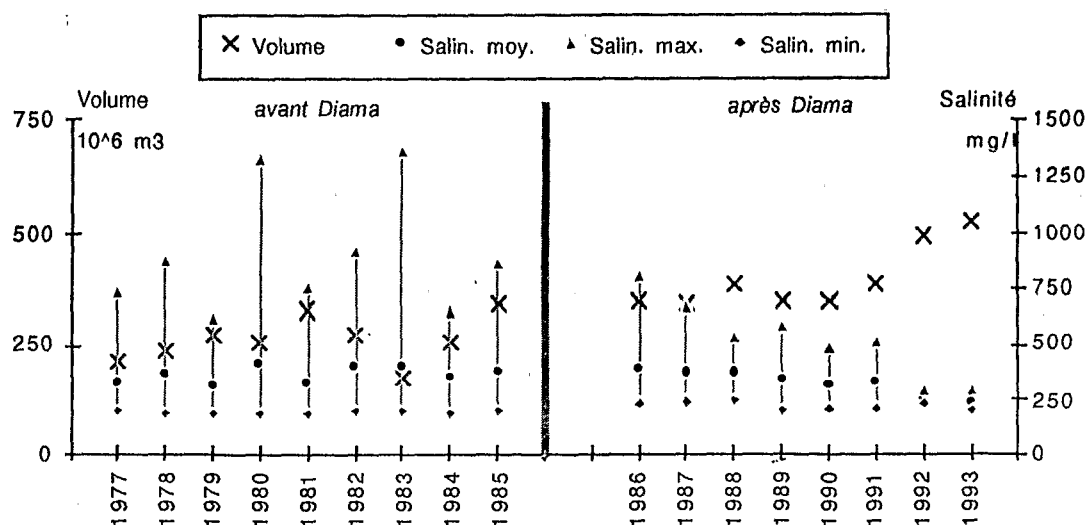


Fig. 3 : Volume moyen et salinité moyenne annuels du Guiers et leurs valeurs maximales et minimales de 1977 à 1993.

La salinité des eaux a peu varié de 1977 à 1991 (360 mg/l) puis diminue sensiblement depuis 1992 (240 mg/l). Les variations annuelles de salinité moyenne étaient de l'ordre d'un facteur 3.6 avant 1986 avec des extrêmes de 6.0 environ en 1980 et 1983. La corrélation entre les variations de la salinité en cours d'année et le volume moyen annuel du lac est très bonne. Cette relation n'est pas directe mais traduit les effets de l'évaporation sur la minéralisation des eaux, effets d'autant plus marqués que le volume du lac est faible.

Les faibles écarts annuels de salinité mesurés en 1992 et 1993 sont dus à l'apport quasi permanent d'eau douce du fleuve durant ces deux années. Le mode de gestion hydrologique du lac influence donc directement l'évolution qualitative de ses eaux.

La salinité dans le lac n'est pas homogène. Un gradient croissant Nord-Sud est bien marqué et plus ou moins accentué en fonction des conditions hydrologiques de l'année. Entre les 2 extrémités du plan d'eau, la salinité variait d'un facteur 5 avant 1985 pour un facteur de 3 aujourd'hui et la différence s'amenuise encore.

Avant 1986, dans les mares temporaires de la région sud isolées à l'étiage; l'évaporation intense provoquait une minéralisation des eaux qui pouvait atteindre jusqu'à 10 g/l. Avec leur surchauffe jusqu'à 40°C et plus, on imagine les effets négatifs de ces conditions extrêmes sur la faune et la flore aquatiques.

Conséquences des changements qualitatifs

Du point de vue de la qualité des eaux, les conditions de vie des populations riveraines de la région sud du lac ont été améliorées. Avant 1986, la qualité de l'eau en fin de saison d'étiage se détériorait au point que les pasteurs n'y laissaient plus boire les troupeaux. L'eau des puits et des forages étant salée, l'approvisionnement en eau potable posait alors d'insolubles problèmes avec de graves conséquences sur la santé des populations.

L'amélioration des conditions qualitatives des eaux a aussi accéléré le développement de la végétation aquatique comme *Pistia stratiotes*, déjà favorisé par la stabilisation du niveau des eaux. L'espèce tolère mal les eaux de minéralisation supérieure à 1500 mg/l, ce qui était souvent le cas avant 1986, particulièrement en région sud. Avec une minéralisation ne dépassant plus 750 mg/l aujourd'hui, les conditions sont devenues optimales.

Ceratophyllum demersum est une herbe aquatique qui se développe rapidement dans la partie Nord du Guiers surtout dans les zones profondes et jamais exondées. L'espèce a aussi envahi les canaux d'irrigation des exploitations agricoles et posent de gros problèmes. Les résidus d'herbicides employés à forte dose pour leur élimination aboutissent au lac via les eaux de drainage des cultures. Cette espèce caractérise habituellement les milieux eutrophes.

L'apparition de la bilharziose intestinale en 1988 est l'une des conséquences négatives des nouvelles conditions de milieu engendrées par la mise en service du barrage de Diama. La suppression de la remontée marine annuelle dans le cours du fleuve a permis des conditions idéales pour le développement de la faune malacologique des vecteurs. La ville de Richard Toll, située à la jonction du fleuve et du canal d'alimentation vers le lac, compte près de 60 % de bilharziens. L'épidémie s'est donc développée de manière fulgurante. Les premiers cas ont été signalés autour du lac en 1991. Là aussi l'épidémie progresse très vite puisque les dernières enquêtes indiquent une prévalence de 80% dans les villages riverains de sa région centrale.

Modèle de gestion

Un modèle de gestion globale des eaux, intégrant les aspects quantitatifs et qualitatifs a été mis au point à l'ORSTOM. Ce modèle a pour but d'une part de quantifier l'effet respectif de chacun des paramètres entrées-sorties sur la salinité des eaux et d'autre part de calculer l'évolution de la salinité moyenne du lac sur la base du bilan quotidien des entrées-sorties d'eau.

Sur le plan hydrologique, le modèle est basé sur

- l'évolution quotidienne des hauteurs d'eau
- les relations entre hauteur d'eau, surfaces et volumes du lac
- les débits pompés pour l'irrigation et la production d'eau potable
- l'évaporation quotidienne moyenne calculée sur la période 1976-1993
- les apports des pluies calculés sur la base des hauteurs pluviométriques, de la surface du lac au jour correspondant et du coefficient de ruissellement

Le modèle calcule le volume quotidien des apports fluviaux et des lâchers destinés à la réalimentation de la vallée du Ferlo

Sur le plan qualitatif, le modèle est basé sur :

- la salinité des apports fluviaux et pluviométriques et celle des rejets sur la base des mesures de terrain
 - la salinité des pompages destinés à la production d'eau potable et aux lâchers vers le Ferlo.
- Deux sous-modèles ont été établis sur la base de corrélations entre la salinité moyenne du lac et celle mesurée à ces 2 prises d'eau.

Le modèle se présente sous la forme d'un tableur EXCEL, travaille à pas de temps quotidien et, dans sa configuration actuelle permet de calculer l'évolution qualitative des eaux sur une période de 4 années maximum.

Il permet d'expliquer et de quantifier l'impact respectif des divers paramètres du bilan et de prévoir l'évolution qualitative future des eaux du lac, dans le contexte des aménagements hydrauliques et hydroagricoles très importants de la région. C'est d'ailleurs la raison essentielle de sa mise au point.

Tirée de l'application du modèle pour la période 1990-1993, la fig. 4 présente le bilan quantitatif des entrées-sorties d'eau et de sels dissous durant cette période.

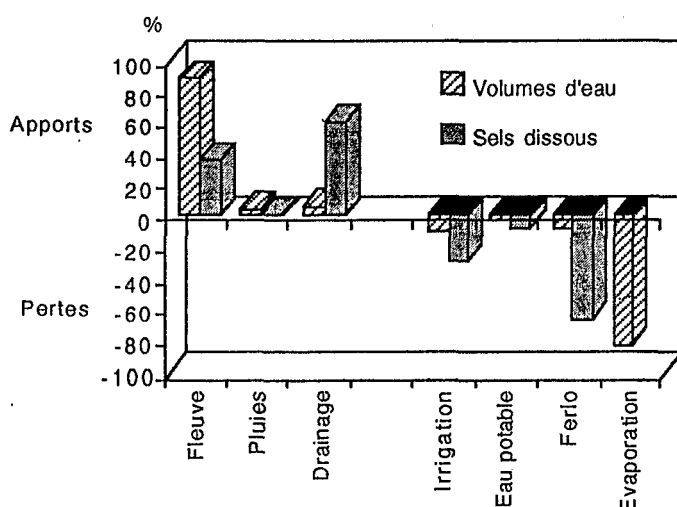


Fig. 4 : Bilan quantitatif annuel moyen des entrées et sorties d'eau du lac de 1990 à 1993

Les apports du fleuve constituent en moyenne 90 % des entrées annuelles d'eau, la pluviométrie 5% et les rejets des eaux de drainage quelques 6% seulement. L'évaporation constitue à elle seule 82% des pertes en eau soit en moyenne une hauteur d'eau évaporée annuellement de 2.25 m.

De son côté, l'évolution du stock des sels dissous est régulée pour l'essentiel par les rejets des eaux de drainage dans le nord du lac (62 % des apports) et par les pertes à son extrémité sud, liées aux lâchers vers la vallée du Ferlo (65 % des pertes). La salinité des eaux plus élevée dans la région sud du lac explique leur effet sur la qualité moyenne du lac.

Apports par les eaux de drainage et pertes vers le Ferlo totalisent chacun en moyenne annuelle 35 000 tonnes de sels dissous. Sachant que le stock moyen du lac est de 11'000 tonnes, on saisit mieux les effets qualitatifs directs d'un changement dans la gestion de l'ensemble. Limiter les lâchers vers le Ferlo pourrait doubler la salinité du lac en 4 ou 5 ans. L'intégration de la gestion quantitative des eaux et de leur gestion qualitative est ici pleinement justifiée.

Le modèle indique aussi que le stock de sels dissous dans le lac a augmenté de quelques 12 % entre le 1/1/1990 et le 31/12/1993. Or la salinité moyenne du lac a diminué durant cette même période régressant de 325 à 230 mg/l environ, soit de quelques 30 %. C'est donc le seul effet de la dilution de ses eaux par les eaux fluviales très douces (30 mg/l) qui a permis cette diminution de salinité. Les aspects quantitatifs et qualitatifs sont ici encore étroitement intégrés.

La fig. 5 montre l'autre utilité du modèle pour la prévision de l'évolution qualitative des eaux et qui permet d'évaluer directement l'impact des différentes options de gestion quantitative de ses eaux : gestion des apports fluviaux ou des lâchers, réduction des rejets des eaux de drainage, gestion limnimétrique précise en cours d'année et délimitation fine des périodes de remplissages.

La simulation présentée couvre une période de 4 ans du 1/1/1990 au 31/12/1993.

Les données de base fournies au modèle sont celles indiquées plus haut. Le stock de sels dissous au 1/1/1990 est aussi fourni comme donnée de départ.

Les mesures sont celles effectuées quotidiennement sur une station en rive Ouest du lac. Des corrélations existent qui permettent d'en calculer la salinité moyenne du lac

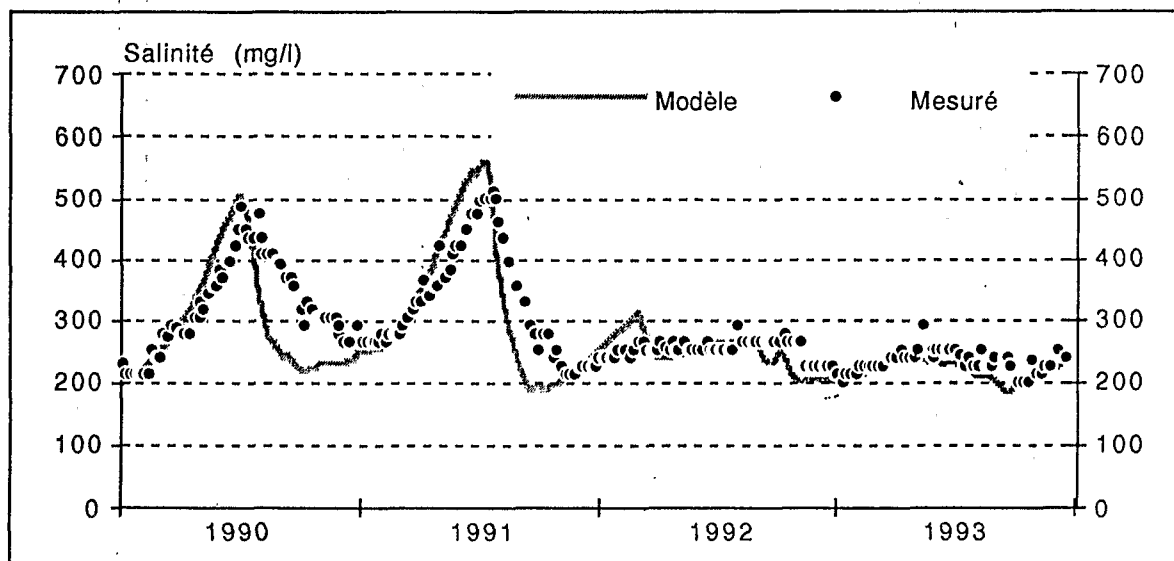


Fig. 5 : Evolution calculée et mesurée de la salinité des eaux du Guiers de 1990 à 1993

Au vu de la bonne correspondance entre salinités calculées et mesurées, le modèle reflète correctement l'évolution qualitative du lac.

- en 1990 et 1991, on distingue bien les 2 phases de l'année hydrologique avec la progressive minéralisation des eaux durant les 9 mois de la fermeture de la jonction fleuve-lac. La phase de remplissage de 3 mois qui fait suite provoque la dissolution des eaux et la baisse de salinité. Durant les phases de remplissage 1990 et 1991, on remarque un décalage net entre la

salinité observée et celle calculée par le modèle. Ce décalage est lié au délai nécessaire à l'homogénéisation des eaux du lac alors que le modèle la considère comme instantanée.

- en 1992 et 1993, la jonction fleuve-lac était quasi permanente et le cycle de minéralisation annuelle des solutions est quasi insignifiant.

L'utilité du modèle semble donc vérifiée et ses applications sont dès lors multiples.

Enfin, le modèle de gestion intégrée des eaux se double d'un autre modèle strictement quantitatif destiné à évaluer l'évolution de la hauteur d'eau quotidienne du lac sur la base des débits des divers paramètres entrées-sorties. Ce modèle mis au point à l'ORSTOM en 1991 permet aussi de quantifier les apports fluviaux nécessaires en cours d'année pour assurer au lac une évolution imposée de son niveau.

Discussion et critères de gestion

Huit ans après la mise en service du premier des deux barrages du fleuve Sénégal, il est utile d'essayer de tirer un bilan des effets de ces aménagements hydrauliques.

La disponibilité de l'eau est le premier des critères retenu par les populations riveraines du fleuve et du lac qui ont pu précédemment souffrir de son manque chronique. La prolifération de la bilharziose dans la région en est l'effet négatif le plus évident.

La rentabilité des investissements consentis pour ces aménagements peut s'évaluer par la relation entre les volumes d'eau fluviale annuellement transférés au Guiers et leur utilisation effective dans le lac pour l'irrigation et la production d'eau potable. Ce taux d'utilisation est très faible aujourd'hui, de l'ordre de 15 à 18 % même si on y inclut le lâchers vers la vallée du Ferlo dont l'utilité jusqu'à présent est contestable. Un problème fondamental de gestion est ici encore mis en évidence. Un développement agricole adapté aux spécificités des populations c'est à dire combinant cultures irriguées pour certains et culture de décrue pour les populations riveraines les plus éloignées des centres urbains est la solution idéale. Une gestion stricte des apports fluviaux au lac calculée sur la base des modèles de gestion permettrait de faire évoluer le niveau et la disponibilité des zones exondées en fonction du calendrier cultural.

Une imposition des variations de niveau aurait l'avantage simultané de mettre à sec une part de la végétation aquatique et d'en limiter ainsi le développement excessif. Dans le cas contraire la végétation très envahissante sera un obstacle à la circulation des eaux pourra avoir des effets négatifs sur la population piscicole. Elle est aussi un support à la faune vectrice de diverses maladies. *Pistia* est ainsi le support privilégié de larves de *Mansonia*, vecteur de la filariose, *Ceratophyllum* celui des mollusques hôtes vecteurs de la schistosomiase.

L'évaporation étant le paramètre clé du bilan quantitatif, une gestion stricte des hauteurs d'eau et donc de la surface du lac est indispensable compte tenu de la morphologie "lac plat" du Guiers.

La gestion optimale d'un plan d'eau tel le lac de Guiers, nécessite au départ l'implication et l'assentiment des utilisateurs riverains. Cette gestion peut être grandement facilitée par l'application de modèles quantitatifs ou qualitatifs simples qui permettent de proposer des alternatives et de connaître immédiatement leurs effets qualitatifs respectifs. Cet outil d'aide à la gestion requiert au départ une fiabilité satisfaisante des données de base, géographiques, hydrologiques, physico chimiques