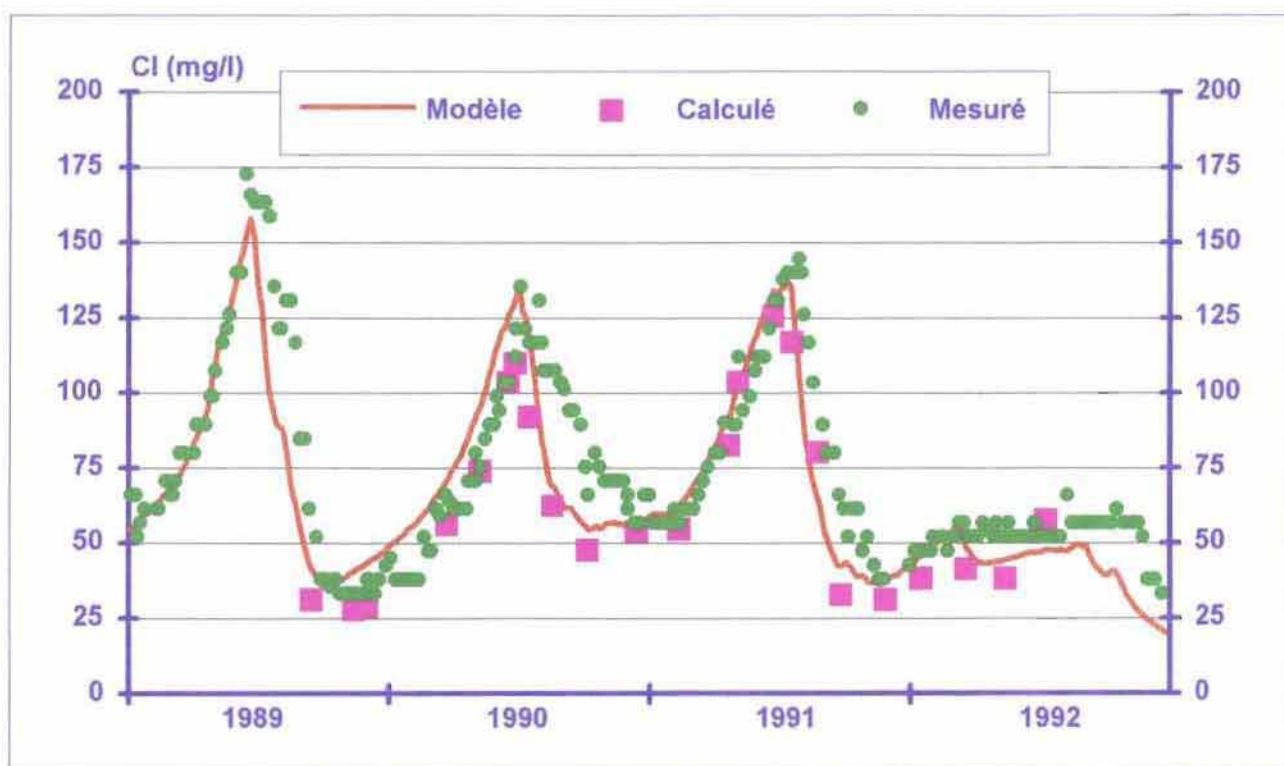


LA QUALITE DES EAUX DU LAC DE GUIERS

1. BILAN QUALITATIF 1989-1992
2. EFFETS DES AMENAGEMENTS DU FLEUVE SENEGAL
3. PREMIERE UTILISATION D'UN MODELE DE GESTION QUALITATIVE

PROJET CEE (EQUESEN) TS2 0198 F EDB



- (1) Fondation Universitaire Luxembourgeoise, av. de Longwy 185, 6700 Arlon, Belgique
- (2) Institut français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM)
BP 1386, Dakar, Sénégal
- (3) Université de Dakar, Faculté des Lettres et Sciences. Humaines, Département de Géographie

F.X. COGELS (1), M. CARN (2), A. NIANG (3), J.Y. GAC (2)

LA QUALITE DES EAUX DU LAC DE GUIERS

1. BILAN QUALITATIF 1989-1992
2. EFFETS DES AMENAGEMENTS DU FLEUVE SENEGAL
3. PREMIERE UTILISATION D'UN MODELE DE GESTION QUALITATIVE

PROJET CEE (EQUESEN) TS2 0198 F EDB

Octobre 1993

(1) Fondation Universitaire Luxembourgeoise, av. de Longwy 185, 6700 Arlon, Belgique

(2) Institut français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM),
BP 1386, Dakar, Sénégal

(3) Université de Dakar, Département de Géographie

AVANT PROPOS

L'étude répond à 3 objectifs principaux :

a) Dresser le bilan qualitatif général actuel des eaux du Guiers sur la base de 23 séries d'analyses réparties entre 1989 et 1992. Cette étude s'intéresse exclusivement aux éléments chimiques majeurs dont elle suit l'évolution annuelle mais aussi le gradient spatial dans le lac.

b) Comparer la situation qualitative actuelle avec celle qui prévalait avant la mise en fonction du barrage de Diama. La comparaison sera basée sur une étude précédente réalisée entre 1979 et 1982 et identique dans son approche et sa méthodologie.

c) Développer un premier modèle de gestion globale et intégrée des eaux du Guiers qui permette de simuler l'évolution de la salinité du lac sur la base d'options diverses de gestion quantitative de ses eaux. L'utilisation de ce modèle pourra s'avérer indispensable aux futurs gestionnaires du plan d'eau, surtout après la mise en fonction du canal de Cayor, à l'horizon 2000.

SOMMAIRE

1. Présentation du lac de Guiers et méthode d'étude qualitative du milieu

- 1.1. Fonctionnement du lac
- 1.2. Méthodologie de l'étude
- 1.3. Paramètres et présentation des données

2. Qualité physico chimique du lac durant la période 1989-92

- 2.1. Température des eaux
- 2.2. pH
- 2.3. Eléments dissous
- 2.4. Minéralisation globale et conductivité des eaux
- 2.5. Synthèse

3. Evolution de la qualité des eaux au cours des 15 dernières années

4. Application d'un premier modèle de gestion globale des eaux

- 4.1. Présentation succincte du modèle
- 4.2. Test de fiabilité du modèle
- 4.3. Applications du modèle
- 4.4. Perspectives qualitatives futures

5. Conclusions

Bibliographie

Tableaux annexes

1. Présentation du lac de Guiers et méthode d'étude qualitative du milieu

Le lac de Guiers a fait l'objet d'aménagements successifs depuis les années 1950 et son mode de fonctionnement hydrologique a progressivement évolué. Le but n'est pas ici de détailler ce fonctionnement mais de présenter de manière succincte les éléments susceptibles d'influencer l'évolution de la qualité de ses eaux. Pour plus de détails relatifs à l'hydrologie du lac, le lecteur se référera aux rapports précédents établis dans le cadre de la convention EQUENSEN, soit principalement :

- COGELS F.X., GAC J.Y. (1990) - Bilan limnologique du lac de Guiers avant la mise en fonction du barrage de Diama : hydrologie, qualité et gestion des eaux. Rapp. ORSTOM, Dakar, projet CEE (EQUENSEN), 38 p.

- COGELS F.X., GAC J.Y., APPAY J.L., EVORA N., LABROUSSE B. (1990) - Fonctionnement et bilans hydrologiques du lac de Guiers de 1976 à 1989. Rapp. ORSTOM, Dakar, projet CEE (EQUENSEN), 60 p.

- COGELS F.X., DACRUZ EVORA N. et GAC J.Y. (1991) - L'évaporation du lac de Guiers (Sénégal) de 1976 à 1989. Bilan et essai d'interprétation. Rapport CEE (projet EQUENSEN), 25 p.

- GAC J.Y., COGELS F.X., EVORA N., LABROUSSE B. (1991) - Le bilan hydrologique du lac de Guiers en 1990. Rapport CEE (projet EQUENSEN), 20 p.

- COGELS F.X., CARN M., EVORA N.D. et GAC J.Y. (1992) - Utilisations et applications pratiques du modèle d'aide à la gestion des eaux du lac de Guiers (modèle LGPLG). Alternatives de gestion actuelle et future. Rapport CEE, projet EQUENSEN , 47 p.

- GAC J.Y., COGELS F.X., EVORA N. (1992) - Fonctionnement et bilan hydrologique du lac de Guiers (Sénégal) en 1991. Rapport CEE, projet EQUENSEN, 40 p.

- COLY A., GAC J.Y. (1992) - Le lac de Guiers: modalités de gestion hydrologique et approche quantitative en 1991. Rapport CEE, projet EQUENSEN, 38 p.

- GAC J.Y., COLY A., NIANG A., CARN M., COGELS F.X. (1993) - Bilan hydrologique du lac de Guiers en 1992. Vers une gestion concertée des crues du fleuve Sénégal. Doc. multigr. ORSTOM-CEE, 21p.

1.1. Fonctionnement du lac

a) Bilan hydrologique

La fig. 1 présente le schéma général des apports et pertes du Guiers soit :

- Au rang des pertes :

- La Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS) qui prélève périodiquement ses eaux d'irrigation (7500 ha de canne à sucre) dans le Guiers en fonction des disponibilités hydriques dans le fleuve et la réserve de Diama. Le jeu des 2 barrages (B1 et B2) de Richard-Toll lui permet de s'approvisionner dans le fleuve ou dans le lac par l'intermédiaire du canal de la Taoué. Les prélèvements CSS dans le Guiers ont progressivement diminué depuis 1985, date de la mise en fonction du barrage de Diama, obstacle à la remontée d'eau de mer dans le Sénégal.

- La Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal (SONEES) installée depuis 1972 à N'Gnith sur la rive Ouest du lac et qui assure aujourd'hui quelques 20% des besoins en eau potable de la ville de Dakar et de son agglomération.

- Les périmètres irrigués, répartis sur les rives du Guiers et le long du canal de la Taoué.

- Les lâchers périodiques vers la vallée du Ferlo (depuis 1988) destinés à évacuer les eaux très minéralisées de la région Sud du lac.

Quelques lâchers d'appoint et de soutien à la réserve de Diama sont également intervenus en 1987-88.

- L'évaporation (environ 2,25 m par an) qui représente en moyenne 80 % des pertes totales annuelles du plan d'eau.

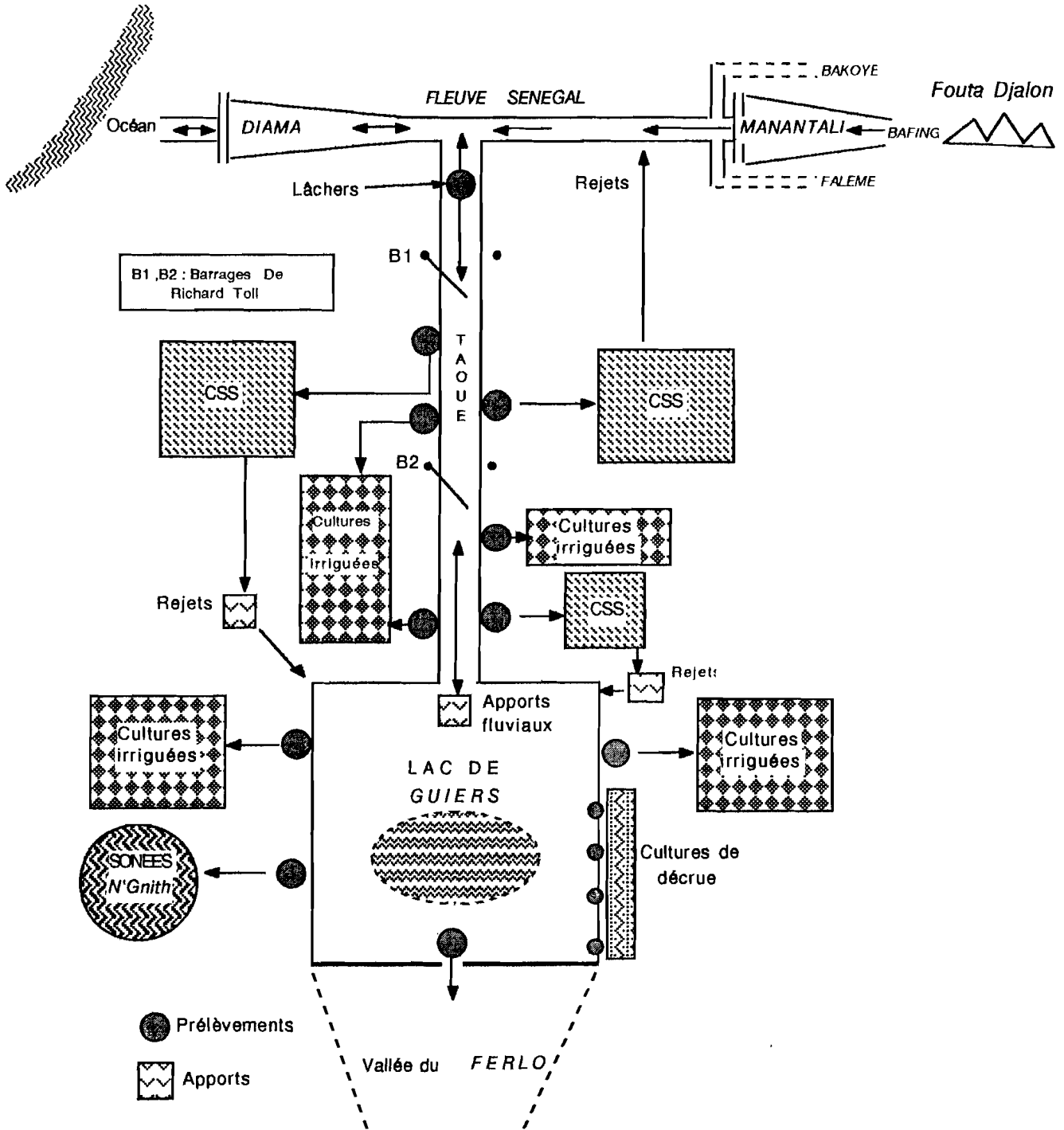


Fig. 1 : Schéma des apports et pertes en eau du lac de Guiers

- Au niveau des apports

- Les apports fluviaux annuels qui transitent par le canal de la Taoué (85% des apports).
- Les rejets des eaux de drainage des cultures irriguées de la CSS dans la région Nord du lac (7% des apports).
- La pluviométrie qui totalise en moyenne 8% des apports annuels.

b) Les phases de l'année hydrologique

L'année hydrologique normale du Guiers comprend 2 phases principales :

- la phase de remplissage d'août à octobre (en moyenne), qui correspond à l'arrivée de la crue fluviale à hauteur de la jonction fleuve-lac. L'ouverture des ponts barrages B1 et B2 de la Taoué permet le remplissage du réservoir jusqu'à son point d'équilibre avec le niveau du fleuve. A ce moment le pont barrage B2 est fermé et le lac débute sa seconde phase hydrologique annuelle.
- la phase d'isolement d'une durée moyenne de 9 mois qui s'étend d'octobre à juin de l'année qui suit. Durant cet épisode, le niveau du lac baisse plus ou moins rapidement selon la hauteur d'eau atteinte au remplissage et en fonction des pompages et de l'évaporation.

Le jeu des 2 barrages B1 et B2 permet à la CSS de prélever ses eaux à partir du fleuve ou du lac en fonction des circonstances.

Cet ordre chronologique n'est pas immuable et beaucoup de phases intermédiaires et ponctuelles sont intervenues au cours de ces 20 dernières années : Lâchers d'appoints à la réserve de Diama et vers la vallée du Ferlo, remplissages complémentaires en cours d'année etc.....

Citons l'exemple de l'année 1992 où, le 20 février, soit en dehors de toute période normale de remplissage, les barrages de la Taoué ont été ouverts pour assurer au lac un appoint fluvial complémentaire. En 10 jours le niveau des eaux est passé de la cote 0,80 m à 1,30 m, noyant les champs cultivés en décrue sur les rives du lac. Les 2 ponts barrages sont ensuite restés ouverts en continu et le niveau de l'eau dans le Guiers s'est stabilisé, directement influencé par celui de la réserve de Diama.

Pour plus de détails quant à l'historique du fonctionnement du lac, le lecteur se référera aux rapports ORSTOM-FUL-CEE déjà cités.

1.2. Méthodologie de l'étude

a) Stations d'échantillonnages

13 stations ont été choisies pour l'échantillonnage régulier des eaux et le dosage des éléments majeurs dissous, soit 7 dans la région Nord du Guiers, 3 en région Centre et 3 dans la région Sud. Leurs emplacements et références numériques sont indiqués à la fig. 2.

La station de Ngnith (station 12) servira de référence pour l'étude des températures aquatiques du Guiers.

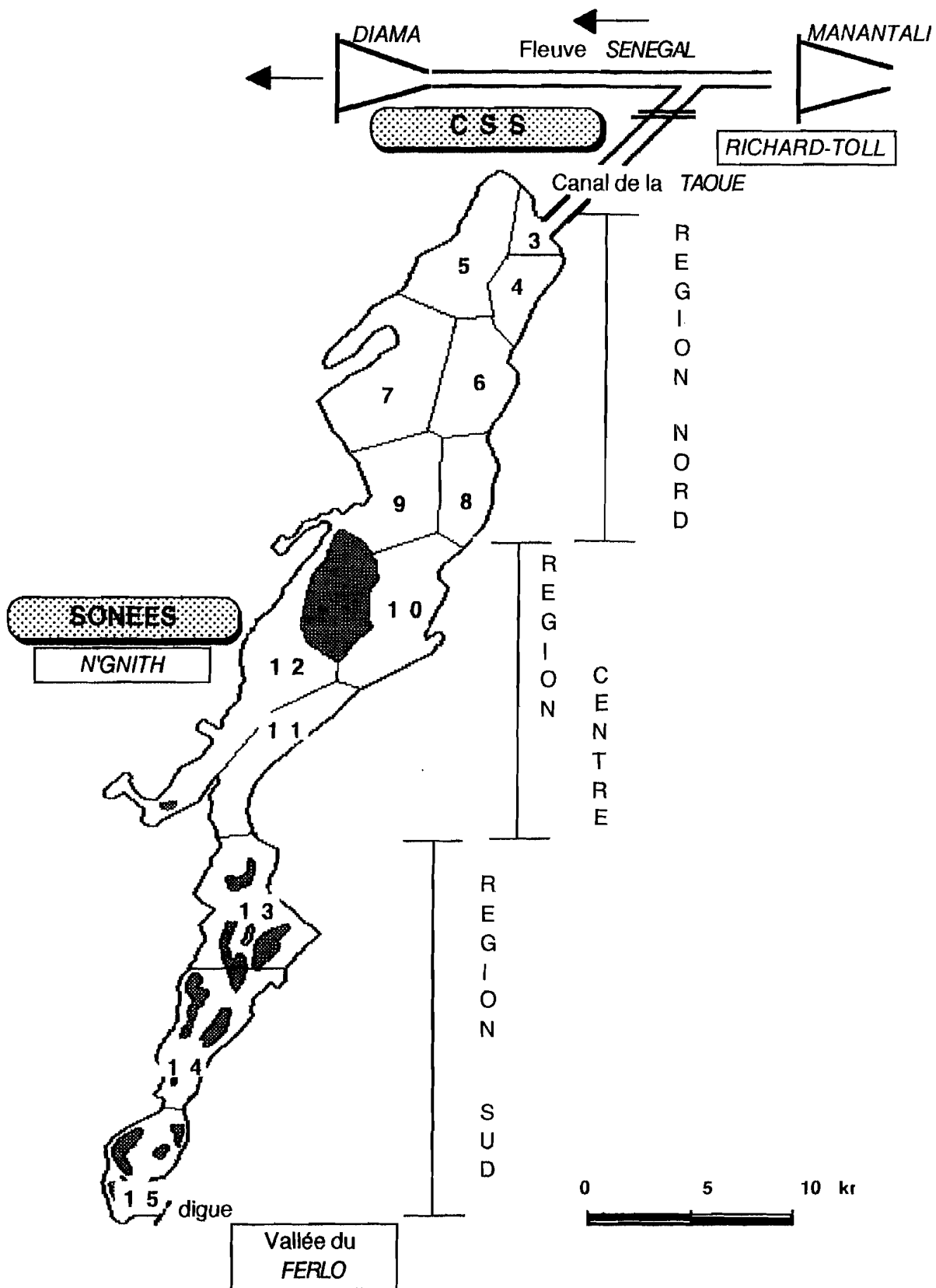


Fig. 2 : Emplacement des stations d'échantillonnages et leurs zones d'influence respectives.

b) Séries et Périodes

- **1989-1992** : L'étude de la qualité générale des eaux du Guiers se base sur 23 séries de prélèvements dont la répartition dans le temps et la hauteur d'eau dans le Guiers correspondante sont indiqués à la fig. 3.

Les séries 4 et 6 ne sont pas indiquées. Il s'agit de séries d'analyses intermédiaires destinées à 2 petites études spécifiques menées en 1989-90.

- **1979-82** : les comparaisons entre la situation qualitative actuelle et celle qui prévalait avant la mise en fonction du barrage de Diama (en 1985) seront établies d'après les analyses effectuées sur la période 1979-82 et qui ont porté sur 28 séries d'échantillonnages aux mêmes stations qu'en 1989-92.

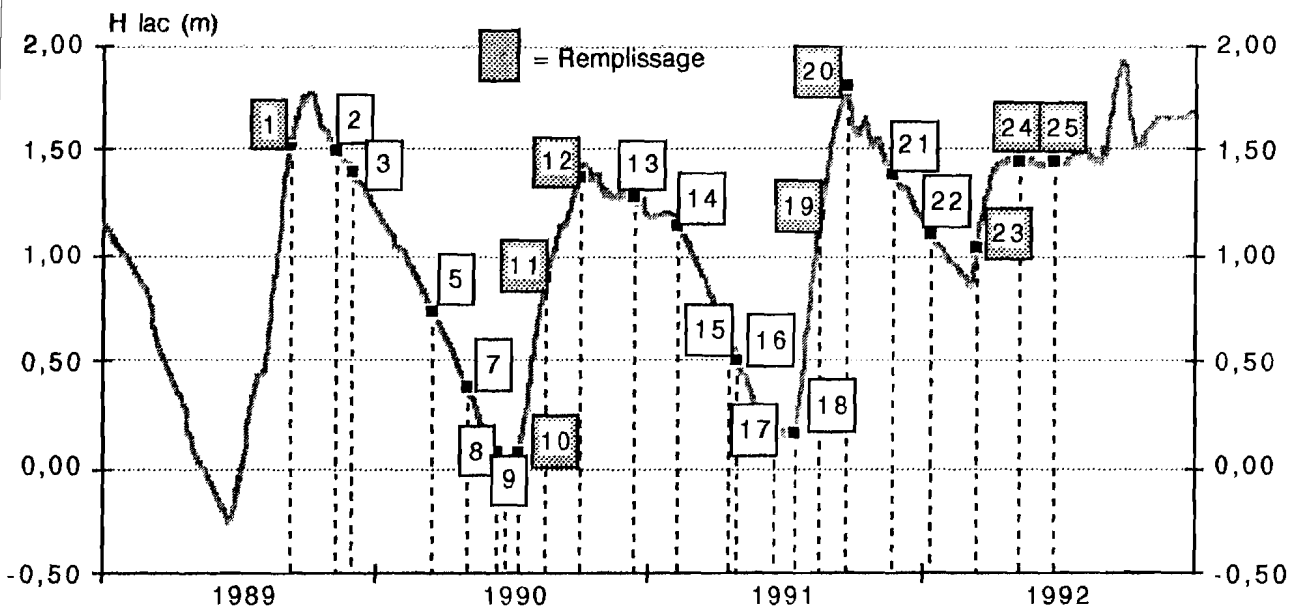


Fig. 3 : Numérotation et répartition des séries d'échantillonnages entre 1989 et 1992 et selon la hauteur des eaux du Guiers, de 1989 à 1992. Les séries correspondant aux phases de remplissage du lac sont mises en évidence.

1.3. Paramètres mesurés et présentation des données

Les échantillons d'eau sont prélevés à 20 cm sous la surface environ. Maintenus au froid et "fixés" si nécessaire, ils sont ensuite acheminés au laboratoire d'analyses des eaux de l'ORSTOM à Dakar. Les éléments analysés sont : Chlorures, sulfates, carbonates et bicarbonates, calcium, magnésium, sodium et potassium. Minéralisation globale, conductivité et pH complètent les analyses.

a) Résultats individuels

1°) Le tableau annexe I indique les valeurs mensuelles de la température du lac entre 1976 et 1992. Les mesures sont effectuées quotidiennement à la station 12 vers 7h30.

2°) Le tableau annexe II indique l'ensemble des résultats d'analyses des eaux de la période 1989-1992. A chaque point d'échantillonnage et pour chaque série est attribué un numéro de code. La date du prélèvement, et la cote du lac correspondants sont également indiqués. Les teneurs des divers éléments dissous sont exprimées en meq/l et mg/l.

b) Qualité moyenne des eaux

A chaque station d'échantillonnage est attribuée une zone d'influence théorique dans laquelle on considère que la qualité de l'eau est homogène. Le volume de chaque zone a été calculé à chaque série d'analyses. En le multipliant par la concentration de l'élément X dans la zone on obtient le poids total de l'élément. L'addition des poids calculés dans les 13 zones permet de quantifier la masse totale de l'élément pour l'ensemble du lac et donc sa concentration moyenne dans le plan d'eau.

Le tableau annexe III récapitule, série par série, la qualité moyenne des eaux pour les différents éléments dissous.

2. Qualité physico-chimique du lac durant la période 1989-1992

2.1. Température des eaux

La fig. 4 indique l'évolution moyenne des températures aquatiques du paramètre et de son écart-type (cf. Tableau annexe I)

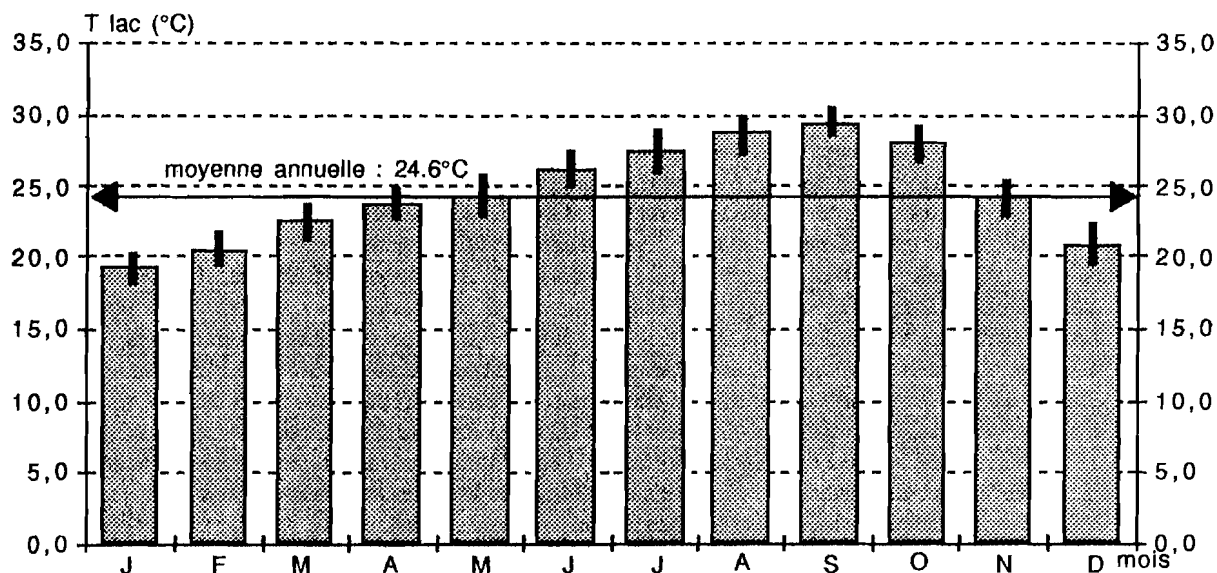


Fig. 4 : Températures moyennes mensuelles des eaux du Guiers à la station 12 pour la période 1976 - 1992 et écart-type.

La température moyenne annuelle des eaux est de 24,6°C. L'évolution annuelle est bien marquée avec un minimum en janvier (19,3°C) et un maximum en septembre (29,5°C). L'amplitude moyenne annuelle est donc de 10°C environ. Le cycle est répété chaque année, avec parfois quelques variantes comme le minimum atteint en décembre et le maximum (très rarement) dès le mois d'août.

Les variations interannuelles des températures moyennes mensuelles sont faibles comme l'indique l'écart-type moyen qui n'est que de 1,1°C.

2.2 pH

Les pH sont assez stables au cours des séries d'échantillonnages. Le tableau 1 ci-dessous indique, par région, les valeurs moyennes pour l'ensemble des séries de la période 1989-92, l'écart type et les extrêmes enregistrés. On constate un léger gradient Nord - Sud, correspondant d'ailleurs à celui de la minéralisation globale des eaux.

	Région Nord	Région Centre	Région Sud
moyenne	7,62	7,76	7,96
écart-type	0,28	0,31	0,28
max.	8,45	8,73	8,87
min.	6,86	7,14	7,26

Tableau 1 : pH moyen, écart-type et valeurs extrêmes mesurées au lac entre 1989 et 1992.

Le calcul du pH moyen du lac est basé sur celui de sa minéralisation globale moyenne, elle même dépendante du volume de la réserve et donc du niveau de ses eaux. Pour un niveau d'eau de 1 m, (considéré comme la moyenne de la période 1989-92), la minéralisation globale est de 232 mg/l (cf. 2.4.), correspondant à un pH moyen de 7.71.

Il est intéressant d'étudier ensuite l'évolution du pH dans le lac sur une longue période, d'après les mesures hebdomadaires effectuées à la station de la SONEES à Ngnith (station 12).

La fig. 5 indique l'évolution du paramètre depuis 1977 avec celle de la hauteur des eaux dans le Guiers. Les 2 courbes de tendance indiquées sur le graphique sont l'expression d'équations polynomiales du 3^e degré qui intègrent au mieux l'ensemble des données de chacun des 2 paramètres.

Les 2 courbes de tendance montrent une évolution croissante similaire. En 1977 le pH moyen enregistré à N'gnith était de l'ordre de 7.35. La moyenne a évolué régulièrement pour atteindre aujourd'hui 8,2 environ soit une croissance de quelques 12 % en 15 ans. D'autre part on remarque une meilleure stabilité du paramètre en 1992, qui correspond d'ailleurs à une bonne stabilité du niveau des eaux cette même année. Le pH semble même régresser quelque peu au cours de l'année 1992; ceci s'explique par l'apport quasi constant au lac d'eau fluviale de pH 7 - 7,2 inférieur au pH moyen du Guiers.

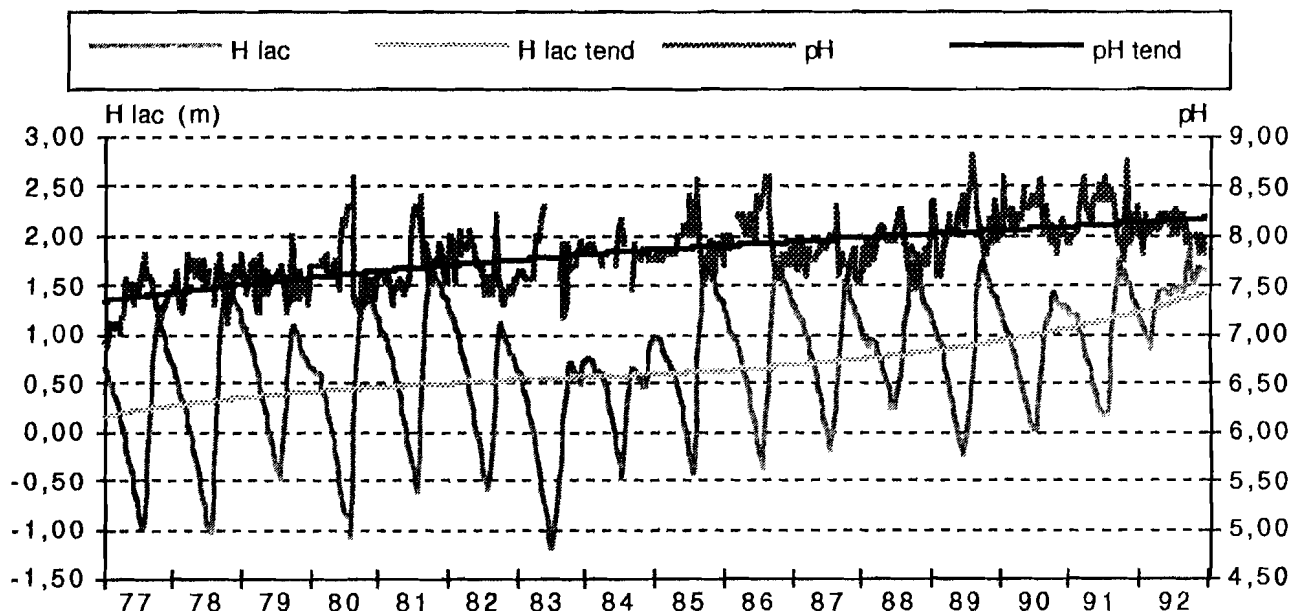


Fig. 5 : Evolution du pH et de la hauteur des eaux à la station 12 de 1977 à 1992 et tendance générale.

2.3. Eléments dissous

La qualité chimique des eaux du Guiers et son évolution annuelle sont sous la dépendance de la qualité respective des divers termes du bilan hydrologique et des effets de l'évaporation.

Au rang des apports on recense les eaux fluviales lors du ou des remplissages annuels, les rejets des eaux de drainage des cultures irriguées, et la pluie. Les eaux d'irrigation CSS et autres, celles destinées à la production d'eau potable de la SONEES et les lâchers annuels vers le Ferlo constituent les pertes du lac. Leur qualité évolue en fonction de leur localisation sur le plan d'eau et de la période de l'année. Les échanges avec les nappes phréatiques constituent l'inconnue du système; la complexité du réseau phréatique autour du lac a rendu jusqu'à maintenant impossible toute investigation approfondie sur le sujet.

La fig. 6 schématise les paramètres entrées-sorties qui interviennent dans l'évolution qualitative des eaux du Guiers. Elle indique la complexité du système et celle des interrelations diverses qui le régissent.

a) Chlorures

1°) Chlorinité moyenne du lac

La fig. 7 indique l'évolution du volume du Guiers et de sa concentration moyenne en chlorures de septembre 1989 à juillet 1992. Les chlorures étant un élément conservatif, le paramètre n'intervient pas dans les cycles biogéochimiques et l'évolution de sa concentration est entièrement dépendante de celles des entrées-sorties d'eau dans le lac et de l'évaporation.

La fig. 7 montre nettement une relation inverse entre le volume du lac et les concentrations en chlorures dissous. Les phases de remplissage du lac induisent la dilution des solutions par les eaux fluviales très douces (5 à 7 mg/l de chlorures) tandis qu'aux phases d'isolement correspond une concentration progressive de l'élément, sous l'effet conjugué de l'évaporation et des rejets de eaux de drainage des cultures irriguées.

Transposée sur un graphique (X,Y) (fig. 8), la relation entre la chlorinité et le volume du lac a un coefficient de corrélation de 0.89.

Les points correspondants aux phases de remplissage du Guiers et indiqués sur le graphique (PR) se différencient nettement des autres. Leur dispersion autour de la droite de régression s'explique par la plus grande imprécision du calcul de la chlorinité moyenne en phase de remplissage, à cause du déplacement important des masses d'eau durant cette phase. En effet, les stations du lac et leurs zones d'influence ne présentent alors pas d'homogénéité suffisante de leurs eaux et la justesse des calculs de chlorinité moyenne s'en trouve faussée.

La chlorinité moyenne du Guiers durant la période d'étude 1989-1992 est de 51 mg/l. Elle est calculée sur la base de la hauteur d'eau moyenne de la période d'étude soit 1,00 m IGN correspondant à un volume du lac de $390 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. La formule de corrélation correspondant aux périodes d'isolement du lac (HPR) a été choisie pour sa plus grande précision.

2°) Chlorinités régionales

La chlorinité respective de chacune des 3 régions du Guiers est exprimée en fonction de la hauteur d'eau du lac et non pas en fonction du volume de chacune de ses zones. En effet, pour une même hauteur d'eau, les différences importantes en volume de zone à zone rendraient difficile la comparaison interrégionale. D'autre part, les comparaisons ne font référence qu'aux seules périodes d'isolement du lac (HPR), pour les raisons déjà évoquées précédemment.

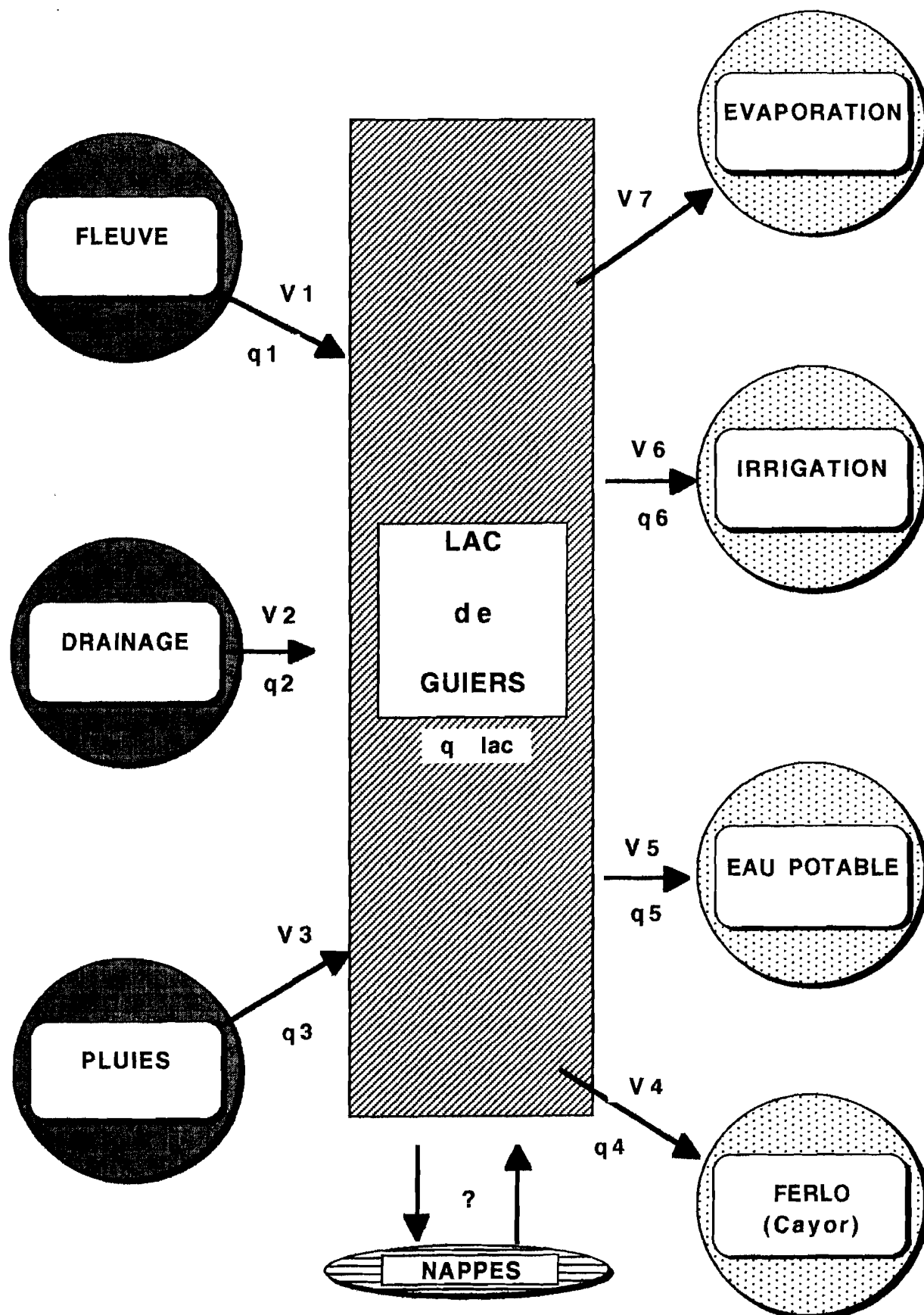


Fig. 6 : Paramètres du bilan hydrologique et leur intervention quantitative (Volumes V) et qualitative (qualité q) dans l'évolution qualitative du lac.

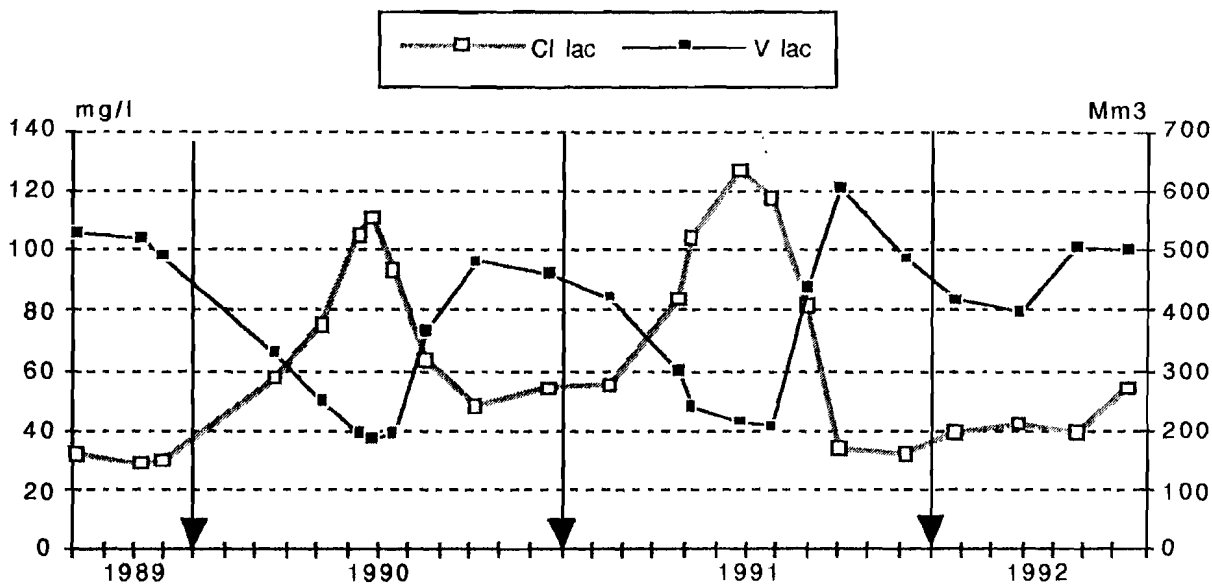


Fig. 7 : Relation entre la chlorinité moyenne du Guiers (mg/l) et le volume de la réserve (10^6 m³) entre 1989 et 1992.

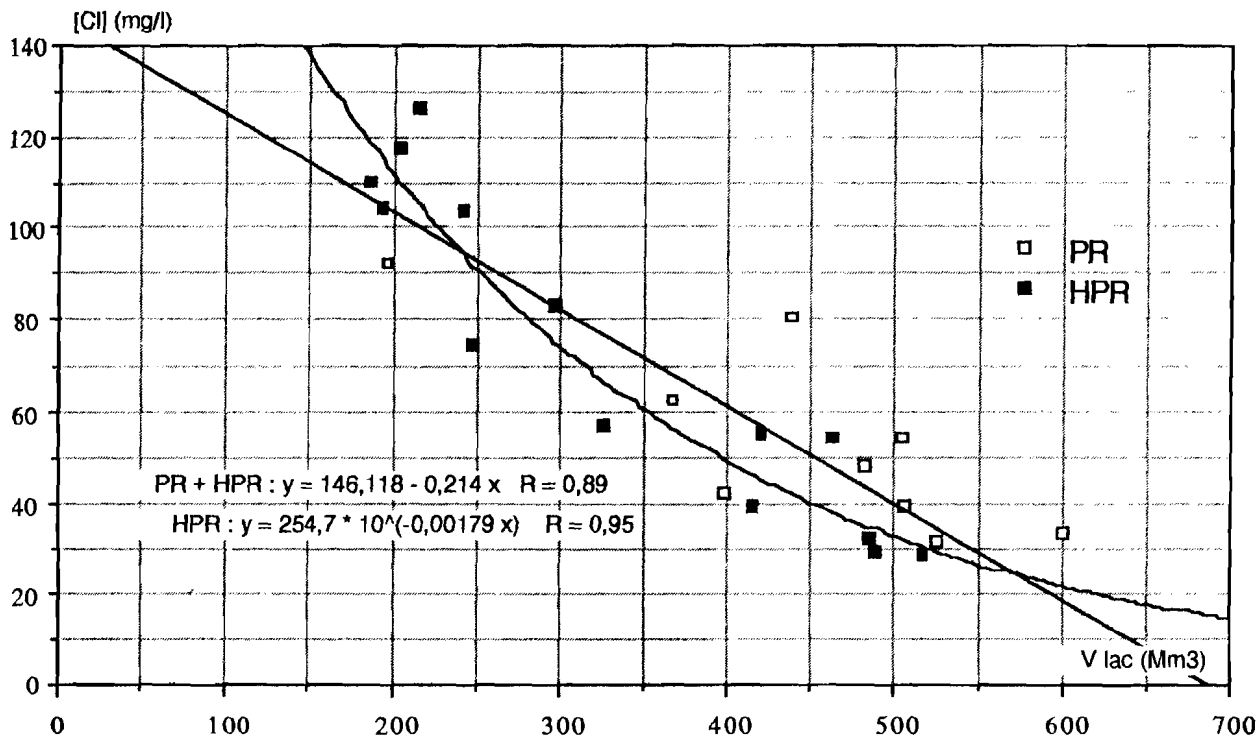


Fig. 8 : Corrélations entre le volume du Guiers (10^6 m³) et sa chlorinité moyenne (mg/l) en phases de remplissage (PR) et d'isolement (HPR) du plan d'eau.

On remarque (fig. 9) que les différences entre régions Nord et Centre sont peu marquées avec de bons coefficients de corrélation. Par contre, la chlorinité de la région Sud se différencie très nettement de celle des 2 autres régions puisque la corrélation [Cl] / Cote du lac présente un coefficient de 0,90 seulement. L'hétérogénéité de qualité des eaux, plus importante de la région Sud que dans les autres régions est mise ici en évidence.

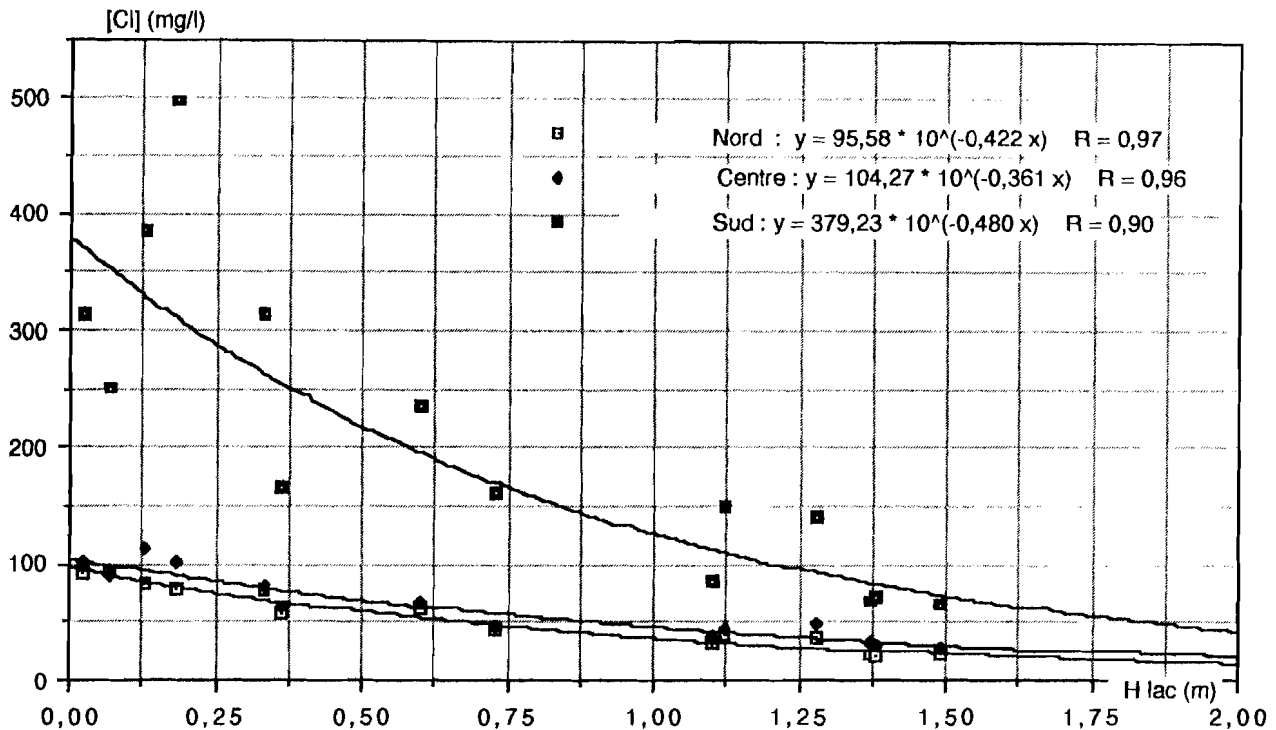


Fig. 9 : Corrélations entre la hauteur d'eau du Guiers (m IGN) et la chlorinité moyenne (mg/l) de ses 3 régions en phases d'isolement du plan d'eau.

A la cote de 1,00 m IGN, considérée comme moyenne pour la période d'étude, les concentrations en chlorures dissous (cf. 2.5, tableau 2) sont, pour les 3 régions et du Nord au Sud, de 36.2, 45.4, et 125.6 mg/l respectivement. La région Sud a donc une teneur moyenne près de 3.5 fois plus élevée que la région Nord.

Quant aux valeurs extrêmes mesurées elles ont été respectivement de 4.3 mg/l le 30/6/92, à la station 3 (Nord du lac) et de 1206 mg/l à l'extrême Sud (station 15) le 19/6/91.

b) Sulfates

1°) Teneur moyenne

L'évolution de la concentration moyenne lacustre en sulfates et du volume du Guiers est indiquée à la fig. 10. Globalement elle est assez identique à celle observée dans le cas des chlorures, soit des phases alternées de croissance et de diminutions des teneurs, en liaison avec les phases successives de remplissages et d'isolement du lac.

Les corrélations entre le volume du Guiers et sa teneur moyenne en sulfates sont excellentes comme l'indique la fig. 11. A la cote de 1,00 m ($390 * 10^6 m^3$) représentative de la période étudiée, la teneur en sulfates est de 17.9 mg/l. La corrélation utilisée est celle de la période d'isolement du lac (HPR).

2°) Qualité régionale

Les différences de qualité Nord - Sud sont bien marquées. Les corrélations entre les teneurs moyennes des 3 régions et la hauteur des eaux sont bonnes et d'ailleurs meilleures en région Sud que dans le cas des chlorures (fig. 12). Les corrélations ont été calculées ici aussi pour les périodes situées en dehors des phases de remplissages.

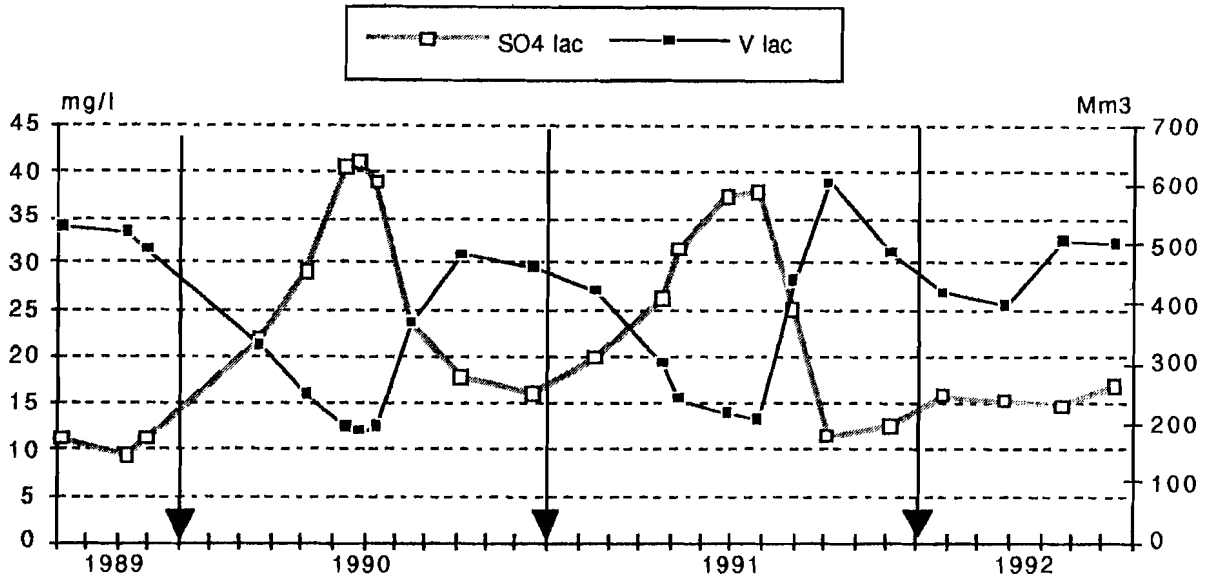


Fig. 10 : Relation entre la teneur moyenne en sulfates du Guiers (mg/l) et le volume de la réserve (10^6 m^3) entre 1989 et 1992.

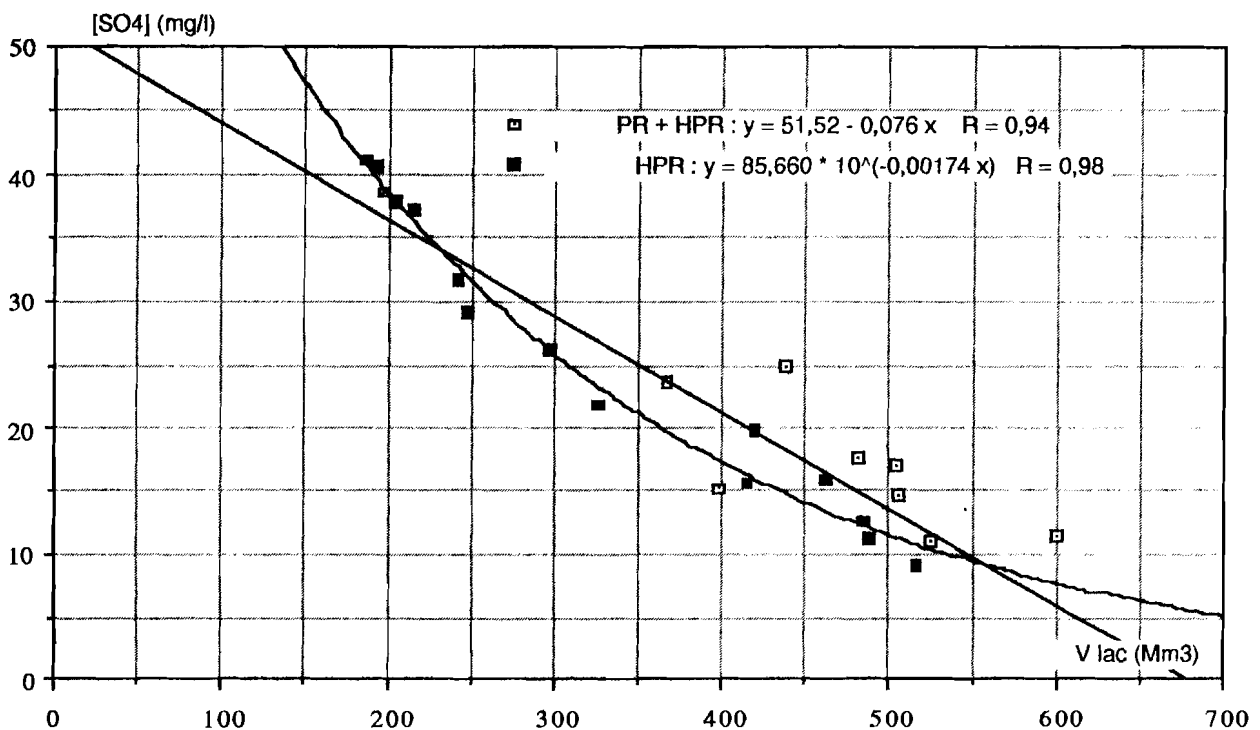


Fig. 11: Corrélations entre le volume du Guiers (10^6 m^3) et sa teneur moyenne en sulfates (mg/l) en phases de remplissage (PR) et d'isolement (HPR) du plan d'eau.

L'évolution des sulfates dans le lac est complexe comme l'ont montré des études précédentes (COGELS, 1984; COGELS et GAC, 1987).

En effet, les teneurs de l'élément dissous sont influencées par :

- Une consommation très élevée dans le sédiment, et une sulfato-réduction importante mise en évidence dans la région Sud du lac.
- Un relargage déjà constaté dans la région Nord du lac.

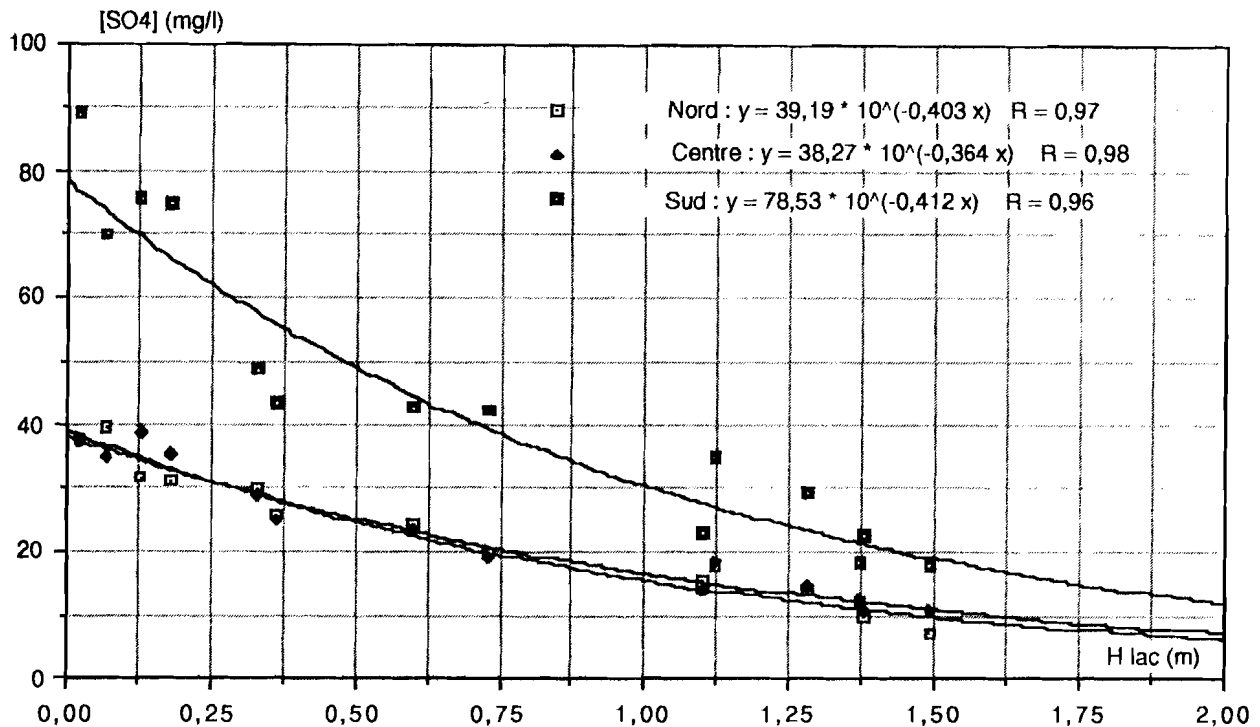


Fig. 12 : Corrélations entre la hauteur d'eau du Guiers (m IGN) et la teneur moyenne en sulfates (mg/l) de ses 3 régions en phases d'isolement du plan d'eau.

Comme pour les chlorures, les rejets de la CSS dans la région septentrionale présentent de fortes teneurs en sulfates du moins dans les eaux de drainage des sols récemment mis en cultures et traités au gypse (CaSO_4) pour en accélérer le désalement. A noter que les corrélations entre les teneurs en sulfates des eaux et le volume du lac sont bien meilleures aujourd'hui que celles calculées il y a 10 ans lors de l'étude qualitative de la période 1979-82. A cette époque en effet, les rejets de sulfates de la CSS dans le lac étaient supérieurs aux rejets actuels et perturbaient sans doute plus nettement qu'aujourd'hui le cycle chimique et géochimique de l'élément. On constatait alors une très forte sulfato-réduction en région Nord (COGELS 1984).

Signalons enfin les valeurs extrêmes mesurées soit 158,5 et 1,4 mg/l.

c) Alcalinité

1°) Alcalinité moyenne

L'ensemble carbonates bicarbonates est bien représenté dans le Guiers. Compte tenu des conditions de pH, rarement supérieur à 8.3, les bicarbonates sont évidemment majoritaires.

La concentration des éléments dissous suit une évolution inverse de celle du volume du lac et dans l'ensemble identique à celle des 2 paramètres déjà étudiés (fig. 13), et les corrélations entre le volume du réservoir et son alcalinité sont bonnes comme l'indique la fig. 14.

Carbonates et bicarbonates ne sont pas des éléments conservatifs puisqu'ils interviennent dans les cycles géochimiques et biochimiques. La régulation des bicarbonates est partiellement sous la dépendance des diverses réactions de sulfato-réduction qui en libèrent d'importantes quantités (COGELS et GAC, 1985). Par ailleurs les bicarbonates sont consommés dans la réaction de formation de la calcite et entrent aussi dans les cycles biologiques en participant à l'élaboration des coquilles des mollusques aquatiques.

L'évolution de l'élément est donc complexe. Ceci explique que les coefficients de corrélation entre le volume du lac et la concentration totale des 2 éléments de l'alcalinité (fig. 14) sont inférieurs à ceux calculés pour les éléments plus conservatifs.

A la cote 1,00 m soit $390 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, l'alcalinité moyenne du lac est de 94 mg/l.

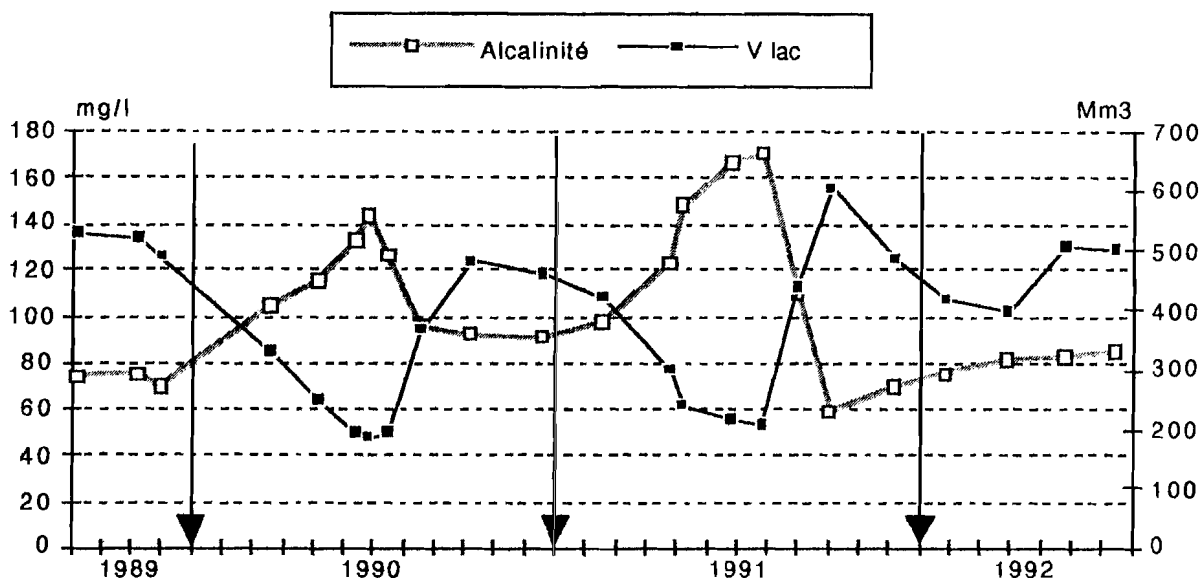


Fig. 13 : Relation entre l'alcalinité moyenne du Guiers (mg/l) et le volume de la réserve (10^6 m^3) entre 1989 et 1992.

2°) Qualité régionale

La fig. 15 indique les relations liant hauteur des eaux et alcalinité par région. Le graphique montre, comme pour les autres paramètres, un gradient de concentration Nord-Sud très net, la région méridionale se différenciant bien nettement des deux autres.

A la cote 1 m, l'alcalinité moyenne est de 73 mg/l en région Nord, 90 au Centre et 230 en région Sud. Le gradient de concentration moyen Nord-Sud est ainsi de 2.74, à comparer avec un gradient de 3.47 pour les chlorures. L'intervention des phénomènes biogéochimiques de régulation est donc mise en évidence ici encore.

Les valeurs extrêmes mesurées durant la période 1989-92 ont été de 24 et 854 mg/l.

Remarque

Compte tenu de l'influence du pH sur l'équilibre $\text{HCO}_3 - \text{CO}_3$ et de la faible corrélation directe entre pH et hauteur des eaux, il est aléatoire de préciser la part respective des 2 éléments pour une cote déterminée du plan d'eau.

Néanmoins, sur la base de l'ensemble des mesures, il on obtient des corrélations assez valables entre les teneurs en HCO_3 et CO_3 et la hauteur des eaux bien que les 2 facteurs ne soient qu'indirectement liés.

Exprimée en poids (mg/l) la proportion des carbonates est de 3.5 % et est assez semblable dans les 3 régions. Exprimée en meq/l, la proportion des carbonates est cette fois de 6.5% (Fig. 16).

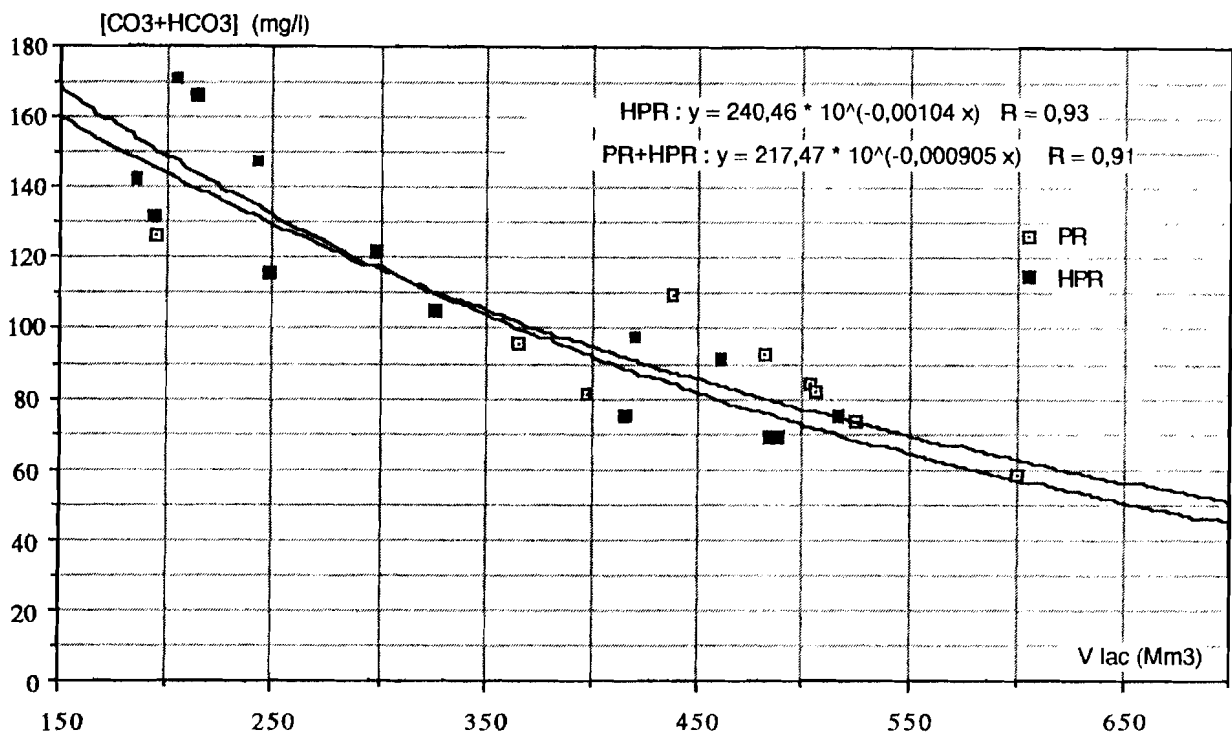


Fig. 14: Corrélations entre le volume du Guiers (10⁶ m³) et son alcalinité moyenne (mg/l) en phases de remplissage (PR) et d'isolement (HPR) du plan d'eau.

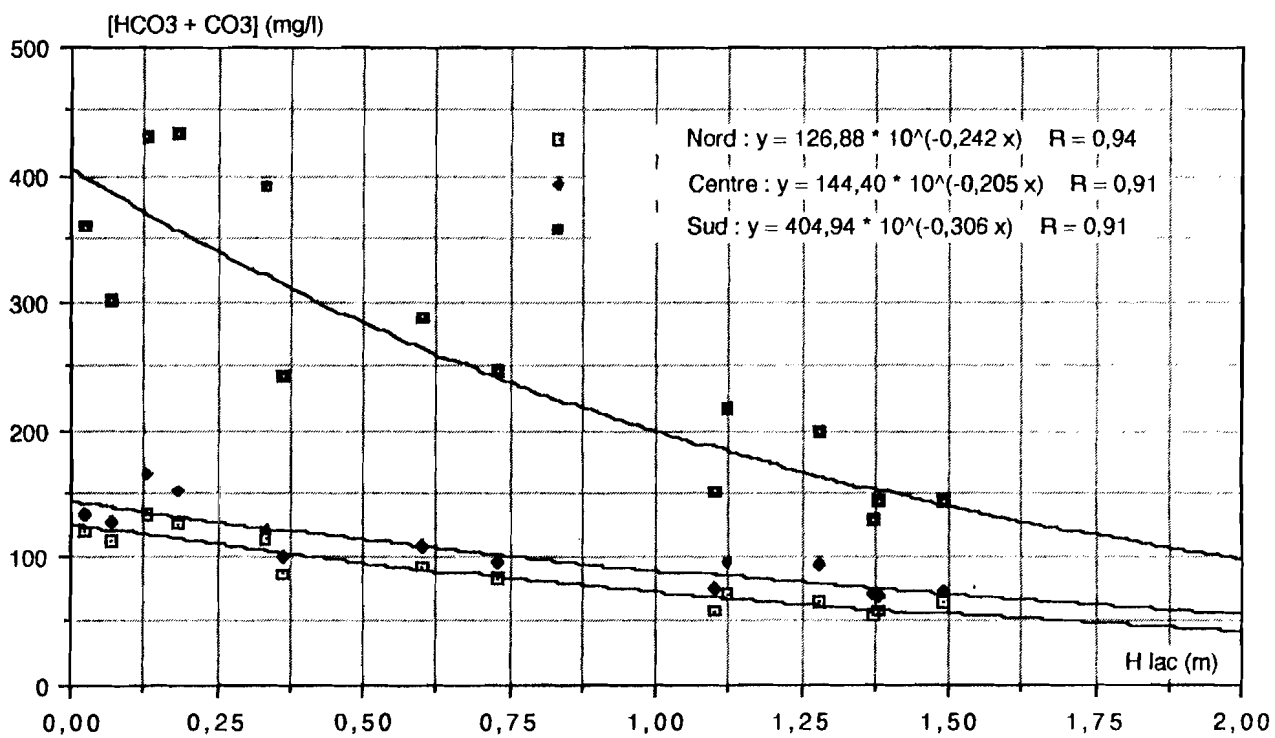


Fig. 15 : Corrélations entre la hauteur d'eau du Guiers (m IGN) et l'alcalinité moyenne (mg/l) de ses 3 régions en phases d'isolement du plan d'eau.

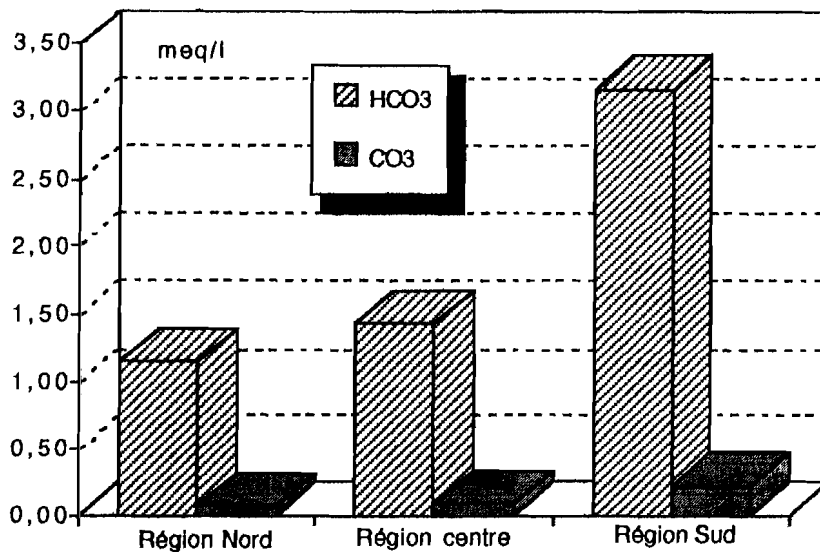


Fig. 16 : Concentrations moyennes en carbonates et bicarbonates dans les régions Nord, Centre et Sud du Guiers (meq/l) à la cote de 1 m IGN.

d. Calcium

1°) Concentration moyenne

L'évolution des teneurs moyennes en calcium de 1989 à 1992 est semblable à celle des autres paramètres (fig. 17).

Le calcium est un paramètre non conservatif, dont les concentrations sont fonction des conditions chimiques du milieu. Il intervient aussi dans les cycles géochimiques de la régulation et participe aux processus biologiques.

Le calcium est consommé également dans les formations néoargileuses et participe comme les bicarbonates à l'élaboration des coquilles de mollusques, très abondants au Guiers. Vu la sursaturation quasi générale des eaux en CO₂, surtout dans les régions Centre et Nord, la redissolution des coquilles vides est très rapide. Les études antérieures ont d'ailleurs mis en évidence un important cycle fixation-dissolution de l'élément (COGELS et GAC, 1985).

La relation générale qui lie la concentration moyenne lacustre en calcium et le volume du plan d'eau est présentée à la fig. 18. En dehors des périodes de remplissage la corrélation est relativement bonne et permet d'estimer à 14.9 mg/l la teneur moyenne des eaux du Guiers à la cote de 1 m IGN.

L'intervention de l'élément dans les cycles biogéochimiques explique la dispersion des points autour des droites de régression.

2°) Qualité régionale

La fig. 19 indique, région par région, la relation entre la hauteur d'eau du lac et les teneurs en calcium. Les coefficients de corrélation sont dégressifs du Nord vers le Sud; cela s'explique par les phénomènes géochimiques très importants en région Sud, où les eaux sont souvent en état de sursaturation vis à vis de la calcite. Les précipitations y sont donc très importantes et les corrélations avec les hauteurs d'eau d'autant moins constantes.

A la cote de 1 m IGN, la teneur moyenne de la région Nord est de 13.1 mg/l, pour 14 mg/l au Centre et 24.9 mg/l en région méridionale. Le facteur de concentration moyen Nord-Sud est dans ce cas de 1.9, soit très inférieur à celui calculé pour les bicarbonates. Ceci confirme l'intervention très sensible des phénomènes géochimiques de régulation.

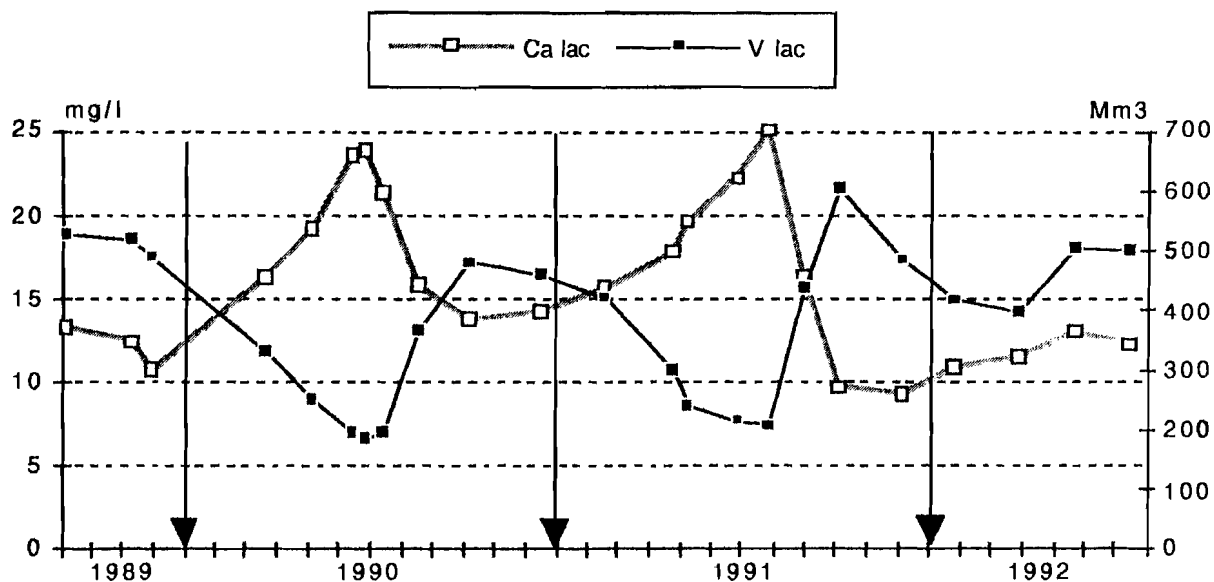


Fig. 17 : Relation entre la teneur moyenne en calcium du Guiers (mg/l) et le volume de la réserve (10^6 m^3) entre 1989 et 1992.

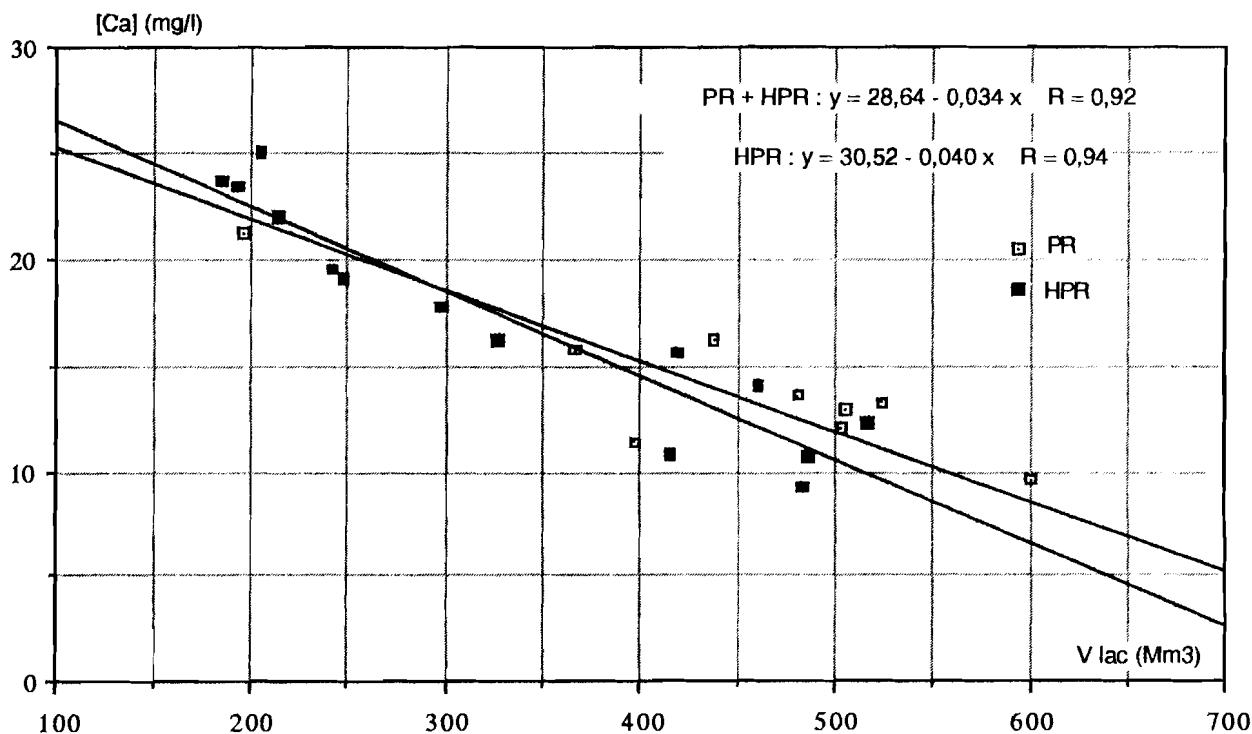


Fig. 18: Corrélations entre le volume du Guiers (10^6 m^3) et sa teneur moyenne en calcium (mg/l) en phases de remplissage (PR) et d'isolement (HPR) du plan d'eau.

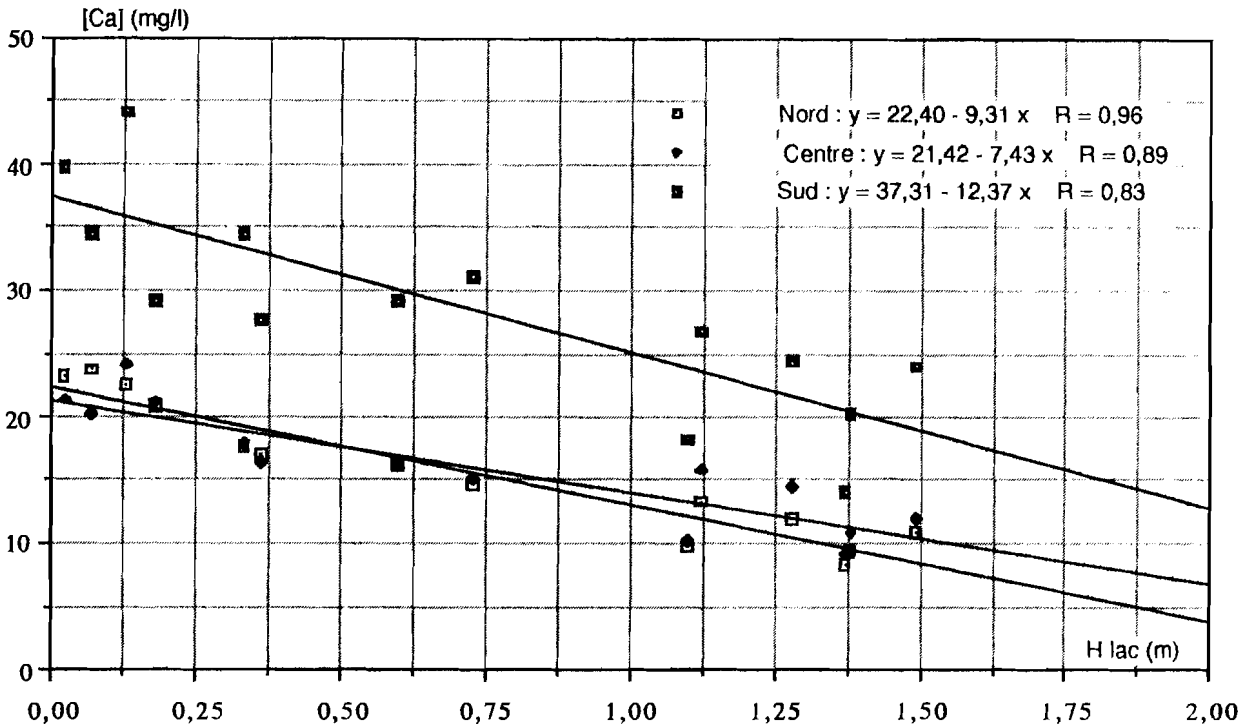


Fig. 19 : Corrélations entre la hauteur d'eau du Guiers (m IGN) et la concentration moyenne en calcium (mg/l) de ses 3 régions en phases d'isolement du plan d'eau.

e) Magnésium

1°) Concentration moyenne

La relation inverse entre les teneurs en magnésium dans le lac et le volume du plan d'eau est mise en évidence à la fig. 20.

Le magnésium est un élément beaucoup plus conservatif que ne le sont les sulfates, bicarbonates et le calcium. Les processus biologiques interviennent très peu dans la régulation du paramètre. Quant aux processus chimiques et géochimiques ils semblent se limiter à quelques formations néoargileuses comme celle de la chlorite à partir de kaolinite. Cette réaction de néoformation a été mise en évidence précédemment dans les régions Centre et Sud du lac. Elle implique la consommation de magnésium (COGELS et GAC, 1985).

La stabilité de l'élément est confirmée à la fig. 21 qui met en relation les concentrations moyennes lacustres et le volume du Guiers correspondant. Hors période de remplissage, le coefficient de corrélation est ainsi de 0.95.

A la cote de référence de 1 m IGN la concentration moyenne lacustre est de 11.5 mg/l.

Enfin les abaques calculées à la fig. 22 indiquent qu'à la cote 1 m, les concentrations moyennes des 3 régions sont respectivement de 8.6, 10.5 et 26 mg/l, soit un facteur de concentration de 3.0 entre Nord et Sud, du moins à cette hauteur d'eau. Rappelons que le facteur de concentration Nord-Sud pour les chlorures était de 3.5 soit légèrement plus élevé. Ceci confirme la stabilité du magnésium dissous, nettement plus élevée que celle des bicarbonates et du calcium.

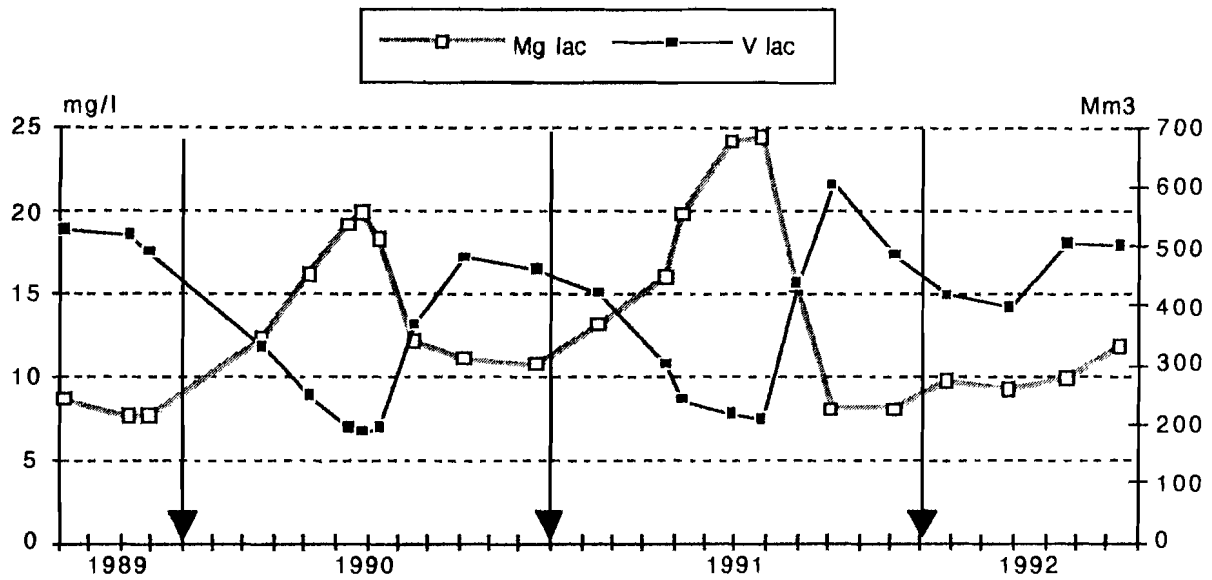


Fig. 20 : Relation entre la teneur moyenne en magnésium du Guiers (mg/l) et le volume de la réserve (10^6 m^3) entre 1989 et 1992.

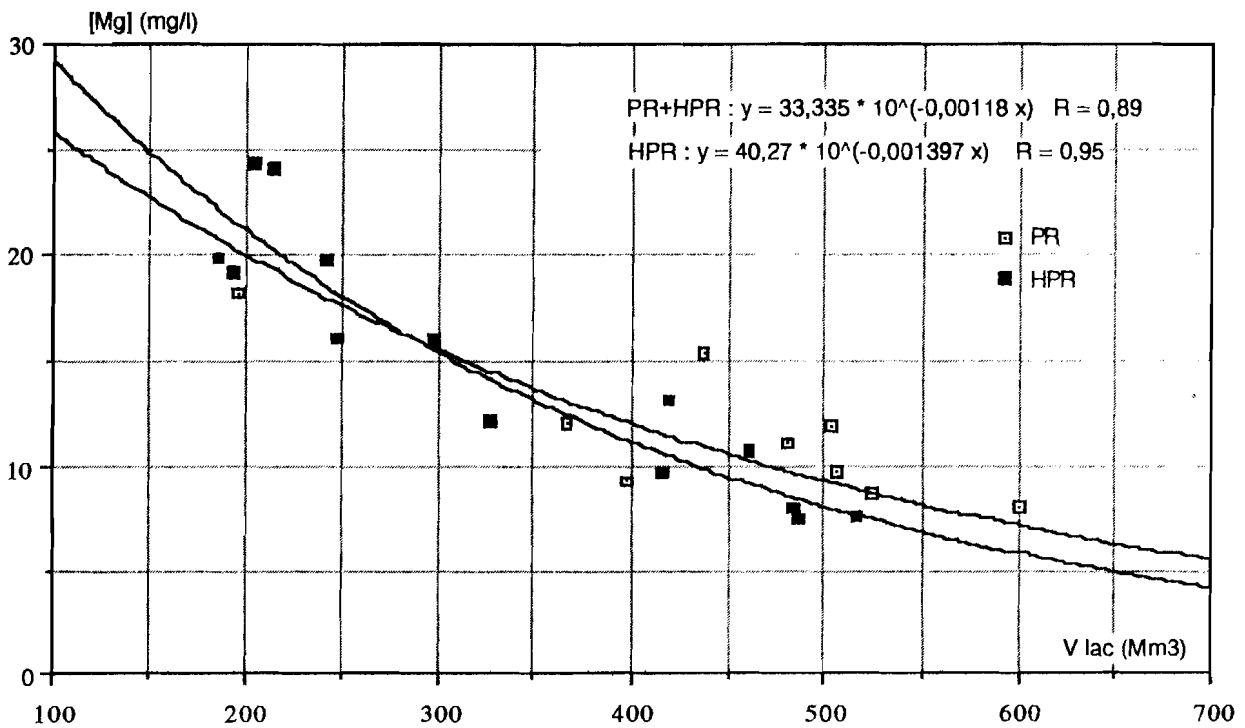


Fig. 21 : Corrélations entre le volume du Guiers (10^6 m^3) et sa teneur moyenne en magnésium (mg/l) en phases de remplissage (PR) et d'isolement (HPR) du plan d'eau.

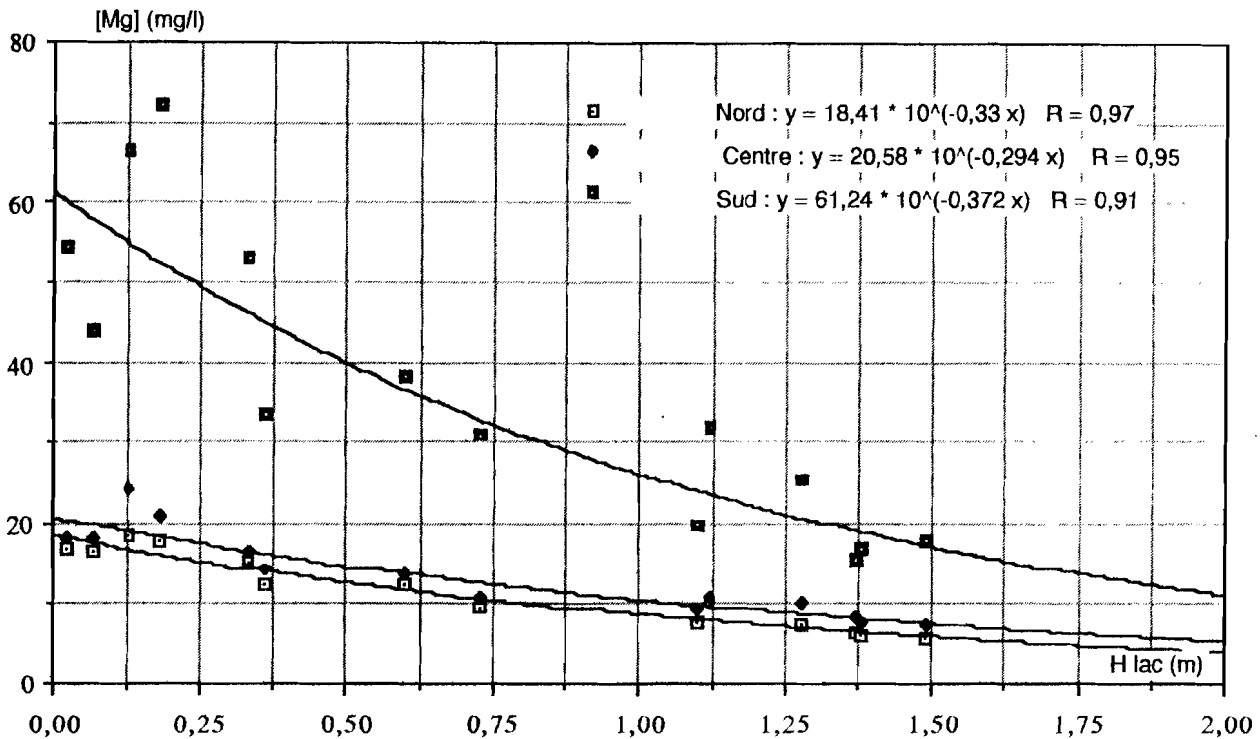


Fig. 22 : Corrélations entre la hauteur d'eau du Guiers (m IGN) et la concentration moyenne en magnésium (mg/l) de ses 3 régions en phases d'isolement du plan d'eau.

f. Sodium

1°) Concentration moyenne

La fig. 23 indique l'évolution des concentrations moyennes en sodium et du volume du lac aux différentes séries d'échantillonnages.

Le sodium étant un paramètre conservatif au même titre que les chlorures, les 2 éléments suivent un cheminement parallèle, ce que confirme la fig. 24. Afin de réduire les différences d'échelle de concentration entre les 2 éléments, l'unité de mesure est cette fois le meq/l et non plus le mg/l.

Les coefficients de corrélation des relations unissant volume du lac et qualité moyenne sont bons (fig. 25) particulièrement en phase d'isolement du plan d'eau (HPR).

A la cote de référence de 1 m IGN (soit 390 millions de m³), la concentration moyenne du lac sodium est de 35.9 mg/l, soit 1.56 meq/l, pour 1.44 meq/l chez les chlorures.

2°) Qualité régionale

Les excellents coefficients de corrélation indiqués à la fig. 26 montrent qu'en régions Nord et Centre, le sodium est un élément parfaitement conservatif. En région Sud par contre, la dispersion des points autour de la courbe de régression indique probablement l'intervention même limitée du paramètre dans les cycles géochimiques. Les études antérieures (COGELS et GAC, 1985) ont montré en effet la possibilité de transformation de montmorillonite calcique en montmorillonite sodique avec consommation de sodium dans la néoformation. La proportion relativement importante de montmorillonite sodique en région Sud confirme ces hypothèses.

A la cote 1 m IGN, les teneurs sodiques moyennes des 3 régions sont respectivement de 25.2, 31.4 et 89.9 mg/l, soit un facteur moyen de concentration Nord-Sud de 3.57 quasi identique à celui mesuré chez les chlorures (3.47).

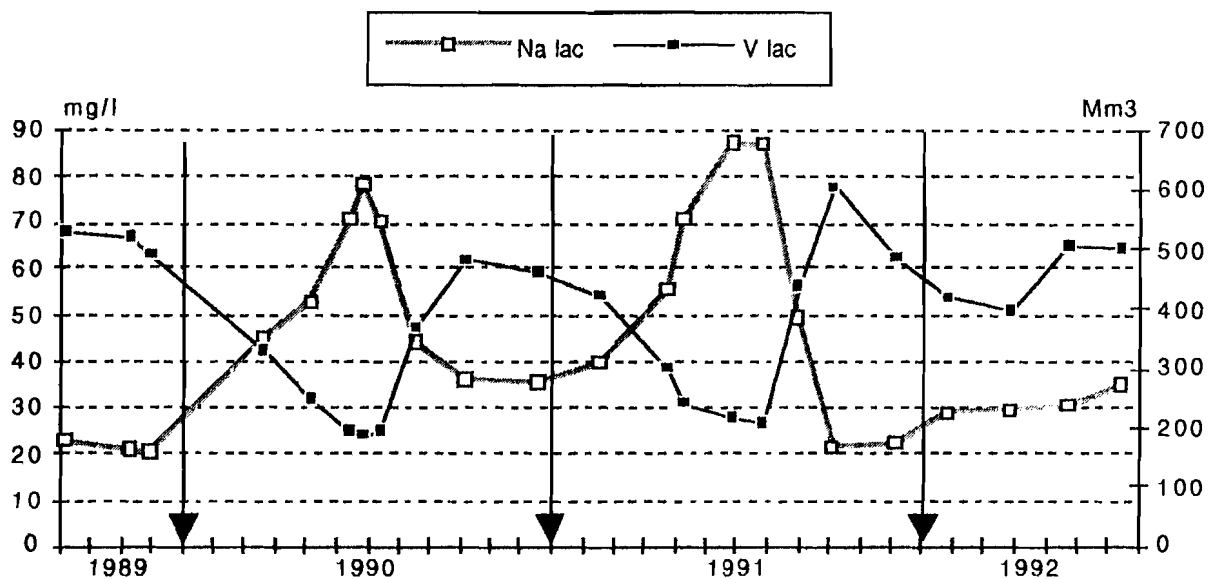


Fig. 23 : Relation entre la teneur moyenne en sodium du Guiers (mg/l) et le volume de la réserve (10^6 m^3) entre 1989 et 1992.

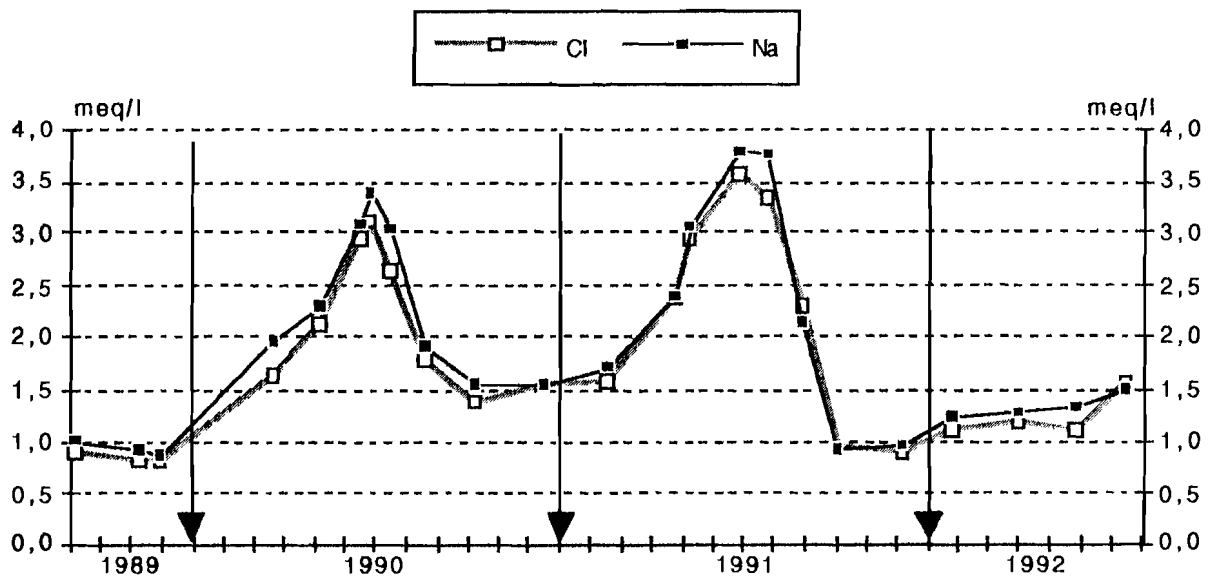


Fig. 24 : Evolution conjointe des teneurs moyennes du Guiers en chlorures et en sodium entre 1989 et 1992 (meq/l).

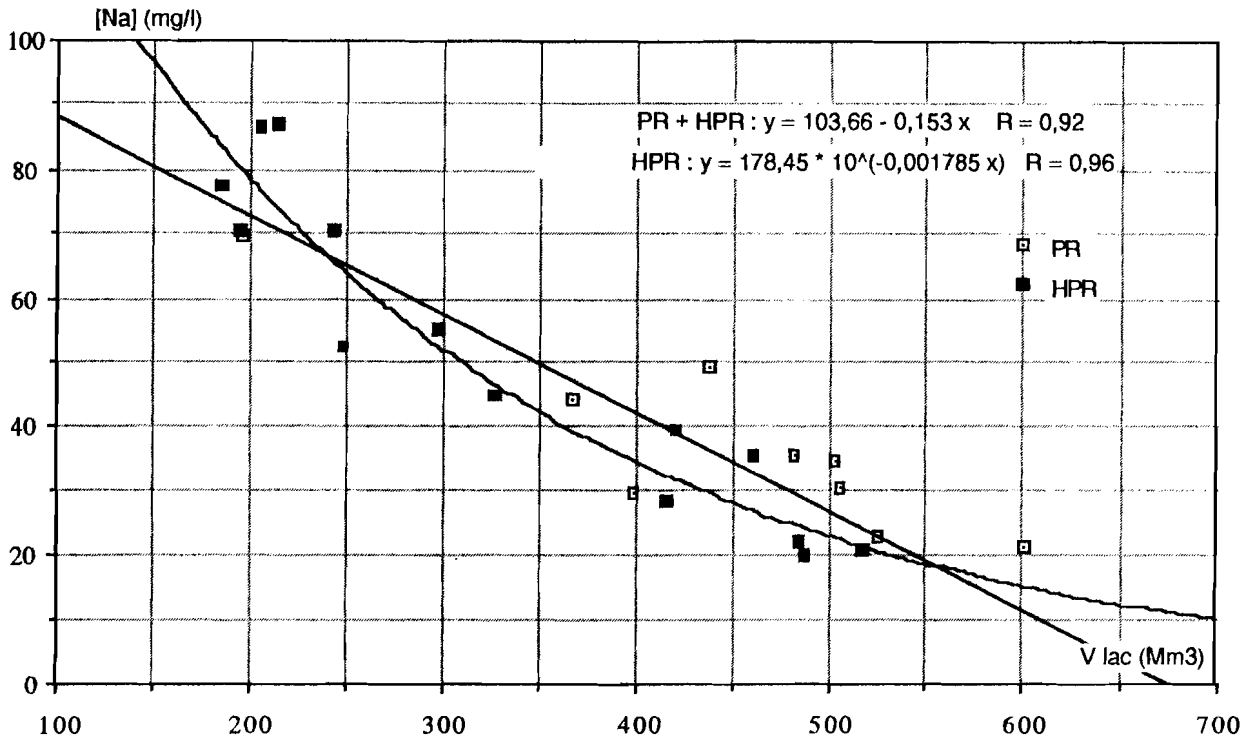


Fig. 25 : Corrélations entre le volume du Guiers (10^6 m^3) et sa teneur moyenne en sodium (mg/l) en phases de remplissage (PR) et d'isolement (HPR) du plan d'eau.

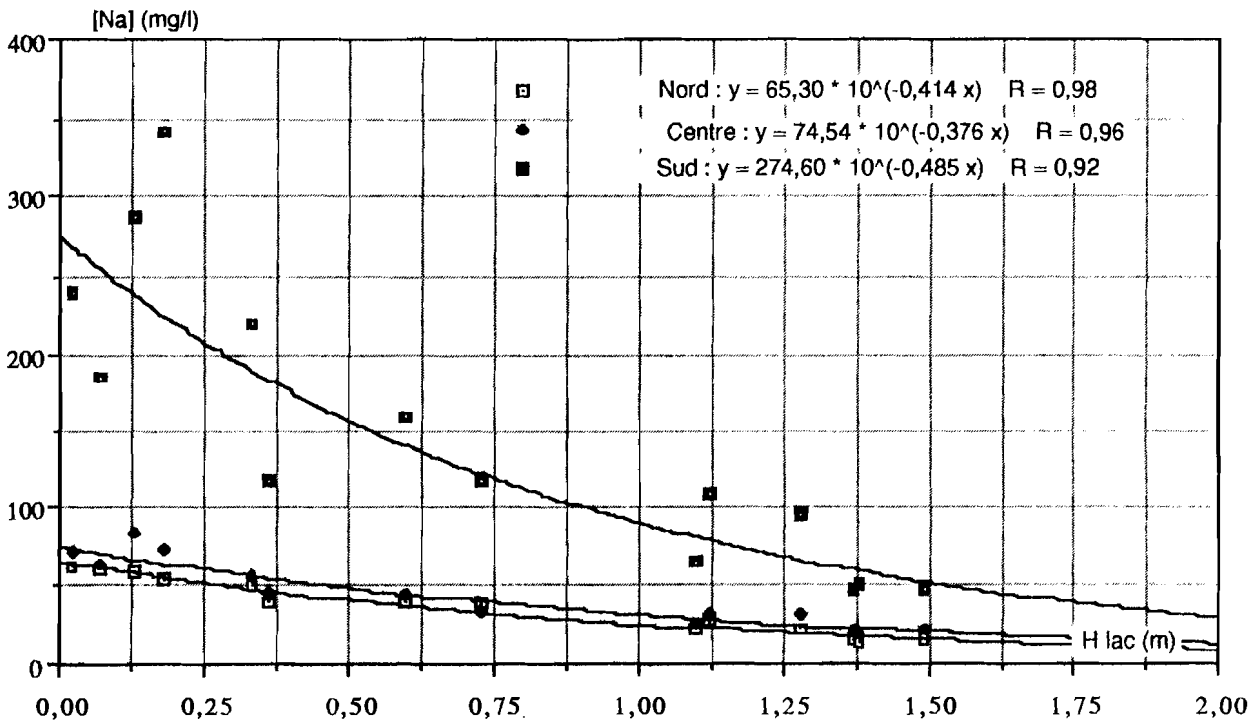


Fig. 26 : Corrélations entre la hauteur d'eau du Guiers (m IGN) et la concentration moyenne en sodium (mg/l) de ses 3 régions en phases d'isolement du plan d'eau.

g. Potassium

1°) Concentration moyenne

Le dernier des éléments majeurs étudié est un paramètre peu conservatif puisqu'il intervient à la fois dans les processus géochimiques et biologiques de régulation.

Le cycle volume du lac - concentration moyenne (fig. 27) suit néanmoins une évolution comparable à celles des éléments précédents, et le coefficient R de la relation entre les 2 paramètres se révèle très bon, du moins en période d'isolement du Guiers (fig. 28).

A la cote du lac de 1 m, la concentration moyenne en potassium du lac est de 6.1 mg/l.

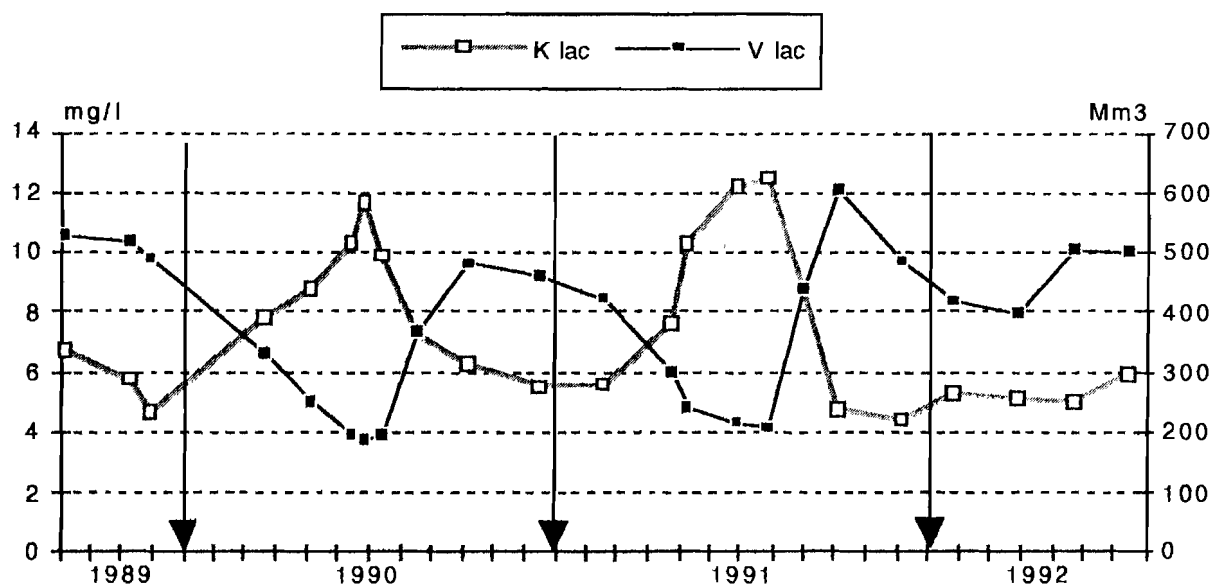


Fig. 27 : Relation entre la teneur moyenne en potassium du Guiers (mg/l) et le volume de la réserve (10^6 m^3) entre 1989 et 1992.

2° Qualité régionale

La fig. 29 indique les relations hauteur d'eau - teneurs en potassium dans le lac. Les relations présentent des coefficients R relativement faibles qui prouvent l'intervention de l'élément dans les cycles régulateurs et sa consommation annuelle sensible.

Les études antérieures ont montré que les processus géochimiques tels la formation de l'illite et surtout celle de la montmorillonite potassique à partir de montmorillonite calcique (avec simple échange Ca - K) étaient à l'origine des consommations constatées par les bilans hydrochimiques. La fixation de l'élément par voie biologique est également importante vu la biomasse végétale présente et en pleine expansion au Guiers.

A la cote de 1 m, les teneurs moyennes des 3 régions sont respectivement de 5.1 au Nord, 6.1 au Centre et 12.8 mg/l au Sud du Guiers soit un facteur de concentration Nord-Sud moyen de 2.51 qui, comparé à ceux mesurés pour le sodium et les chlorures, montre bien l'intervention des processus régulateurs.

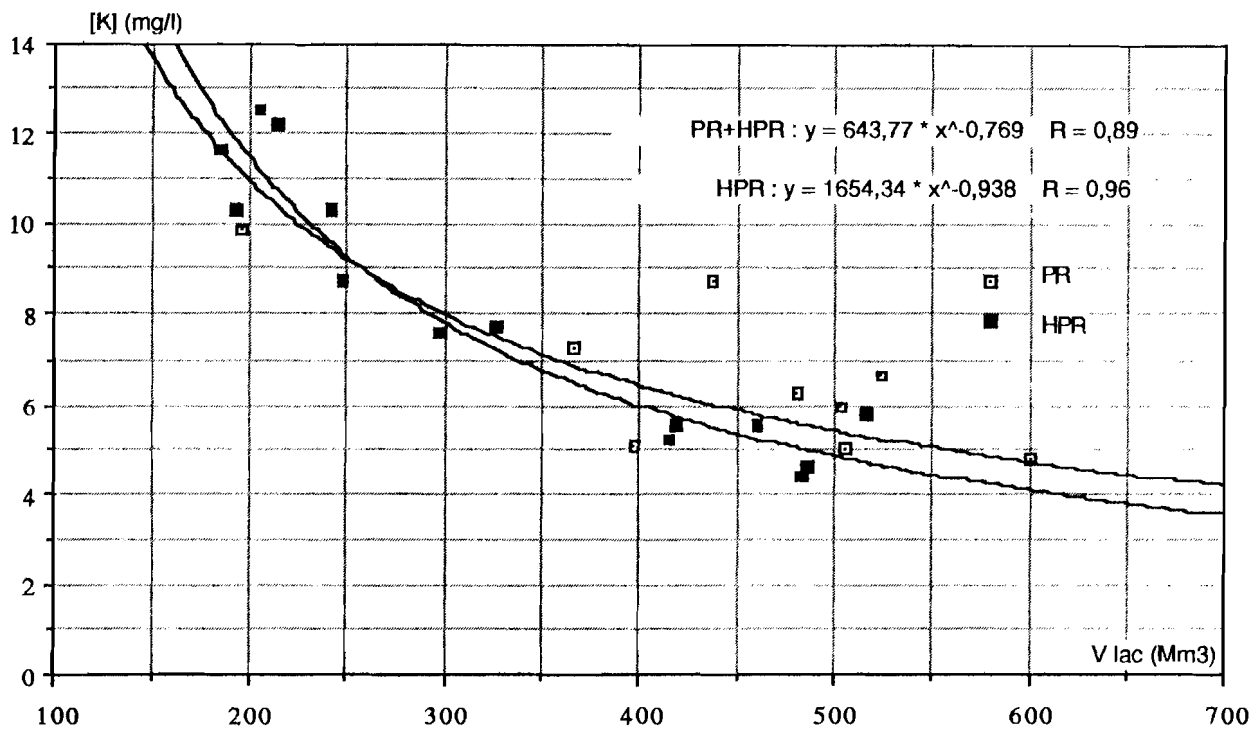


Fig. 28 : Corrélations entre le volume du Guiers (10^6 m^3) et sa teneur moyenne en potassium (mg/l) en phases de remplissage (PR) et d'isolement (HPR) du plan d'eau.

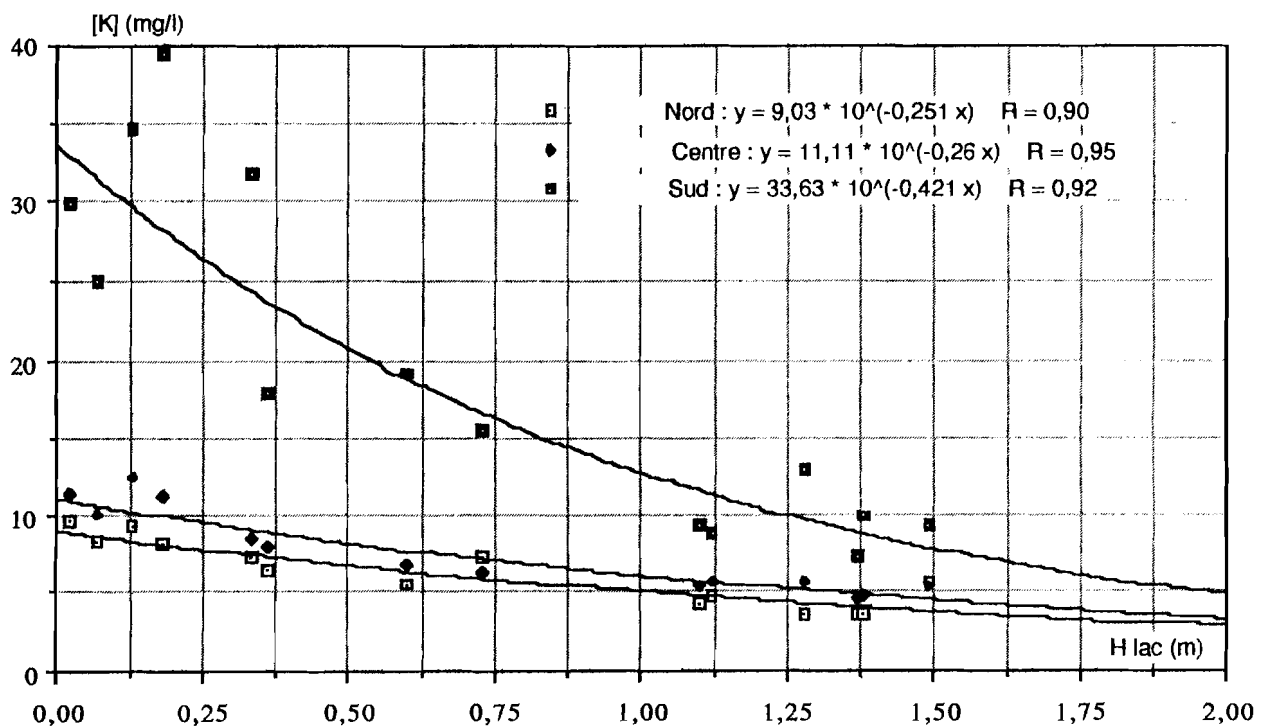


Fig. 29 : Corrélations entre la hauteur d'eau du Guiers (m IGN) et la concentration moyenne en potassium (mg/l) de ses 3 régions en phases d'isolement du plan d'eau.

2.4. Salinité et conductivité des eaux

a) Relation salinité - conductivité

La relation indiquée à la fig. 30 est établie sur la base des 350 mesures simultanées de conductivité et de salinité des eaux aux 13 stations et aux diverses séries d'échantillonnages. Cette relation est parfaitement linéaire avec un coefficient de corrélation de 1.00. La formule de régression permet alors le calcul croisé des 2 paramètres soit :

$$\text{Salinité (mg/l)} = 0.708 \text{ Conductivité } (\mu\text{mhos à } 25^\circ\text{C}) - 9.60$$

$$\text{Soit : } \text{Conductivité} = 1.41 \text{ salinité globale} + 13.60$$

b) Valeurs moyenne et régionales

L'évolution de la salinité moyenne, de la conductivité et du volume du Guiers sont indiqués à la fig. 31.

La relation unissant les valeurs moyennes des 2 paramètres aux différentes séries et le niveau moyen lacustre correspondant peut être calculée. Elle est présentée à la fig. 32.

Pour une hauteur d'eau de 1 m, la salinité moyenne du Guiers calculée sur la base de l'abaque proposée ici est ainsi de 227 mg/l, correspondant à une conductivité de 334 μmhos . Calculée non plus d'après la formule de corrélation proposée mais par simple addition des concentrations des différents éléments majeurs (tableau 2) elle est alors de 232 mg/l soit une conductivité de 341 μmhos .

Notons enfin qu'au cours des années hydrologiques 1989-90 et 1990-91, années de fonctionnement hydrologique normal du lac, le coefficient de concentration des eaux a été de 2.68 et de 2.11 respectivement. En 1991-92 par contre, le régime hydrologique du Guiers fut perturbé par une ouverture de la jonction fleuve-lac en dehors de la période normale, suivie d'une longue période de jonction fleuve-lac. Les apports fluviaux constants ont favorisé la stabilisation du niveau des eaux et celle de leur taux annuel de minéralisation qui n'atteint plus alors que 1.50.

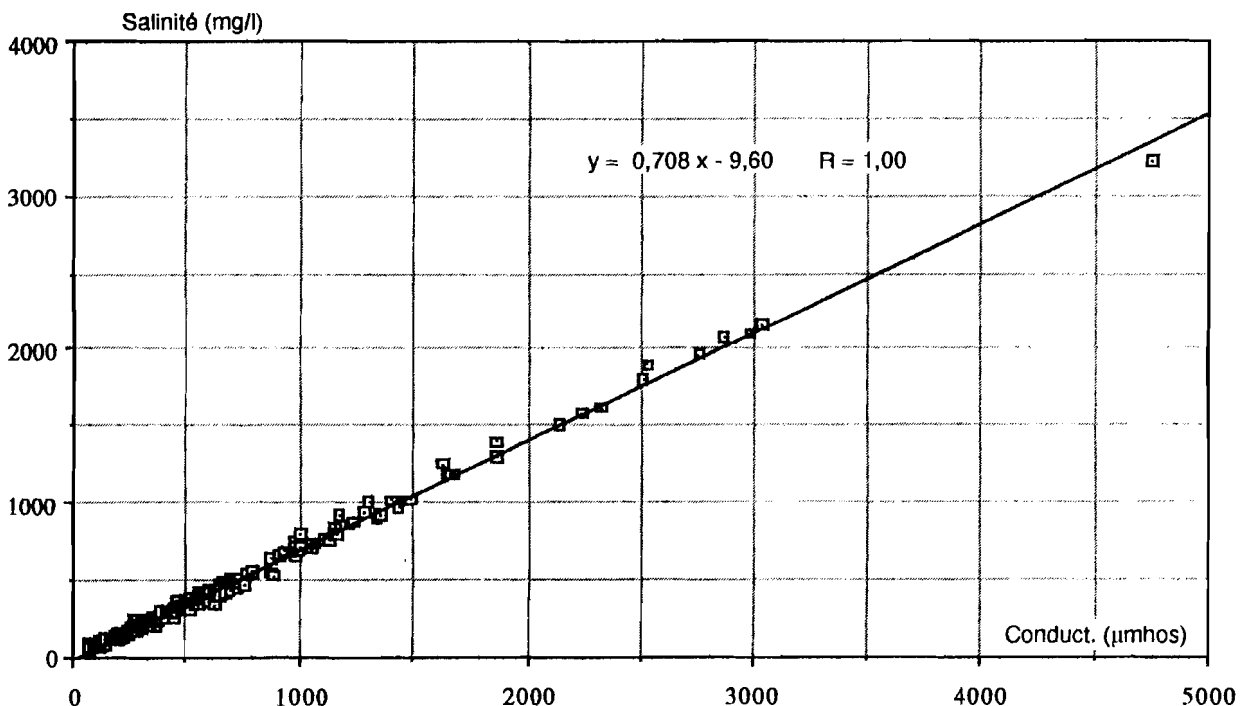


Fig. 30 : Corrélation entre la conductivité des eaux ($\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C) et la salinité du Guiers (mg/l).

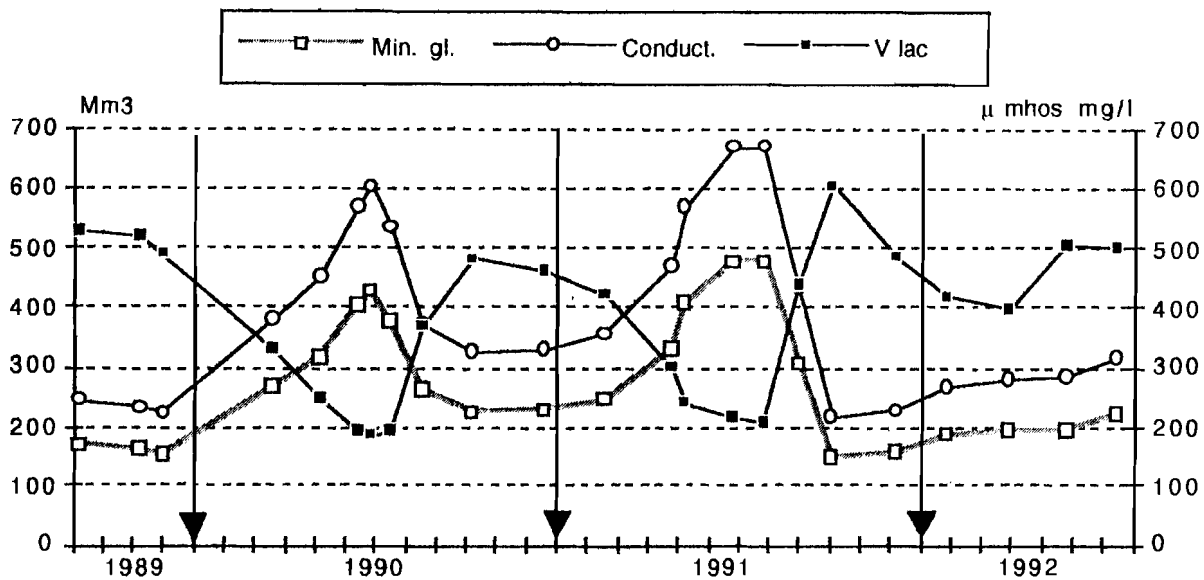


Fig. 31 : Evolution de la salinité moyenne du Guiers (mg/l), de la conductivité moyenne ($\mu\text{mhos/cm}$) et du volume de la réserve (10^6 m^3) entre 1989 et 1992.

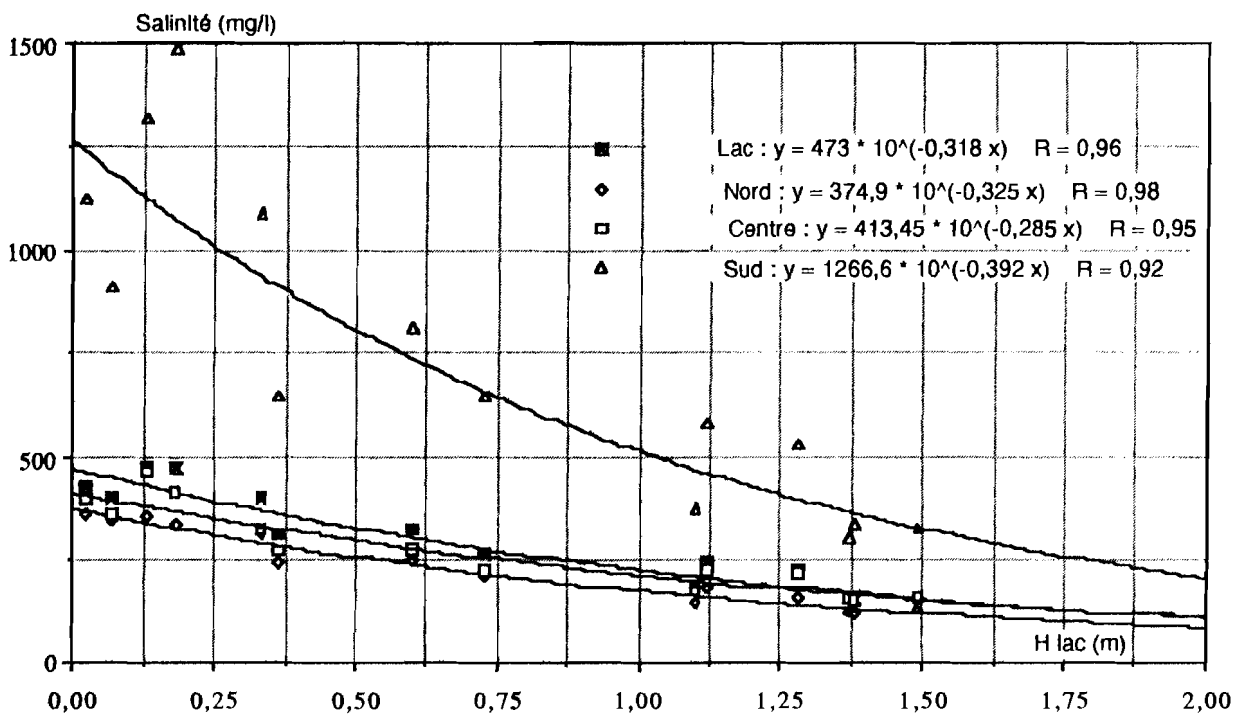


Fig. 32 : Corrélations entre la hauteur d'eau du Guiers (m IGN) et la salinité moyenne (mg/l) pour l'ensemble du lac et pour chacune de ses 3 régions en phases d'isolement.

Les abaques indiquées à la fig. 32 permettent aussi de calculer la salinité moyenne de chaque région du Guiers. A la cote 1 m IGN, elle est de 177 mg/l (264 μmhos) en région Nord, 215 mg/l (316 μmhos) au Centre et 514 mg/l (738 μmhos) en région Sud. Le facteur moyen de concentration Nord-Sud des eaux est ainsi de 2.9.

A noter que les valeurs de salinité régionale moyenne calculées de cette manière sont quasi identiques à celles calculés par simple addition des concentrations moyennes des différents éléments à la cote de 1 m (Tableau 2).

2.5. Synthèse

Le tableau 2 rassemble les diverses formules destinées au calcul de la composition moyenne des eaux du lac d'après la hauteur des eaux. Il indique aussi la concentration moyenne lacustre des divers éléments à la cote de référence de 1 m IGN et les valeurs extrêmes mesurées entre 1989 et 1992. La composition chimique moyenne du Guiers à la cote 1 m IGN est indiquée à la fig. 33.

Les fig. 34 et 35 indiquent ensuite la composition moyenne régionale du Guiers exprimée respectivement en mg/l et meq/l, pour une cote de référence de 1 m IGN

Le gradient de salinité Nord-Sud apparait très nettement. Comme on le constatera plus tard, les différences interzonales étaient beaucoup plus accentuées avant la mise en fonction du barrage de Diama.

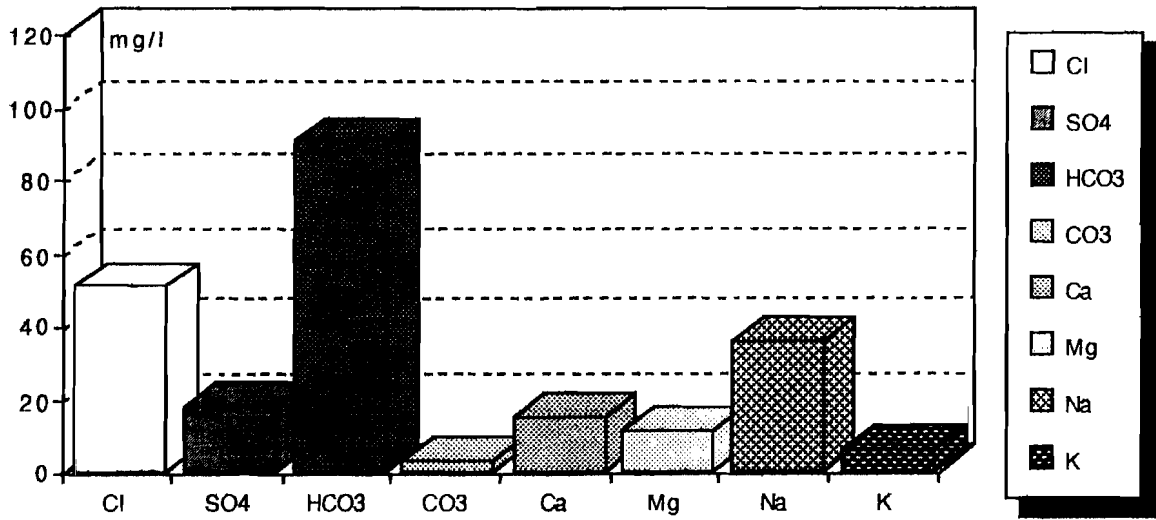


Fig. 33 : Composition chimique moyenne du Guiers à la cote de 1 m IGN (mg/l).

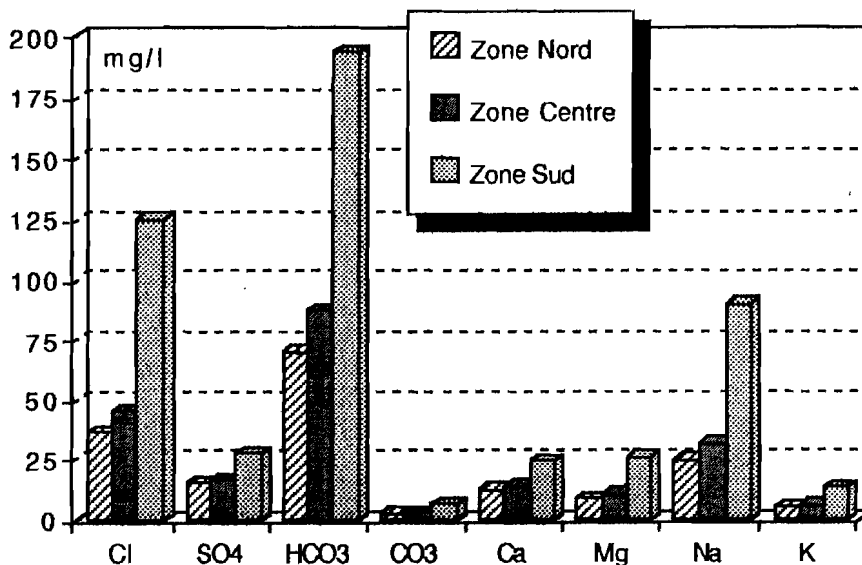


Fig. 34 : Composition chimique (mg/l) des eaux des régions Nord, Centre et Sud du Guiers à la cote de référence du plan d'eau de 1 m IGN.

			Lac	Zone Nord	Zone Centre	Zone Sud
Cl	$[Cl] = 254.7 \cdot 10^{(-0.00179 V \text{ lac})}$	moyenne à 1 m (HPR)	51,0	36,2	45,4	125,6
		Max. absolu		120,6	131,2	1205,6
		Min. absolu		4,3	19,9	49,6
SO4	$[SO4] = 85.7 \cdot 10^{(-0.00174 V \text{ lac})}$	moyenne à 1 m (HPR)	17,9	15,5	16,6	30,4
		Max. absolu		48,0	42,3	158,5
		Min. absolu		1,4	8,2	12,5
Alcalinité	$[HCO3+CO3] = 240.5 \cdot 10^{(-0.000905 V \text{ lac})}$	moyenne à 1 m (HPR)	94,5	72,7	90,1	200,2
		Max. absolu		146,0	184,0	854,0
		Min. absolu		24,0	45,0	57,0
Ca	$[Ca] = 30.5 - 0.04 V \text{ lac}$	moyenne à 1 m (HPR)	14,9	13,1	14,0	24,9
		Max. absolu		28,1	26,1	58,1
		Min. absolu		3,6	7,8	10,8
Mg	$[Mg] = 40 \cdot 10^{(-0.001397 V \text{ lac})}$	moyenne à 1 m (HPR)	11,5	8,6	10,5	26,0
		Max. absolu		19,5	25,5	158,1
		Min. absolu		1,6	5,5	10,8
Na	$[Na] = 178 \cdot 10^{(-0.001785 V \text{ lac})}$	moyenne à 1 m (HPR)	35,9	25,2	31,4	89,9
		Max. absolu		73,6	92,0	828,0
		Min. absolu		2,5	14,7	29,9
K	$[K] = 1654 \cdot V \text{ lac}^{(-0.938)}$	moyenne à 1 m (HPR)	6,1	5,1	6,1	12,8
		Max. absolu		11,0	13,7	89,9
		Min. absolu		1,6	3,5	5,9
Salinité	Salinité = $473 \cdot 10^{(-0.318 H \text{ lac})}$	moyenne à 1 m (HPR)	232	176	214	510
Conductivité (25°C)	Conductiv. = $683.6 \cdot 10^{(-0,318 H \text{ lac})}$	moyenne à 1 m (HPR)	340	262	315	732

Tableau 2 : Formulation des relations entre le volume du Guiers et sa teneur moyenne pour les divers éléments dissous. Qualité moyenne des eaux du lac et de ses 3 régions à la cote de 1 m IGN et valeurs extrêmes mesurées (mg/l).

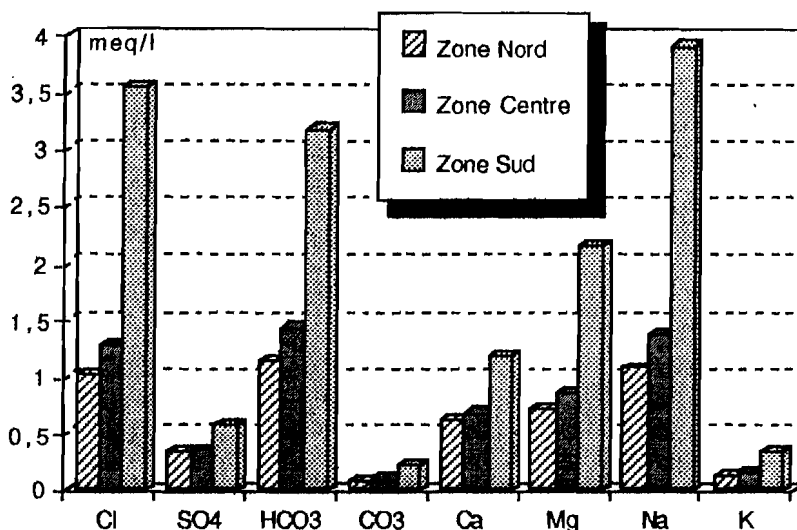


Fig. 35 : Composition chimique (meq/l) des eaux des régions Nord, Centre et Sud du Guiers à la cote de référence du plan d'eau de 1 m IGN.

3. Evolution de la qualité des eaux au cours des 15 dernières années.

Une étude de la qualité des eaux du Guiers a été réalisée entre 1979 et 1982 (COGELS, 1984) aux mêmes stations que celles retenues au cours des séries d'échantillonnages 1989-92. 28 séries de mesures ont été effectuées à cette époque d'avant la mise en fonction du barrage de Diama. La méthodologie des 2 études est identique et les résultats enregistrés aux 2 périodes peuvent donc être comparés.

Le bilan qualitatif du Guiers 1979-82 a déjà été publié (COGELS, 1984; GAC et COGELS, 1986 COGELS et GAC, 1987), et seule la synthèse sera présentée ici.

La comparaison de la qualité des eaux aux 2 périodes peut être établie sur 2 bases différentes.

- Soit la comparaison qualitative est établie pour une même hauteur d'eau dans le lac aux 2 périodes. Dans ce cas, les régressions [Volume du lac (ou hauteur d'eau)/ concentration des divers éléments] sont d'abord calculées puis les concentrations respectives des 2 périodes comparées.

- Soit la comparaison est établie non plus pour une hauteur d'eau identique aux 2 périodes mais sur la base de la hauteur d'eau moyenne réelle de chacune des 2 périodes.

Cette seconde approche est donc plus représentative de la situation exacte qui prévalait à chaque époque et permet de mieux comprendre leurs conséquences sur l'environnement.

Les tableaux 3 et 4 synthétisent l'ensemble des caractéristiques physicochimiques des périodes antérieures et postérieures à 1985, année de la mise en fonction du barrage de Diama.

3.1. Pour une hauteur d'eau identique aux 2 périodes (fig. 36), soit 1 m :

- la salinité moyenne du lac ne s'est pas modifiée, soit 229 mg/l en période 1 et 232 mg/l en période 2. Les différences sont cependant sensibles de région à région avec une augmentation des teneurs moyennes en régions Nord et Centre de 25 et 19 % et une diminution bien marquée en région méridionale (-25 %).

- La concentration de tous les éléments a augmenté en régions Nord et Centre; l'inverse est constaté en région Sud où les diminutions sont générales et de l'ordre de 20 à 25 % pour les chlorures et le sodium.

La salinité moyenne du lac n'a pas changé : elle était de 229 mg/l en 1979-82; elle est de 232 mg/l aujourd'hui.

Le stock de sels dissous dans le lac n'a donc pas régressé depuis la mise en fonction de Diama.

Les augmentations de la salinité en régions Nord et Centre et la diminution simultanée en région Sud ne s'expliquent que par l'importance quantitative et la charge minérale des rejets de la CSS à l'extrémité Nord du Guiers d'une part et par l'impact des chasses d'eau vers la vallée du Ferlo, effectuées depuis 1989, d'autre part.

L'application d'un premier modèle de gestion globale des eaux permettra de mieux comprendre et de justifier cette évolution. (cf. 5).

	1979-82				1989 - 92			
	Lac	RN	RC	RS	Lac	RN	RC	RS
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Cl	51,7	30,2	38,3	164,6	51,0	36,2	45,4	125,6
SO4	11,0	7,5	3,2	46,1	17,9	15,5	16,6	30,4
Alc.	99,2	63,2	88,3	264,5	94,5	72,7	90,1	200,2
Ca	17,0	12,8	15,4	37,6	14,9	13,1	14,0	24,9
Mg	10,5	3,6	8,2	32,7	11,5	8,6	10,5	26,0
Na	34,2	22,1	23,3	114,5	35,9	25,2	31,4	89,9
K	5,5	1,7	4,1	18,0	6,1	5,1	6,1	12,8
Σ	229,1	141,1	180,8	678,0	231,8	176,4	214,1	509,8
	Lac	RN	RC	RS	Lac	RN	RC	RS
	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Cl	1,46	0,85	1,08	4,64	1,44	1,02	1,28	3,54
SO4	0,23	0,16	0,07	0,96	0,37	0,32	0,35	0,63
Alc.	1,63	1,04	1,45	4,33	1,55	1,19	1,48	3,28
Ca	0,85	0,64	0,77	1,88	0,74	0,65	0,70	1,24
Mg	0,86	0,30	0,87	2,69	0,95	0,71	0,86	2,14
Na	1,49	0,96	1,01	4,98	1,56	1,10	1,37	3,91
K	0,14	0,04	0,10	0,46	0,16	0,13	0,16	0,33
Σ Anions	3,3	2,0	2,6	9,9	3,4	2,5	3,1	7,5
Σ Cat.	3,3	1,9	2,6	10,0	3,4	2,6	3,1	7,6

Tableau 3 : Qualité moyenne du lac et de ses régions Nord (R N), Centre (R C) et Sud (R S) durant la période 1979-82 et 1989-92, pour une même hauteur d'eau de 1 m IGN.

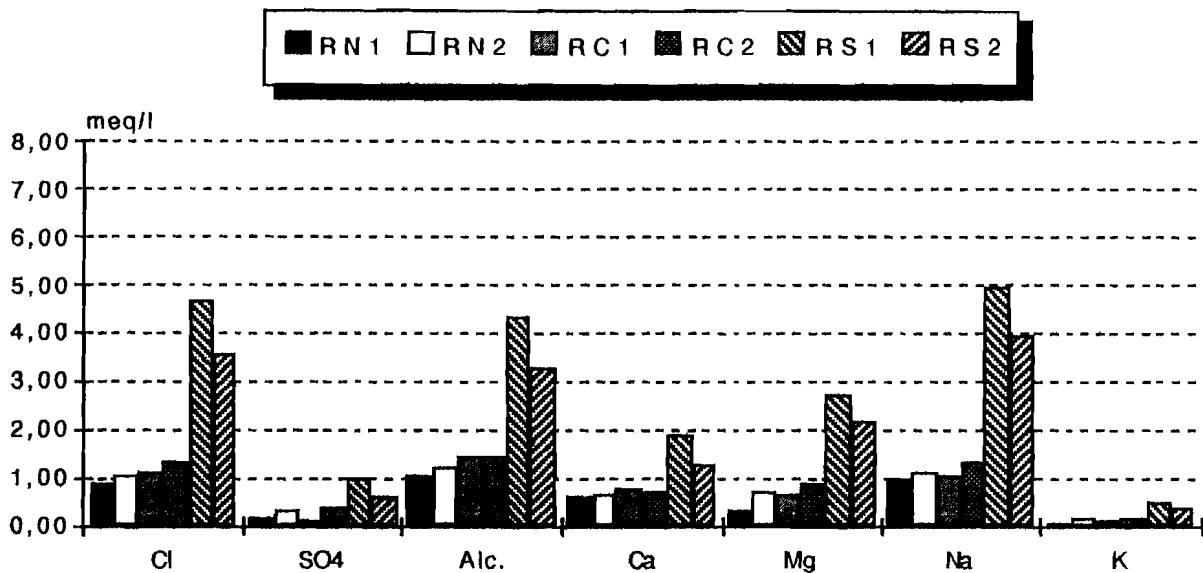


Fig. 36 : Qualité chimique (meq/l) des eaux des régions Nord (RN), Centre (RC) et Sud (RS) en 1979-82 (1) et 1989-92 (2), et pour un niveau d'eau dans le lac d'1 m IGN.

3.2. Pour une hauteur d'eau correspondant à la moyenne respective des 2 périodes (fig. 37) :

- Par rapport à la période 1979-82, la diminution des concentrations moyennes lacustres des différents éléments est quasi générale durant la période post-Diama.

La salinité moyenne du lac a régressé de 20 %, passant de 307 à 245 mg/l, celle des régions Nord, Centre et Sud de 7, 13 et 48 %.

Seule la teneur en magnésium en région Nord augmente très nettement depuis 1985. L'augmentation des sulfates et du potassium est aussi constatée en régions Nord et Centre durant cette période.

Si le stock des éléments dissous dans le lac a peu changé depuis la mise en fonction de Diama, les conditions de milieu se sont par contre fortement modifiées et se caractérisent par une diminution nette de la salinité du lac. Ce changement est dû à priori et uniquement à la meilleure dilution des eaux du lac grâce à des remplissages du lac nettement plus importants depuis 1985. (COGELS et al.,1990; COGELS et al.,1993).

4. Application d'un premier modèle de gestion globale des eaux

4.1. Présentation succincte du modèle

Le but du modèle de gestion globale des eaux est de simuler les effets qualitatifs liés aux modifications de régime hydrologique du réservoir et aux impacts des apports chimiques extérieurs.

La concentration dans le lac de l'élément X au temps t est égale au stock de l'élément présent à ce moment divisé par le volume de la réserve. Le bilan qualitatif entre le temps t et t+1 est la résultante des entrées-sorties des divers éléments durant cette période (fig. 6). Ceci est valable dans le cas d'un plan d'eau qualitativement homogène ce qui n'est pas le cas du Guiers. Il faudra par conséquent introduire dans les calculs la notion de variations temporelles et spatiales des concentrations.

	1979 - 82				1989 - 92			
	Lac	RN	RC	RS	Lac	RN	RC	RS
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Cl	77,5	48,0	60,6	247,9	54,7	38,7	48,1	118,8
SO4	11,0	11,0	6,6	72,1	19,2	17,6	16,5	30,7
Alc.	124,2	86,5	116,0	317,9	98,4	75,6	93,1	184,3
Ca	20,8	17,0	19,1	41,3	15,6	13,7	14,5	23,3
Mg	14,5	5,9	12,0	45,1	12,1	9,1	11,0	24,7
Na	51,5	30,8	36,7	172,5	38,5	26,9	33,3	84,9
K	7,4	2,7	6,1	24,2	6,4	5,3	6,4	12,9
Σ	306,9	201,9	257,1	921,0	244,9	186,9	222,9	479,5
	1979 - 82				1989 - 92			
	Lac	RN	RC	RS	Lac	RN	RC	RS
	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Cl	2,19	1,35	1,71	6,99	1,54	1,09	1,36	3,35
SO4	0,23	0,23	0,14	1,50	0,40	0,37	0,34	0,64
Alc.	2,03	1,42	1,90	5,21	1,61	1,24	1,53	3,02
Ca	1,04	0,85	0,95	2,06	0,78	0,69	0,72	1,16
Mg	1,19	0,49	0,99	3,71	1,00	0,75	0,90	2,03
Na	2,24	1,34	1,60	7,50	1,67	1,17	1,45	3,69
K	0,19	0,07	0,15	0,62	0,16	0,14	0,16	0,33
Σ Anions	4,4	3,0	3,7	13,7	3,6	2,7	3,2	7,0
Σ Cat.	4,7	2,7	3,7	13,9	3,6	2,7	3,2	7,2

Tableau 4 : Qualité moyenne du lac et de ses régions Nord (R N), Centre (R C) et Sud (R S) durant la période 1979-82 et 1989-92, pour une hauteur d'eau correspondant à la moyenne respective des 2 périodes (0,38 m en 1979-82 et 0,94 m en 1989-92).

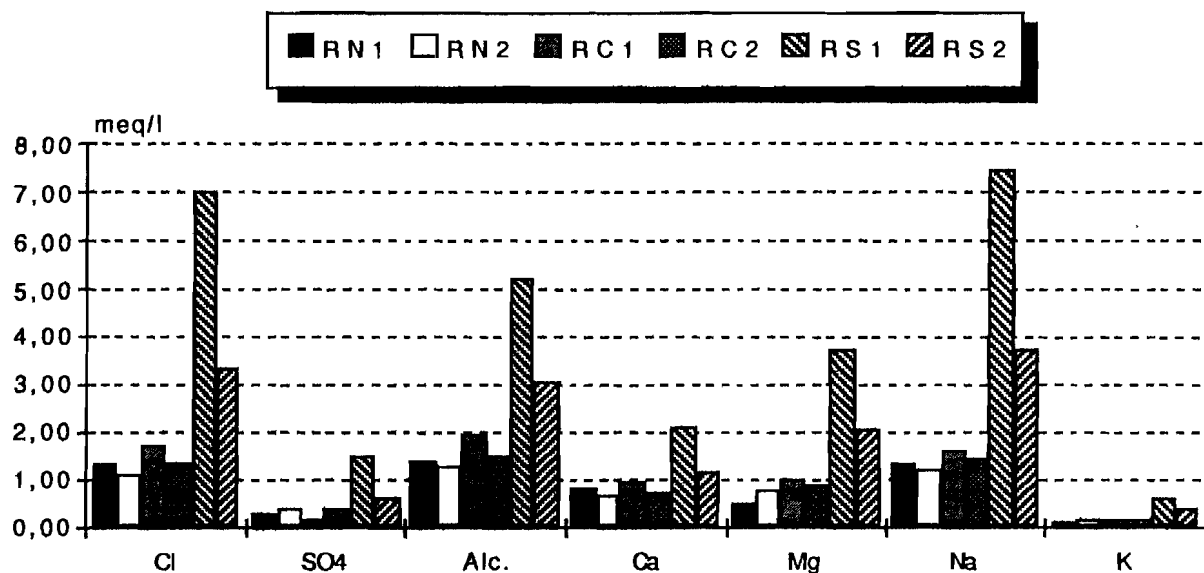


Fig. 37 : Qualité chimique (meq/l) des eaux des régions Nord (RN), Centre (RC) et Sud (RS) en 1979-82 (1) et 1989-92 (2), et pour un niveau d'eau du lac moyen des 2 périodes soit 0,38 et 0,93 m IGN.

Le tableau 5 ci dessous indique les différents paramètres hydrologiques et qualitatifs pris en compte par le modèle et précise le mode de calcul des paramètres non constants. Les termes repris dans le tableau se réfèrent à ceux indiqués à la fig. 6.

APPORTS				
	<u>Fleuve</u>	<u>Rejets CSS</u>	<u>Pluies</u>	
Param. Hydrologiques	V1	V2	V3	
calcul	Modèle LGPLG	données CSS	Modèle LGPLG	
Param. qualitatifs	q1	q2	q3	
calcul	mesures	mesures	mesures	
PERTES				
	<u>Lâchers Ferlo</u>	<u>Pomp. SONEES</u>	<u>Irrigation</u>	<u>Evaporation</u>
Param. Hydrologiques	V4	V5	V6	V7
calcul	Modèle LGPLG	mesures	mesures	Bil.hydr.76-92
Param. qualitatifs	q4	q5	q6	
calcul	SM1	SM2	qual. m. lac	

Tableau 5 : Synthèse et appellations des termes du bilan hydrologique utilisés dans le modèle qualitatif et leurs modes de calculs respectifs.

Le modèle qualitatif établit donc le bilan quotidien entrées - sorties des divers éléments du temps t au temps t1 soit :

$$q_L(t1) = \frac{M(t1)}{V_L(t1)} = \frac{M(t) + \Delta M}{(V_L(t) + \Delta V)}$$

$$= \frac{[M(t) + (V1_{(\Delta t)} \cdot q1) + (V2_{(\Delta t)} \cdot q2) + (V3_{(\Delta t)} \cdot q3) - (V4_{(\Delta t)} \cdot q4) - (V5_{(\Delta t)} \cdot q5) - (V6_{(\Delta t)} \cdot q6)]}{V_L(t) + (V1 + V2 + V3 - V4 - V5 - V6 - V7)_{(\Delta t)}}$$

q : concentration de l'élément dissous dans le lac (q_L) ou dans les apports et pertes (q1 à q6)

M : stock de l'élément dans le lac

V : Volume du lac (V_L) ou des apports et pertes (V1 à V7)

- Les termes hydrologiques V1 et V3 peuvent être calculés au moyen du modèle de gestion quantitative des eaux du Guiers LGPLG déjà fonctionnel (EVORA et al. 1991; COGELS et al., 1992 a)

- Les termes V2, V5 et V6 sont quantifiés d'après les données de terrain.

- Le terme V4 peut être calculé au moyen du modèle LGPLG . En cas d'ouverture simultanée de la jonction fleuve - lac il est alors estimé.

- Enfin le terme V7 est calculé quotidiennement par multiplication de la hauteur d'eau moyenne quotidienne évaporée de ce jour X par la surface moyenne du lac ce même jour (COGELS, 1991).

A noter que les échanges éventuels entre le lac et les nappes phréatiques superficielles ne sont pas pris en compte car jamais encore quantifiés. Ils semblent très réduits (COGELS, 1984) et ne doivent pas influencer nettement la qualité des eaux du Guiers.

Sans entrer ici dans les détail, les données qualitatives quotidiennes correspondant aux divers éléments du bilan hydrologique sont basées sur :

- les mesures de terrain pour les termes q1, q2 et q3.
- le sous modèle SM1 pour le terme q4, basé sur les formules de corrélation entre la qualité moyenne du lac et celle enregistrée à son extrémité Sud.
- le sous modèle SM2 qui calcule l'évolution de la qualité des eaux à la station de pompage de la SONEES (q5), au départ de la qualité moyenne du lac (COGELS et al., 1992 b).
- la qualité des eaux destinées à l'irrigation (q6) est considérée comme identique à la qualité moyenne du lac. Elle est calculée quotidiennement d'après le bilan qualitatif présenté.

4.2. Test de fiabilité du modèle

Le modèle a été testé sur la période 1989-1992 correspondant à celle des analyses qualitatives du lac. L'évolution des chlorures a été choisie comme base pour le test du modèle vu le caractère conservatif de l'élément.

La fig. 38 ci dessous indique :

- l'évolution théorique de la chlorinité moyenne dans le lac calculée par le modèle de janvier 1989 à décembre 1992.
- les chlorinités moyennes du lac à chacune des 23 séries d'échantillonnages et calculées selon la méthode proposée précédemment.(cf 2.3.a).
- les mesures de la chlorinité moyenne du Guiers sur la base des mesures effectuées plusieurs fois par semaine au laboratoire de la SONEES à N'Gnith (station 12). Les corrélations entre la qualité des eaux à la station 12 et la qualité moyenne du lac ont été établies précédemment. (COGELS et GAC, 1992)

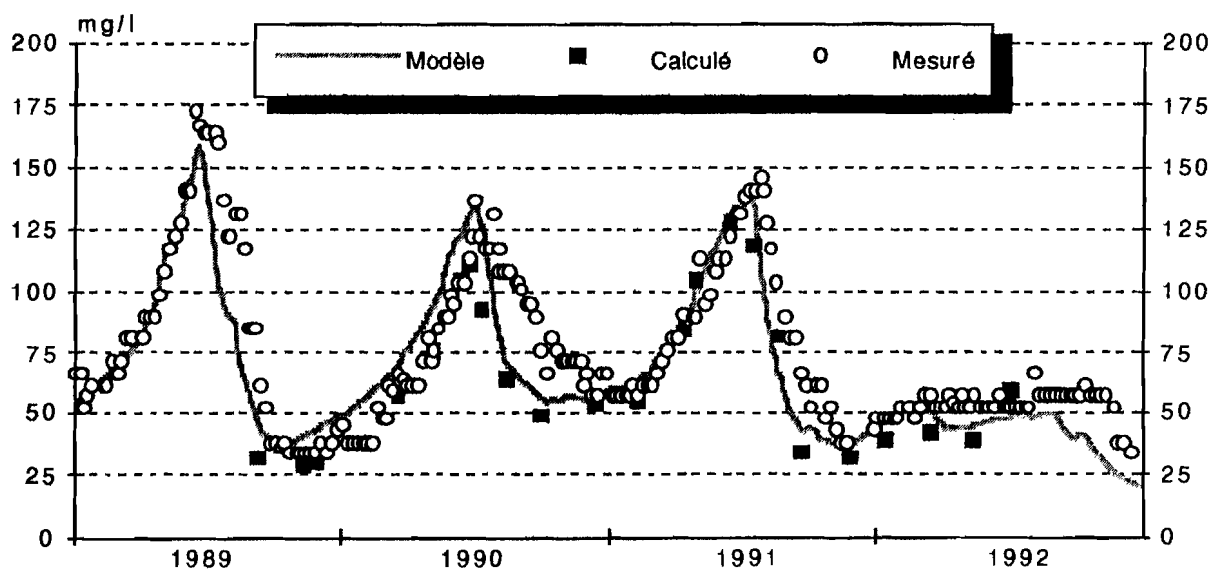


Fig. 38 : Evolution de la chlorinité moyenne du lac (mg/l) entre 1989 et 1992, simulée par le modèle, calculée par la méthode des bilans par zone aux 23 séries d'échantillonnages et obtenue d'après les mesures de la station de N'Gnith.

Selon les résultats obtenus, le modèle est fiable même si des améliorations ultérieures sont à apporter. Il reflète bien la chlorinité moyenne du Guiers et pourra être utilisé pour expliquer

l'évolution récente de la qualité des eaux, déterminer l'impact des interventions extérieures comme les rejets de la CSS ou l'effet des chasses d'eau vers la vallée du Ferlo et enfin prévoir l'évolution future de la qualité dans la perspective de la mise en fonction du canal de Cayor à l'horizon 2000.

4.3. Applications du modèle

a) Evolution récente de la salinité des eaux

Sur la base des comparaisons de salinité dans le lac entre les périodes 1979-82 et 1989-92, il avait été conclu (cf. 3.1.) que l'actuelle diminution de la salinité moyenne constatée au Guiers était due à la dilution plus importante de ses eaux favorisée par de meilleurs remplissages de la réserve et non à une réduction du stock des éléments dissous.

Grâce au modèle on peut maintenant calculer l'évolution théorique du stock de chlorures dans le lac durant la période 1989-92 puis la comparer avec celle d'avant la mise en fonction du barrage de Diama. La période 1979-1982 a servi de référence.

La fig. 39 compare ces 2 évolutions théoriques basées uniquement sur la quantification des termes des bilans hydrologiques et leur qualité respective.

On remarque tout d'abord que le stock des chlorures dissous de la période 1989-92 reste pratiquement toujours supérieur à celui de la période 1979-82. Ceci confirme donc les hypothèses de stabilisation du stock moyen annuel des éléments dissous dans le réservoir.

Fin des années 1989, 1991 et surtout 1992, on remarque chaque fois une baisse très nette du stock des chlorures. Ces périodes correspondent aux lâchers vers le Ferlo avec évacuation des eaux méridionales les plus minéralisées. On remarque aussi que les faibles lâchers de 1990 n'ont pas été suffisants que pour réguler le stock des chlorures dissous en compensant les apports des rejets de la CSS.

Les lâchers vers le Ferlo jouent donc bien un rôle qualitatif régulateur essentiel et c'est donc uniquement la meilleure dilution des eaux du Guiers favorisée par les bons remplissages de ces dernières années qui a permis la baisse du taux de salinité.

b) Effets des lâchers vers la vallée du Ferlo et des rejets de la CSS sur la chlorinité du lac

Les conclusions du paragraphe précédent soulignaient le rôle qualitatif à première vue essentiel joué par les lâchers vers le Ferlo qui ne sont effectifs que depuis 1988. L'effet qualitatif des lâchers est particulièrement sensible en 1992, les vannes de la digue Sud du lac ayant été ouvertes dès la mi septembre jusqu'à fin décembre.

Il est donc intéressant de simuler maintenant plusieurs options de gestion du réservoir avec ou sans les rejets CSS et les lâchers annuels vers le Ferlo.

4 options de gestion ont été envisagées et les résultats des simulations sur la chlorinité moyenne du Guiers sont présentés à la fig. 40 soit :

- option A : situation réelle 1989-92 avec rejets CSS (V2) et lâchers au Ferlo (V4).
- option B : simulation sans lâchers au Ferlo mais avec rejets CSS
- option C : simulation sans lâchers ni rejets
- option D : simulation avec lâchers au Ferlo mais sans rejets CSS.

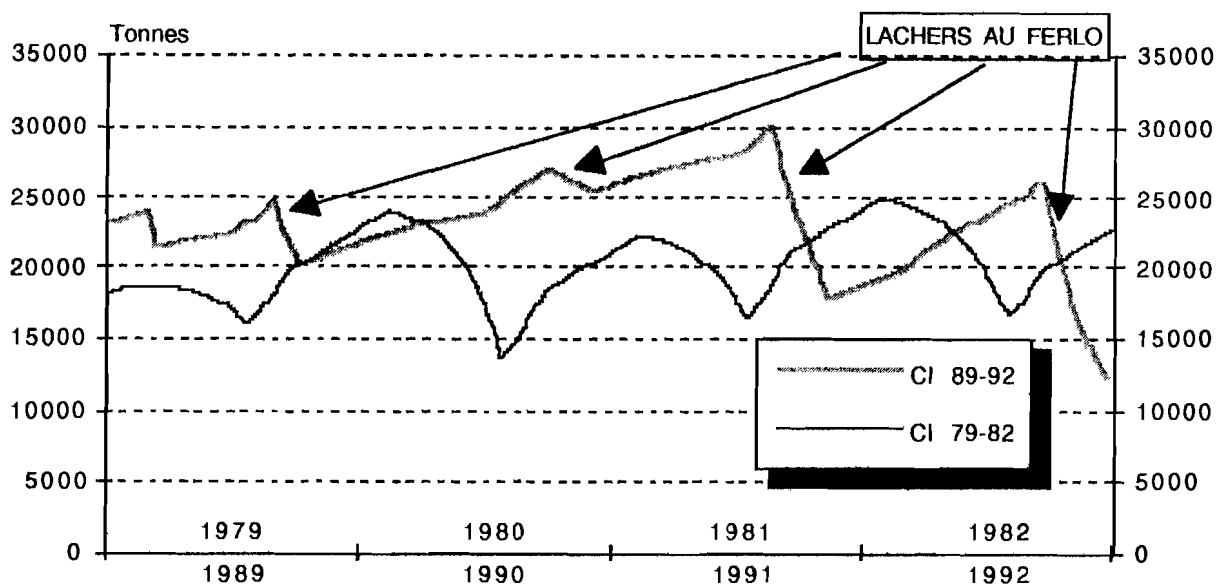


Fig. 39 : Evolution du stock de chlorures dans le lac durant les périodes 1979-82 et 1989-92 (tonnes).

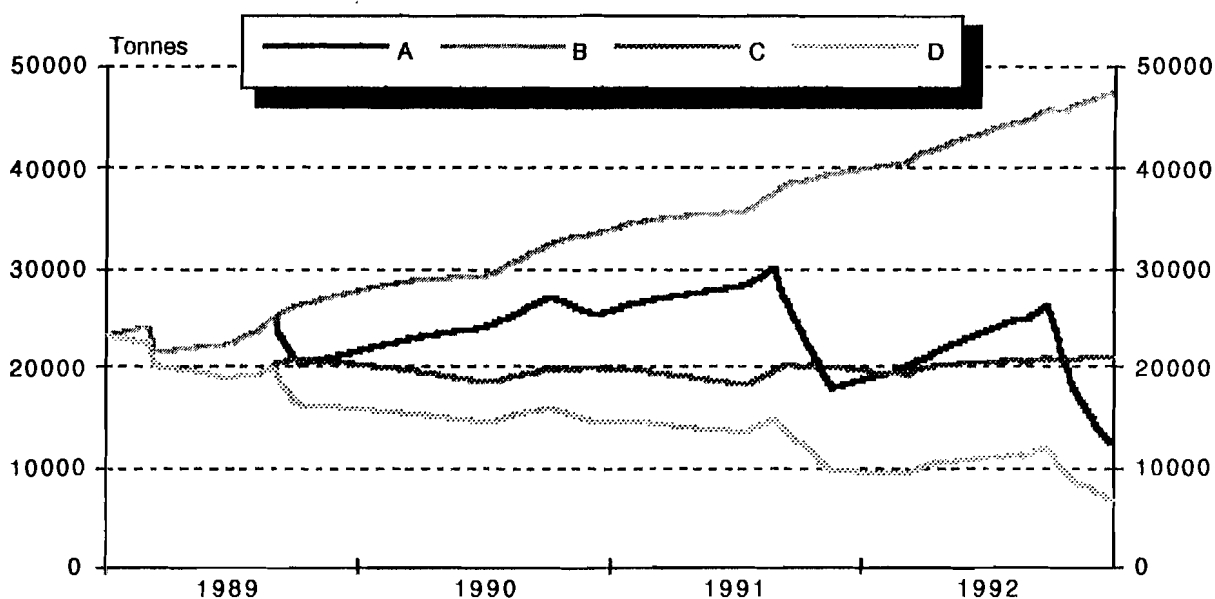


Fig. 40 : Evolution théorique du stock des chlorures dissous dans le lac (tonnes) selon 4 options de gestion.

- En situation réelle, (option A), le stock des chlorures dans le lac a diminué de près de 50 % entre le 1/1/1989 et le 31/12/1992. L'effet sur le stock des lâchers annuels vers la vallée du Ferlo est très net.

- Interrompre les lâchers au Ferlo (option B) induit immédiatement une nette augmentation du stock des chlorures sous l'effet principal des rejets de la CSS. Dans ce cas et en 4 ans, la chlorinité moyenne aurait augmenté de 50 % et le stock de Cl aurait doublé.

- Par rapport à l'option A, l'option C qui prévoit l'interruption simultanée des rejets CSS et des lâchers induit une diminution plus faible du stock de chlorures, de l'ordre de 8 %. Seuls les divers

pompages autour du lac en sont la cause. Les apports fluviaux très peu minéralisés ne compensent donc pas complètement les pertes du stock et induisent ainsi la baisse lente et progressive de salinité.

- L'option D est la plus favorable à une baisse rapide de la chlorinité puisqu'elle conjugue les effets des lâchers au Ferlo avec la suppression des rejets de la CSS. Dans ce cas on observe en 4 ans une diminution d'environ 70 % du stock de chlorures dans le Guiers.

Rejets CSS et lâchers au Ferlo sont donc les éléments fondamentaux du système et de l'évolution qualitative des eaux du Guiers.

Un rapide calcul montre en effet que l'apport annuel en chlorures par la CSS est d'environ 8500 tonnes par an. Pour une hauteur d'eau moyenne de 1 m, la chlorinité du lac est de 50 mg/l soit un stock de l'élément de quelques 20000 tonnes.

L'apport annuel des rejets de la CSS représente ainsi plus de 40 % du stock. On imagine donc aisément l'évolution de la chlorinité des eaux si les lâchers au Ferlo étaient interrompu. L'année 1990 en est un bel exemple puisque, suite à la réduction de ces lâchers, on remarque la progression immédiate du stock de chlorures dans le lac.

4.4. Perspectives qualitatives futures

La mise en fonction du canal de Cayor, destiné entre autres à l'alimentation en eau douce de la ville de Dakar et de la presqu'île du Cap-Vert, est prévue aux environs de l'an 2000. Le point de départ de ce canal de 250 km se situe à l'extrémité Sud du lac qui servira donc de lieu de transit aux eaux fluviales destinées aux régions Sud du pays.

a) Les facteurs déterminants de l'évolution qualitative future du Guiers

La qualité des eaux du Guiers sera nettement influencée par la mise en fonction du canal dont les besoins annuels seront très importants, proches du volume maximum actuel du réservoir. Les apports massifs d'eau fluviale très douce modifieront ainsi radicalement la salinité du Guiers. Ces modifications peuvent être prévues par le modèle qualitatif mis au point mais certaines formules de corrélations qui le composent devront être adaptées au nouveau système du fait d'un déplacement des masses d'eau dans la réserve plus important accompagné de changements plus ou moins sensibles du sens de leur circulation.

Plusieurs facteurs influenceront l'évolution qualitative du lac :

- L'importance volumétrique des apports fluviaux et leur qualité

Ils seront dépendants des besoins du canal, de ceux des cultures irriguées autour du lac et de l'usine de production d'eau potable. A plein régime, les besoins du canal sont estimée à 20 m³/s environ, soit un total annuel de quelques 630 millions de m³ soit aussi l'équivalent du volume du lac à sa cote de remplissage de 1,90 m IGN, cote de remplissage maximale aujourd'hui compte tenu des hauteurs des endiguements périphériques.

En estimant à 35 millions de m³ par an les besoins futurs des cultures irriguées autour du Guiers et à quelques 15 à 20 millions de m³ ceux de l'usine de production d'eau potable, la consommation totale annuelle d'eau dans la réserve approcherait des 700 millions de m³. Si l'on prend en compte les pertes par évaporation du plan d'eau soit 550 millions de m³ annuellement (pour un niveau stabilisé à la cote de 1 m), on devine alors mieux les effets qualitatifs sur le lac des quelques 1250 millions de m³ d'apports fluviaux nécessaires annuellement pour assurer les besoins des divers utilisateurs.

Ces estimations sommaires ne laissent cependant rien présager de l'avenir puisque les besoins du canal de Cayor dépendront aussi de la mise en place de cultures irriguées le long de son parcours ce qui n'est pas acquis aujourd'hui.

- La gestion limnimétrique du lac .

Elle se résume à 2 grandes options :

1. Soit laisser la jonction fleuve-lac ouverte en continu (cf. fig.1), le Guiers n'étant alors qu'une zone de transit des eaux fluviales dirigées vers le canal de Cayor. Dans ce cas les hauteurs d'eau dans le lac seront celles du fleuve et de la réserve de Diama, très stables la majeure partie de l'année.

Cette solution de facilité risque d'avoir des conséquences négatives sur l'environnement du lac dont la prolifération récente de la végétation est un premier exemple (COGELS et al. 1993). D'autre part, ce mode de gestion à niveau stable interdit évidemment la valorisation agricole des terres de décrue. Enfin, il risque d'engendrer d'inutiles pertes par évaporation à cause d'une hauteur d'eau dans le lac supérieure aux nécessités.

2. Soit gérer le lac de manière indépendante du fleuve, en assurant en cours d'année quelques remplissages ponctuels qui permettent de respecter une évolution du niveau des eaux imposée par le gestionnaire du réservoir (et non plus par les conditions de hauteur d'eau dans le fleuve) ou en quantifiant avec précision les apports fluviaux nécessaires s'ils doivent s'effectuer en continu.

Les variations de niveau engendrées par ce type de gestion permettraient un meilleur contrôle de l'environnement végétal du Guiers, favoriseraient la mise en valeur des terres de décrue et limiteraient les pertes par évaporation. Enfin, les phases de remplissage du Guiers pourraient être "calées" en fonction des périodes de plus grande disponibilité d'eau fluviale elle-même destinée prioritairement aux cultures irriguées dans la vallée du Sénégal.

Par son effet sur la dilution des eaux, le type de gestion limnimétrique du lac va influencer nettement l'évolution de la qualité du Guiers. Il est cependant évident que si, selon le schéma possible de consommation présenté plus haut, les besoins totaux annuels d'eau fluviale sont équivalents à 2 fois le volume du plan d'eau, le mode de gestion de la réserve n'influencera que peu son évolution qualitative.

- l'importance des rejets CSS

Leur importance qualitative sur le lac sera fonction de leur taux de dilution dans le Guiers, lui même dépendant des apports fluviaux et de la gestion quantitative retenue. Actuellement, les rejets de la station principale (cf. fig. 1) ont une salinité globale qui varie de 800 à 1300 mg/l, en fonction des périodes de l'année et de l'intensité du drainage. La chlorinité de ces eaux varie de 200 à 600 mg/l. Les débits sont par contre assez constants et varient de 80 à 90000 m³/jour. Les eaux de la station R2 mise en service récemment sont plus chargées et très riches en sulfates à cause du gypse employé pour le désalement des terres nouvelles des cultures. Le pH des eaux de la nouvelle station de rejets CSS à l'Est de l'embouchure de la Taoué dans le lac est souvent de l'ordre de 3 seulement.

Le devenir des rejets CSS conditionne donc pour beaucoup l'évolution qualitative future des eaux du Guiers. Les simulations indiquées ci après le prouvent entièrement. Il n'existe cependant pas d'alternatives à ces déversements très minéralisés, la nature des sols et du sous sol sursalé nécessitant leur drainage permanent. Le branchement des rejets CSS sur le collecteur général des eaux de drainage prévu pour l'ensemble de la basse vallée apporterait une solution mais le coût d'un tel ouvrage retardera sans doute sa construction.

b) Simulations

3 simulations de l'évolution qualitative future du Guiers ont été effectuées au moyen du modèle de gestion globale. Les paramètres inclus au modèle sont indiqués au tableau 6. Les simulations ne prendront en compte que les chlorures qui sont un bon témoin de l'évolution de la salinité globale d'une eau.

Les apports pluviométriques ne seront pas pris en compte à cause de leur grande irrégularité interannuelle

Simulation	A	B	C
Niveau lac	constant 1,5 m	variable 1,80 à 0,50 m	variable 1,80 à 0,50 m
Besoins du canal	10 m ³ /s	10 m ³ /s	15 m ³ /s
Irrigation	0,1 Mm ³ /jour	0,1 Mm ³ /jour	0,1 Mm ³ /jour
Eau potable	0,05 Mm ³ /jour	0,05 Mm ³ /jour	0,05 Mm ³ /jour
Rejets CSS	0,1 Mm ³ /jour	0,1 Mm ³ /jour	0,1 Mm ³ /jour
Composition rejets	275 mg/l	275 mg/l	275 mg/l

Tableau 6 : Paramètres hydrologiques inclus dans les 3 options de gestion future du Guiers.

Les 3 simulations débutent avec un stock de chlorures dans le lac identique à celui au 1er janvier 1989, soit 23000 tonnes.

La fig. 41 indique l'évolution du stock de chlorures dissous durant les 4 années de simulation et la fig. 42 précise l'évolution de la chlorinité durant cette même période.

Compte tenu des importants besoins du canal de Cayor, on constate, dans les 3 situations, une nette réduction du stock, surtout au cours de la première année mise en fonction du canal, après quoi la régression est nettement plus lente.

Après 4 ans, le stock de chlorures a diminué de 59 % en simulation 1 et respectivement de 65 et 72 % aux simulations 2 et 3, la différence entre les 2 dernières s'expliquant par les plus grandes consommations d'eau du canal de Cayor en simulation 3. A noter aussi la différence sensible de vitesse de régression du stock entre les simulations 1 et 2 entre lesquelles la seule différence réside dans le mode de gestion limnimétrique et donc quantitative de la réserve. Ceci prouve bien la les interrelations quantitatif-qualitatif dans la gestion du milieu lacustre.

Notons encore que le mode de gestion proposé en simulation 1 induit une perte par évaporation de près de 610 millions de m³ d'eau par an. Le mode de gestion des simulations 2 et 3 permet une réduction de 10 % de ces pertes, soit quelques 60 millions de m³ soit encore un peu moins que la consommation totale annuelle d'eau de la ville de Dakar et de sa grande agglomération.

Enfin, la simulation 1 nécessite un apport fluvial moyen annuel de 950 millions de m³ (30 m³/sec) pour 900 et 1050 millions de m³ aux simulations 2 et 3.

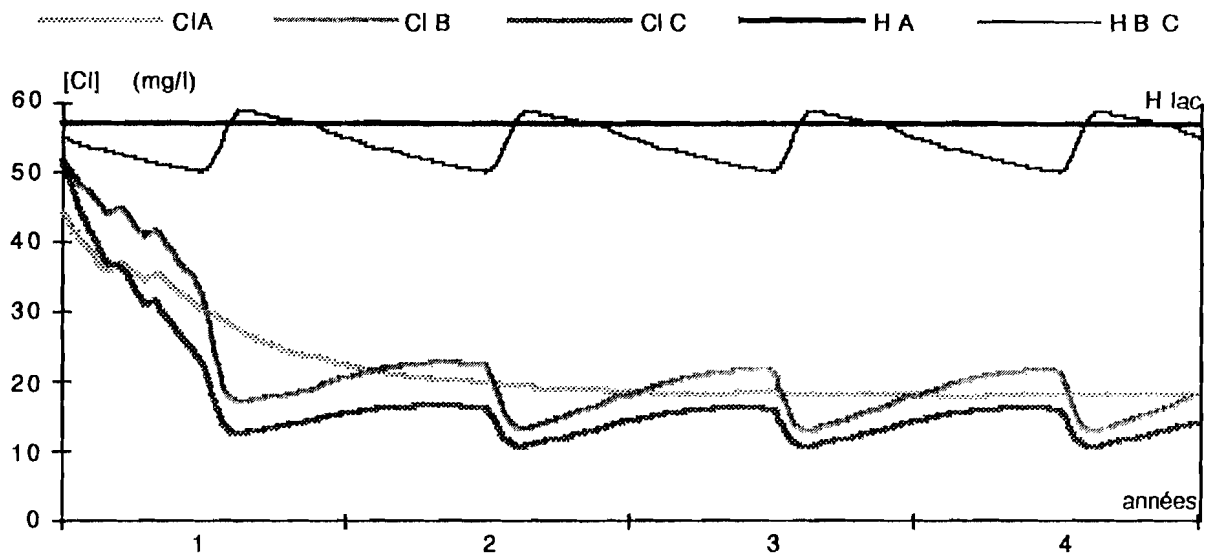


Fig. 42 : Evolution de la chlorinité du Guiers (mg/l) durant 4 années, en fonction de 3 options de gestion du réservoir après la mise en fonction du canal de Cayor.

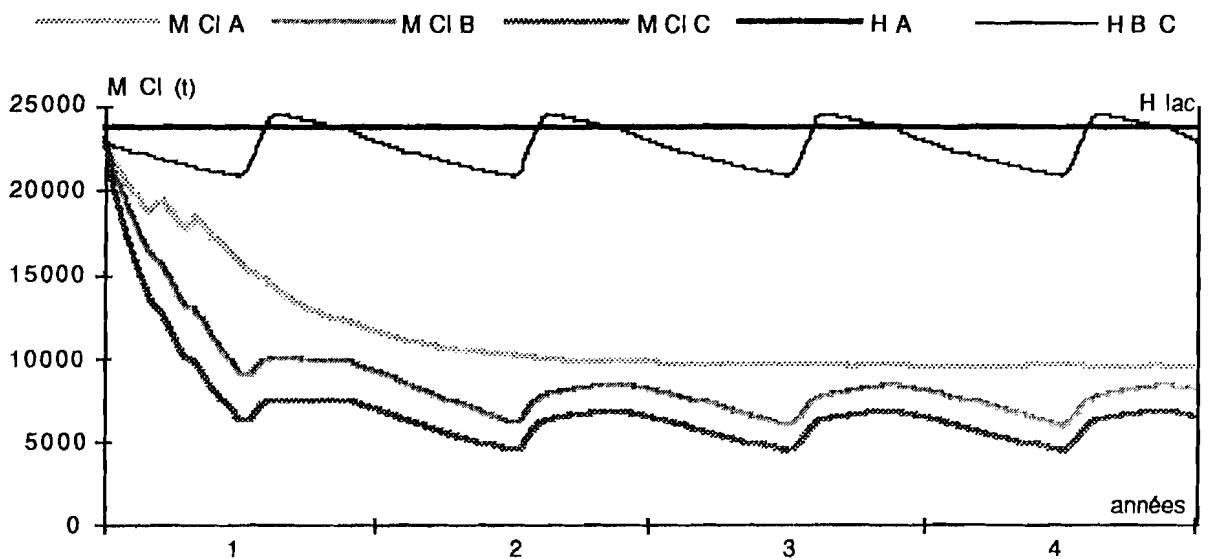


Fig. 43 : Evolution du stock des chlorures dans le Guiers (tonnes) durant 4 années, en fonction de 3 options de gestion du réservoir après la mise en fonction du canal de Cayor.

5. Conclusions

Les eaux du lac de Guiers sont chimiquement bien équilibrées : Une salinité moyenne de 232 mg/l, pour une conductivité de 340 μ mhos et un pH de 7.8. Quantitativement les bicarbonates prédominent (91 mg/l).

La qualité chimique des eaux évolue annuellement de manière caractéristique, sous l'effet des entrées-sorties d'eau de diverses origines et de l'importante évaporation. En année hydrologique normale, le coefficient de concentration moyen annuel des eaux est de 2.25. Depuis 1992, le régime hydrologique est modifié, et les apports fluviaux quasi continus induisent une plus grande stabilisation de la qualité des eaux.

Les variations annuelles de salinité se doublent d'un gradient qualitatif Nord-Sud bien marqué. De 2.9 pour la salinité, il atteint 3.5 chez les éléments les plus conservatifs comme les chlorures ou le sodium.

La comparaison entre la situation qualitative de la période 1989-92 et celle qui prévalait avant la mise en fonction du barrage de Diama montre que les eaux sont nettement moins minéralisées aujourd'hui qu'il y a 10 ans. Cette baisse de la salinité dans le lac est à attribuer uniquement à la plus grande dilution de ses eaux. La retenue de Diama assure un bon remplissage annuel du lac et permet quelques apports complémentaires en cours d'année si nécessaire.

Le stock lacustre des éléments dissous n'a par contre que peu changé, et ce malgré les lâchers annuels effectués vers la vallée du Ferlo à partir de la digue de Keur Momar Sarr. En effet, les pertes en éléments dissous occasionnées par ces chasses d'eau sont compensées par les rejets dans la région Nord du Guiers des eaux de drainage des cultures irriguées de la CSS. La charge en chlorures des rejets est particulièrement élevée.

Un premier modèle de gestion qualitative des eaux a été mis au point pour les chlorures, et testé sur la période 1989-1992.

Les simulations appliquées aux conditions de l'an 2000 dont, entre autres, la mise en fonction du canal de Cayor montrent que l'évolution qualitative future du lac dépend de 3 facteurs principaux : l'importance et la qualité future des apports fluviaux, la gestion limnimétrique du plan d'eau et le maintien ou non des rejets de la CSS dans le lac.

Bibliographie

- COGELS (F.X.), 1984 - Etude limnologique d'un lac sahélien : le lac de Guiers (Sénégal).- Propositions de gestion de l'écosystème lacustre sur base de la connaissance de son fonctionnement hydrologique et hydrobiogéochimique, de ses potentialités et des impacts des futurs aménagements de la vallée du fleuve Sénégal. Thèse d'Etat. Fondation Univ. Luxembourgeoise, Arlon, Belgique, 329 p.
- COGELS (F.X.), GAC (J.Y.), 1987 - Evolution spatio-temporelle de la chimie des eaux du lac de Guiers (Sénégal). Géodynamique, vol. 1, n° 2, p. 121-134
- COGELS F.X., GAC J.Y. (1990) - Bilan limnologique du lac de Guiers avant la mise en fonction du barrage de Diama : hydrologie, qualité et gestion des eaux. Rapp. ORSTOM, Dakar, projet CEE (EQUESEN), 38 p.
- COGELS F.X., GAC J.Y., APPAY J.L., EVORA N., LABROUSSE B. (1990) - Fonctionnement et bilans hydrologiques du lac de Guiers de 1976 à 1989. Rapp. ORSTOM, Dakar, projet CEE (EQUESEN), 60 p.
- COGELS F.X., DACRUZ EVORA N. et GAC J.Y. (1991) - L'évaporation du lac de Guiers (Sénégal) de 1976 à 1989. Bilan et essai d'interprétation. Rapport CEE (projet EQUESEN), 25 p.
- COGELS F.X., CARN M., EVORA N.D. et GAC J.Y. (1992 a) - Utilisations et applications pratiques du modèle d'aide à la gestion des eaux du lac de Guiers (modèle LGPLG). Alternatives de gestion actuelle et future. Rapport CEE, projet EQUESEN , 47 p.
- COGELS F X, NIANG A., CARN M., GAC J.Y. (1992 b) - Recherche d'une station de référence pour un suivi qualitatif régulier des eaux du lac de Guiers. Doc. multigr. ORSTOM-CEE, 20p.
- COGELS (F.X.), THIAM (A.), GAC (J.Y.), 1993 - Premiers effets des barrages du fleuve Sénégal sur l'hydrologie, la qualité des eaux et la végétation aquatique du lac de Guiers. Rev. Hydrobiol. Tropicale 26
- COLY A., GAC J.Y. (1992) - Le lac de Guiers: modalités de gestion hydrologique et approche quantitative en 1991. Rapport CEE, projet EQUESEN,38 p.
- EVORA N.D., GAC J.Y., COGELS F.X. (1991) - Logiciel de gestion prévisionnelle (LGPLG) des eaux du lac de Guiers. Rapport CEE, projet EQUESEN, 56 p.
- GAC (J.Y.), COGELS (F.X.), 1986 - An assessment of the impact on Lac de Guiers by dam construction on the Senegal River. / Le lac de Guiers : Paramètres du milieu actuel et évaluation des répercussions de l'aménagement de la vallée du fleuve Sénégal. Water Quality Bulletin : Vol. 11 n° 2, p. 82-87
- GAC J.Y., COGELS F.X., EVORA N., LABROUSSE B. (1991) - Le bilan hydrologique du lac de Guiers en 1990. Rapport CEE (projet EQUESEN), 20 p.
- GAC J.Y., COGELS F.X., EVORA N. (1992) - Fonctionnement et bilan hydrologique du lac de Guiers (Sénégal) en 1991. Rapport CEE, projet EQUESEN, 40 p.
- GAC JY, COLY A., NIANG A., CARN M., COGELS F.X. (1993) - Bilan hydrologique du lac de Guiers en 1992. Vers une gestion concertée des crues du fleuve Sénégal. Doc. multigr. ORSTOM-CEE, 21p.

TABLEAUX ANNEXES

	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
JANV	18,6	19,7	19,7	20,0	19,3	17,6	19,9	19,3	17,5
FEVR	19,7	19,9	21,3	21,3	20,4	20,1	19,6	19,6	18,9
MARS	21,8	22,5	21,6	20,9	21,1	23,5	21,7	23,5	21,8
AVRI	23,9	22,6	22,5	23,3	23,1	24,2	23,2	22,2	24,2
MAI	23,4	22,7	22,7	24,4	22,6	25,2	24,3	23,0	24,7
JUIN	25,9	23,9	24,0	26,0	25,4	27,0	26,3	26,7	26,2
JUIL	27,7	23,7	27,5	26,2	26,6	27,7	27,0	27,8	27,1
AOUT	28,9	25,6	29,0	27,5	28,0	29,2	28,0	27,3	28,9
SEPT	29,2	28,5	28,3	28,3	28,6	29,2	30,5	29,3	29,6
OCTO	27,7	26,7	27,9	27,0	26,2	27,5	28,7	28,5	28,6
NOVE	23,7	22,9	23,1	23,7	22,6	24,5	24,0	24,5	25,2
DECE	19,7	20,5	20,0	20,4	18,9	20,7	19,5	20,3	21,1
m	24,2	23,3	24,0	24,1	23,6	24,7	24,4	24,3	24,5
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	moyenne
JANV	19,5	19,1	19,1	19,5	18,6	19,3	20,5	21,4	19,1
FEVR	20,4	20,2	21,5	20,7	21,0	22,6	21,1	22,5	20,1
MARS	21,7	22,7	24,2	23,7	22,5	24,5	23,0	22,5	22,0
AVRI	23,7	23,9	26,0	25,0	23,2	24,4	24,4	24,4	23,2
MAI	23,3	24,7	26,0	26,3	25,3	25,6	25,1	25,1	23,7
JUIN	26,1	26,7	28,1	26,2	27,2	26,8	27,1	27,1	25,7
JUIL	27,4	27,8	29,5	27,3	28,5	28,5	28,1	28,2	26,8
AOUT	29,3	28,9	29,8	29,3	29,5	30,1	29,1	28,9	28,0
SEPT	29,3	29,9	30,7	29,7	30,2	30,8	29,9	29,4	29,1
OCTO	28,4	28,8	29,7	28,3	29,3	29,0	27,7	26,6	27,6
NOVE	24,3	24,9	25,5	25,7	25,3	25,0	24,7	22,7	23,8
DECE	20,9	21,4	23,5	21,0	23,8	21,6	22,3	20,8	20,1
m	24,5	24,9	26,1	25,2	25,4	25,7	25,3	25,0	24,1

Tableau annexe I : Températures aquatiques mensuelles à la station 12 de 1976 à 1992.

	pH	C a 25° mmhos	Cl meq/l	Cl mg/l	SO4 meq/l	SO4 mg/l	HCO3 meq/l	HCO3 mg/l	CO3 meq/l	CO3 mg/l	Ca meq/l	Ca mg/l	Mg meq/l	Mg mg/l	Na meq/l	Na mg/l	K meq/l	K mg/l	Salin. mg/l
Station 3																			
S1	7,74	0,06	0,14	5,0	0,04	1,9	0,41	25,0	0,00	0,0	0,18	3,6	0,13	1,6	0,14	3,2	0,08	3,1	43
S2	7,18	0,20	0,63	22,3	0,25	12,0	0,86	52,5	0,00	0,0	0,45	9,0	0,44	5,4	0,65	15,0	0,10	3,9	120
S3	7,50	0,19	0,56	19,9	0,19	9,1	0,91	55,5	0,00	0,0	0,46	9,2	0,47	5,7	0,59	13,6	0,10	3,9	117
S5	7,38	0,31	1,39	49,3	0,40	19,2	1,34	81,8	0,00	0,0	0,72	14,4	0,80	9,7	1,47	33,8	0,14	5,6	214
S7	8,13	0,34	1,50	53,2	0,52	25,0	1,38	83,0	0,21	6,3	0,85	17,0	1,00	12,2	1,60	36,8	0,16	6,3	234
S8	7,64	0,62	2,40	85,1	0,82	39,4	1,64	100,1	0,22	6,6	1,10	22,0	1,30	15,8	2,50	57,5	0,21	8,2	328
S9	7,42	0,33	1,50	53,2	0,57	27,4	1,24	75,7	0,00	0,0	0,85	17,0	0,82	10,0	1,40	32,2	0,13	5,1	221
S10	7,59	0,14	0,31	11,0	0,09	4,3	0,73	44,5	0,00	0,0	0,50	10,0	0,42	5,1	0,40	9,2	0,06	2,3	87
S11	7,65	0,06	0,20	7,1	0,06	2,9	0,44	26,8	0,00	0,0	0,27	5,4	0,19	2,3	0,12	2,8	0,07	2,7	50
S12	7,55	0,09	0,23	8,2	0,09	4,3	0,64	39,1	0,00	0,0	0,33	6,6	0,27	3,3	0,30	6,9	0,06	2,3	71
S13	7,20	0,10	0,42	14,9	0,12	5,8	0,60	36,6	0,00	0,0	0,31	6,2	0,31	3,8	0,35	8,1	0,05	2,0	77
S14	7,87	0,25	0,97	34,4	0,32	15,4	1,04	63,5	0,21	6,3	0,63	12,6	0,77	9,4	1,10	25,3	0,12	4,7	165
S15	7,64	0,38	1,80	63,8	0,57	27,4	1,47	89,7	0,22	6,6	0,87	17,4	1,10	13,4	1,80	41,4	0,14	5,5	259
S16	7,93	0,44	2,20	78,0	0,59	28,3	1,72	105,0	0,25	7,5	0,85	17,0	1,20	14,6	2,10	48,3	0,18	7,0	299
S17	7,87	0,49	2,40	85,1	0,70	33,6	1,80	109,8	0,21	6,3	1,00	20,0	1,40	17,0	2,40	55,2	0,19	7,4	328
S18	7,29	0,11	0,33	11,7	0,07	3,4	0,80	48,8	0,00	0,0	0,42	8,4	0,33	4,0	0,30	6,9	0,07	2,7	86
S19	7,31	0,06	0,13	4,6	0,04	1,9	0,40	24,4	0,00	0,0	0,66	13,2	0,66	8,0	0,69	15,9	0,18	7,0	75
S20	7,24	0,13	0,51	18,1	0,17	8,2	0,58	34,2	0,00	0,0	0,33	6,6	0,35	4,3	0,51	11,7	0,07	2,7	86
S21	7,47	0,16	0,60	21,3	0,24	11,5	0,83	50,6	0,00	0,0	0,39	7,8	0,48	5,8	0,69	15,9	0,09	3,5	116
S22	7,39	0,22	0,81	28,7	0,32	16,4	0,92	56,1	0,00	0,0	0,49	9,8	0,61	7,4	0,92	21,2	0,11	4,3	143
S23	7,40	0,06	0,18	6,4	0,03	1,4	0,47	28,7	0,00	0,0	0,32	6,4	0,23	2,8	0,11	2,5	0,04	1,6	50
S24	6,86	0,12	0,38	13,5	0,05	2,4	0,41	25,0	0,00	0,0	0,30	6,0	0,28	3,4	0,23	5,3	0,04	1,6	57
S25	6,88	0,07	0,12	4,3	0,03	1,4	0,59	36,0	0,00	0,0	0,27	5,4	0,24	2,9	0,11	2,5	0,05	2,0	55
Station 4																			
S1	7,56	0,17	0,27	9,6	0,06	2,9	1,13	69,0	0,00	0,0	0,56	11,2	0,44	5,4	0,33	7,6	0,15	5,9	111
S2	7,28	0,19	0,65	23,0	0,15	7,2	0,99	60,4	0,00	0,0	0,47	9,4	0,43	5,2	0,59	13,6	0,21	8,2	127
S3	7,54	0,19	0,54	19,1	0,20	9,6	0,92	56,1	0,00	0,0	0,46	9,2	0,49	6,0	0,58	13,3	0,10	3,9	117
S5	7,64	0,37	1,73	61,3	0,63	30,2	1,40	86,4	0,00	0,0	0,84	16,8	0,98	11,9	1,78	40,9	0,28	11,0	258
S7	8,12	0,34	1,50	53,2	0,51	24,5	1,32	80,5	0,21	6,3	0,83	16,6	0,97	11,8	1,60	36,8	0,17	6,6	230
S8	7,87	0,52	2,80	99,3	0,94	45,1	1,68	102,5	0,22	6,6	1,10	22,0	1,40	17,0	2,80	64,4	0,22	8,6	359
S9	7,75	0,59	2,90	102,8	0,89	42,7	1,91	116,5	0,22	6,6	1,20	24,0	1,50	18,2	3,00	69,0	0,23	9,8	383
S10	7,56	0,16	0,44	15,6	0,14	6,7	0,90	54,9	0,00	0,0	0,54	10,8	0,49	6,0	0,53	12,2	0,07	2,7	109
S11	7,77	0,11	0,39	13,8	0,10	4,8	0,75	45,8	0,00	0,0	0,36	7,2	0,30	3,6	0,43	9,9	0,10	3,9	89
S12	7,77	0,16	0,55	19,6	0,20	9,6	0,85	51,9	0,00	0,0	0,52	10,4	0,43	5,2	0,61	14,0	0,08	3,1	114
S13	7,60	0,21	0,87	30,9	0,21	10,1	1,07	65,3	0,00	0,0	0,55	11,0	0,58	7,1	0,83	19,1	0,10	3,9	147
S14	7,74	0,25	0,96	34,0	0,33	15,8	1,00	61,0	0,21	6,3	0,65	13,0	0,77	9,4	1,10	25,3	0,12	4,7	164
S15	7,74	0,37	1,70	60,3	0,53	25,5	1,45	88,5	0,21	6,3	0,82	16,4	1,10	13,4	1,70	39,1	0,14	5,5	249
S16	7,33	0,47	2,10	74,5	1,00	48,0	1,89	115,3	0,00	0,0	0,93	18,6	1,30	15,8	2,30	52,9	0,19	7,4	333
S17	7,29	0,45	2,10	74,5	0,59	28,3	2,11	128,8	0,00	0,0	0,99	19,8	1,40	17,0	2,20	50,6	0,20	7,8	327
S18	7,12	0,38	1,70	60,3	0,27	13,0	1,95	119,0	0,00	0,0	0,86	17,2	1,20	14,6	1,80	41,4	0,18	7,0	273
S19	7,08	0,22	0,78	27,7	0,13	6,2	1,18	72,0	0,29	8,7	0,66	13,2	0,66	8,0	0,69	15,9	0,18	7,0	160
S20	7,58	0,10	0,33	11,7	0,10	4,8	0,54	33,0	0,00	0,0	0,35	7,0	0,29	3,5	0,29	6,7	0,08	3,1	70
S21	7,61	0,17	0,55	19,6	0,23	11,0	0,99	60,4	0,00	0,0	0,49	9,8	0,51	6,2	0,64	14,7	0,09	3,5	125
S22	7,49	0,21	0,79	28,0	0,31	14,9	0,93	56,7	0,00	0,0	0,48	9,6	0,61	7,4	0,90	20,7	0,11	4,3	142
S23	7,48	0,07	0,26	9,2	0,04	1,9	0,49	29,9	0,00	0,0	0,29	5,8	0,25	3,0	0,18	4,1	0,04	1,6	56
S24	8,08	0,25	0,72	25,5	0,23	11,0	1,00	61,0	0,00	0,0	0,51	10,2	0,56	6,8	0,84	19,3	0,09	3,5	137
S25	7,10	0,18	0,76	26,9	0,25	12,0	0,97	59,2	0,00	0,0	0,48	9,6	0,58	7,1	0,79	18,2	0,10	3,9	137
Station 5																			
S1-S14	7,56	0,17	0,27	9,6	0,06	2,9	1,13	69,0	0,00	0,0	0,56	11,2	0,44	5,4	0,33	7,6	0,15	5,9	111
S2-S14	7,28	0,19	0,65	23,0	0,15	7,2	0,99	60,4	0,00	0,0	0,47	9,4	0,43	5,2	0,59	13,6	0,21	8,2	127
S3	7,60	0,19	0,61	21,6	0,25	12,0	0,92	56,1	0,00	0,0	0,47	9,4	0,51	6,2	0,67	15,4	0,09	3,5	124
S5	7,59	0,29	1,23	43,6	0,41	19,5	1,32	80,5	0,00	0,0	0,73	14,5	0,76	9,2	1,33	30,6	0,14	5,4	203
S7	7,87	0,39	1,80	63,8	0,54	30,7	1,36	83,0	0,23	6,9	0,94	18,8	1,10	13,4	1,90	43,7	0,17	6,6	260
S8	7,91	0,56	3,40	120,6	0,94	45,1	1,86	113,5	0,00	0,0	1,20	24,0	1,60	19,5	3,20	73,6	0,22	8,6	405
S9-S14	7,75	0,59	2,90	102,8	0,89	42,7	1,91	116,5	0,22	6,6	1,20	24,0	1,50	18,2	3,00	69,0	0,23	9,8	383
S10	7,78	0,53	2,40	85,1	0,88	41,3	1,91	116,5	0,00	0,0	1,10	22,0	1,40	17,0	2,80	64,4	0,22	8,6	355
S11	7,87	0,19	0,78	27,7	0,27	13,0	0,91	55,5	0,00	0,0	0,52	10,4	0,51	6,2	0,80	18,4	0,11	4,3	135
S12	7,76	0,20	0,80	28,4	0,31	14,9	0,83	60,6	0,00	0,0	0,48	9,6	0,51	6,2	0,88	20,2	0,09	3,5	133
S13	7,65	0,28	1,30	46,1	0,42	20,2	1,09	66,5	0,00	0,0	0,71	14,2	0,71	8,6	1,30	29,9	0,09	3,5	189
S14	7,67	0,31	1,40	49,6	0,53	25,5	1,21	73,8	0,00	0,0	0,70	14,0	0,89	10,8	1,50	34,5	0,12	4,7	213
S15	7,80	0,39	1,90	67,4	0,61	29,3	1,39	84,8	0,23	6,9	0,82	16,4	1,10	13,4	1,90	43,7	0,14	5,5	261
S16	8,09	0,44	2,10	74,5	0,57	27,4	1,68	102,5	0,27	8,1	0,83	16,6	1,20	14,6	2,20	50,6	0,18	7,0	293
S17	7,89	0,46	2,20	78,0	0,64	30,7	1,95	119,0	0,25	7,5	1,00	20,0	1,40	17,0	2,30	52,9	0,20	7,8	326
S18	7,59	0,56	2,50	88,7	0,76	36,5	2,25	137,3	0,24	7,2	1,20	24,0	1,60	19,5	2,80	64,4	0,26	10,2	381
S19	7,38	0,31	1,40	49,6	0,37	17,8	1,22	74,4	0,24	7,2	0,62	12,4	0,94	11,4	1,30	29,9	0,15	5,9	202
S20	7,38	0,18	0,76	26,9	0,23	11,0	0,64	39,1	0,00	0,0	0,43	8,6	0,44	5,4	0,67	15,4	0,09	3,5	110
S21	7,41	0,16	0,69	24,5	0,27	13,0	0,83	60,6	0,00	0,0	0,40	8,0	0,49	6,0	0,72	16,6	0,09	3,5	122
S22	7,44	0,25	1,00	35,5	0,40	19,2	0,95	58,0	0,00	0,0	0,51	10,2	0,69	8,4	1,10	25,3	0,11	4,3	161
S23	7,64	0,22	1,00	35,5	0,33	15,8	1,00	61,0	0,00	0,0	0,49	9,8	0,61	7,4	1,00	23,0	0,10	3,9	156
S24	7,82	0,22	0,65	23,0	0,23	11,0	0,92	56,1	0,00	0,0	0,4								

	pH	C à 25°	Cl	Cl	SO4	SO4	HCO3	HCO3	CO3	CO3	Ca	Ca	Mg	Mg	Na	Na	K	K	Salin.
		mmhos	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	mg/l
S11	7,95	0,30	1,50	53,2	0,27	13,0	1,01	61,6	0,00	0,0	0,56	11,2	0,63	7,7	1,50	34,5	0,14	5,5	187
S12	7,79	0,19	0,66	23,4	0,24	11,5	1,00	61,0	0,00	0,0	0,47	9,4	0,51	6,2	0,74	17,0	0,10	3,9	133
S13	7,51	0,19	0,87	30,9	0,19	9,1	0,98	59,8	0,00	0,0	0,52	10,4	0,51	6,2	0,77	17,7	0,08	3,1	137
S14	7,70	0,25	0,95	33,7	0,31	14,9	1,02	62,2	0,23	6,9	0,63	12,6	0,82	10,0	1,10	25,3	0,12	4,7	164
S15	7,82	0,36	1,70	60,3	0,50	24,0	1,42	86,6	0,22	6,6	0,81	16,2	1,00	12,2	1,70	39,1	0,14	5,5	244
S16	7,75	0,44	2,40	85,1	0,61	29,3	1,59	97,0	0,31	9,3	0,82	16,4	1,20	14,6	2,20	50,6	0,18	7,0	300
S17	8,39	0,47	2,20	78,0	0,67	32,2	1,89	115,3	0,20	6,0	1,00	20,0	1,40	17,0	2,30	52,9	0,20	7,8	324
S18	7,59	0,56	2,50	88,7	0,76	36,5	2,25	137,3	0,24	7,2	1,20	24,0	1,60	19,5	2,80	64,4	0,26	10,2	381
S19	7,25	0,12	0,35	12,4	0,11	5,3	0,78	47,6	0,00	0,0	0,33	6,6	0,33	4,0	0,34	7,8	0,09	3,5	87
S20	7,64	0,12	0,38	13,5	0,12	5,8	0,54	33,0	0,00	0,0	0,37	7,4	0,33	4,0	0,39	9,0	0,08	3,1	76
S21	7,57	0,17	0,58	20,6	0,23	11,0	0,98	59,8	0,00	0,0	0,48	9,6	0,49	6,0	0,66	15,2	0,09	3,5	126
S22	7,53	0,21	0,81	28,7	0,30	14,4	0,94	57,4	0,00	0,0	0,46	9,2	0,61	7,4	0,86	19,8	0,11	4,3	141
S23	7,65	0,09	0,38	13,5	0,07	3,4	0,50	30,5	0,00	0,0	0,37	7,4	0,29	3,5	0,27	6,2	0,05	2,0	66
S24	7,59	0,23	0,67	23,8	0,22	10,6	0,94	57,4	0,00	0,0	0,49	9,8	0,54	6,6	0,78	17,9	0,09	3,5	130
S25	7,02	0,17	0,81	28,7	0,28	13,4	0,85	51,9	0,00	0,0	0,44	8,8	0,58	7,1	0,77	17,7	0,08	3,1	131
Station 7																			
S1=S16	7,17	0,17	0,48	17,0	0,15	7,2	0,81	49,4	0,00	0,0	0,47	9,4	0,39	4,7	0,54	12,4	0,12	4,7	105
S2=S16	7,46	0,24	0,70	24,8	0,13	6,2	1,09	66,5	0,28	8,4	0,63	12,6	0,55	6,7	0,80	18,4	0,14	5,5	141
S3	7,36	0,20	0,58	20,8	0,21	10,1	0,90	54,9	0,00	0,0	0,46	9,2	0,48	5,8	0,65	15,0	0,09	3,5	119
S5	7,47	0,28	1,15	40,8	0,40	19,2	1,33	81,2	0,00	0,0	0,77	15,4	0,74	9,0	1,24	28,5	0,13	5,2	199
S7=S16	7,82	0,34	1,50	53,2	0,51	24,5	1,32	80,5	0,23	6,9	0,83	16,6	0,99	12,0	1,60	36,8	0,16	6,3	230
S8	7,74	0,48	2,20	78,0	0,74	35,5	1,63	99,5	0,26	7,8	1,10	22,0	1,20	14,6	2,30	52,9	0,21	8,2	311
S9=S16	7,91	0,54	2,50	88,7	0,74	35,5	1,84	112,3	0,21	6,3	1,10	22,0	1,30	15,8	2,60	59,8	0,23	9,0	343
S10	7,80	0,51	2,40	85,1	0,83	39,9	1,65	100,7	0,26	7,8	1,10	22,0	1,40	17,0	2,70	62,1	0,22	8,6	336
S11	8,11	0,28	1,20	42,6	0,34	16,3	1,27	77,5	0,00	0,0	0,74	14,8	0,77	9,4	1,30	29,9	0,14	5,5	196
S12	7,91	0,20	0,71	25,2	0,24	11,5	1,05	64,1	0,00	0,0	0,51	10,2	0,54	6,6	0,80	18,4	0,10	3,9	140
S13	7,57	0,23	1,10	39,0	0,32	15,4	1,02	62,2	0,00	0,0	0,56	11,2	0,61	7,4	1,00	23,0	0,09	3,5	162
S14	7,68	0,27	1,10	39,0	0,38	17,3	1,02	62,2	0,23	6,9	0,66	13,2	0,82	10,0	1,20	27,6	0,12	4,7	174
S15	7,83	0,34	1,60	56,7	0,45	21,6	1,44	87,9	0,22	6,6	0,80	16,0	0,99	12,0	1,60	36,8	0,14	5,5	237
S16	7,85	0,48	2,40	85,1	0,58	27,9	2,08	126,9	0,27	8,1	0,98	19,6	1,40	17,0	2,40	55,2	0,20	7,8	340
S17	8,15	0,50	2,40	85,1	0,67	32,2	2,13	130,0	0,24	7,2	1,10	22,0	1,60	19,5	2,40	55,2	0,22	8,6	353
S18	7,89	0,54	2,40	85,1	0,66	31,7	2,28	139,1	0,22	6,8	1,20	24,0	1,60	19,5	2,70	62,1	0,25	9,8	372
S19	7,39	0,19	0,88	31,2	0,20	9,6	0,93	56,7	0,00	0,0	0,41	8,2	0,56	6,8	0,80	18,4	0,10	3,9	135
S20	7,61	0,20	0,69	24,5	0,17	8,2	0,95	58,0	0,00	0,0	0,47	9,4	0,52	6,3	0,72	16,6	0,11	4,3	127
S21	7,38	0,17	0,68	24,1	0,26	12,5	0,82	50,0	0,00	0,0	0,39	7,8	0,51	6,2	0,73	16,8	0,09	3,5	121
S22	7,48	0,22	0,83	29,4	0,30	14,4	0,94	57,4	0,00	0,0	0,47	9,4	0,61	7,4	0,92	21,2	0,11	4,3	143
S23	7,62	0,29	1,30	46,1	0,40	19,2	1,30	79,3	0,00	0,0	0,62	12,4	0,74	9,0	1,40	32,2	0,14	5,5	204
S24	7,76	0,24	0,73	25,9	0,23	11,0	0,98	59,8	0,00	0,0	0,50	10,0	0,66	6,8	0,83	19,1	0,09	3,5	136
S25	7,23	0,19	1,00	35,5	0,27	13,0	1,00	61,0	0,00	0,0	0,51	10,2	0,62	7,5	0,89	20,5	0,11	4,3	152
Station 8																			
S1	7,39	0,19	0,47	16,7	0,17	8,2	1,05	64,1	0,00	0,0	0,65	13,0	0,41	5,0	0,55	12,7	0,11	4,3	124
S2	7,42	0,18	0,50	17,7	0,16	7,7	0,97	59,2	0,00	0,0	0,50	10,0	0,40	4,9	0,57	13,1	0,10	3,9	117
S3	7,50	0,20	0,54	19,1	0,18	8,6	1,11	67,7	0,00	0,0	0,49	9,8	0,49	6,0	0,61	14,0	0,10	3,9	129
S5	7,47	0,28	1,13	40,1	0,37	17,7	1,37	83,6	0,00	0,0	0,70	14,1	0,74	9,0	1,25	28,8	0,14	5,6	199
S7	7,65	0,37	1,60	56,7	0,50	24,0	1,28	78,1	0,24	7,2	0,81	16,2	1,00	12,2	1,70	39,1	0,17	6,6	233
S8	7,77	0,47	2,40	85,1	0,64	30,7	1,59	97,0	0,26	7,8	1,00	20,0	1,20	14,6	2,20	50,6	0,21	8,2	307
S9	7,87	0,54	2,50	88,7	0,76	36,5	1,96	119,6	0,20	6,0	1,20	24,0	1,40	17,0	2,70	62,1	0,27	10,6	359
S10	7,75	0,48	2,20	78,0	0,78	37,5	1,80	97,6	0,26	7,8	1,10	22,0	1,30	15,8	2,50	57,5	0,22	8,6	317
S11	8,09	0,25	1,00	35,5	0,29	13,9	1,28	78,1	0,00	0,0	0,71	14,2	0,69	8,4	1,10	25,3	0,13	5,1	180
S12	7,95	0,21	0,74	26,2	0,22	10,6	1,26	76,9	0,00	0,0	0,69	13,8	0,61	7,4	0,65	19,6	0,11	4,3	159
S13	7,43	0,25	1,10	39,0	0,28	13,4	1,23	75,1	0,00	0,0	0,66	13,2	0,67	8,1	1,10	25,3	0,13	5,1	179
S14	7,69	0,27	1,10	39,0	0,33	15,8	1,06	64,7	0,27	8,1	0,68	13,6	0,82	10,0	1,20	27,6	0,13	5,1	176
S15	7,81	0,35	1,70	60,3	0,47	22,6	1,41	86,0	0,23	6,9	0,80	16,0	0,99	12,0	1,60	36,8	0,14	5,5	239
S16	7,89	0,44	2,00	70,9	0,59	28,3	1,69	103,1	0,27	8,1	0,87	17,4	1,20	14,6	2,10	48,3	0,18	7,0	290
S17	8,45	0,47	2,20	78,0	0,65	31,2	1,91	116,5	0,21	6,3	1,00	20,0	1,60	19,5	2,40	55,2	0,22	8,6	329
S18	8,32	0,48	2,20	78,0	0,67	32,2	1,91	116,5	0,23	6,9	1,10	22,0	1,60	18,2	2,50	57,5	0,22	8,6	333
S19	7,45	0,14	0,48	16,3	0,14	6,7	0,91	55,5	0,00	0,0	0,44	8,8	0,43	5,2	0,42	9,7	0,10	3,9	106
S20	7,42	0,12	0,41	14,5	0,13	6,2	0,52	31,7	0,00	0,0	0,32	6,4	0,34	4,1	0,43	9,9	0,09	3,5	76
S21	7,46	0,16	0,61	21,6	0,23	11,0	0,86	52,5	0,00	0,0	0,38	7,6	0,53	6,4	0,69	15,9	0,10	3,9	119
S22	7,57	0,23	0,81	28,7	0,28	13,4	0,98	59,8	0,00	0,0	0,49	9,8	0,63	7,7	0,89	20,5	0,11	4,3	144
S23	7,78	0,24	1,00	35,5	0,31	14,9	1,20	73,2	0,00	0,0	0,54	10,8	0,66	8,0	1,10	25,3	0,12	4,7	172
S24	7,89	0,23	0,66	23,4	0,22	10,6	0,97	59,2	0,00	0,0	0,51	10,2	0,54	6,6	0,80	18,4	0,09	3,5	132
S25	7,32	0,24	1,00	35,5	0,28	13,4	1,20	73,2	0,00	0,0	0,57	11,4	0,74	9,0	1,10	25,3	0,14	5,5	173
Station 9																			
S1=S18	7,39	0,19	0,47	16,7	0,17	8,2	1,05	64,1	0,00	0,0	0,65	13,0	0,41	5,0	0,55	12,7	0,11	4,3	124
S2=S18	7,42	0,18	0,50	17,7	0,16	7,7	0,97	59,2	0,00	0,0	0,50	10,0	0,40	4,9	0,57	13,1	0,10	3,9	117
S3	7,54	0,20	0,61	21,6	0,23	11,0	0,94	57,4	0,00	0,0	0,48	9,6	0,51	6,2	0,64	14,7	0,10	3,9	124
S5	7,41	0,29	1,22	43,3	0,42	20,2	1,35	82,4	0,00	0,0	0,73	14,7	0,76	9,3	1,34	30,8	0,14	5,6	206
S7	7,66	0,37	1,70	60,3	0,55	26,4	1,32	80,5	0,24	7,2	0,87	17,4	1,00	12,2	1,80	41,4	0,18	7,0	246
S8	7,35	0,50	2,30	81,6	0,77	37,0	1,90	115,9	0,00	0,0	1,10	22,0	1,30	15,8	2,40	55,2	0,23		

	pH	C à 25°	Cl	Cl	SO4	SO4	HCO3	HCO3	CO3	CO3	Ca	Ca	Mg	Mg	Na	Na	K	K	Salin.
		mmhos	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	mg/l
S20	7,47	0,17	0,63	22,3	0,17	8,2	0,82	50,0	0,00	0,0	0,38	7,6	0,48	5,8	0,66	15,2	0,11	4,3	113
S21 -at8	7,46	0,16	0,61	21,6	0,23	11,0	0,88	52,5	0,00	0,0	0,38	7,6	0,53	6,4	0,68	15,6	0,10	3,9	119
S22	7,35	0,24	0,87	30,9	0,32	15,4	0,99	60,4	0,00	0,0	0,49	9,8	0,63	7,7	0,97	22,3	0,11	4,3	151
S23	7,85	0,28	1,20	42,6	0,43	20,7	1,30	79,3	0,00	0,0	0,60	12,0	0,74	9,0	1,30	29,9	0,13	5,1	199
S24	7,74	0,25	0,78	25,9	0,24	11,5	1,00	61,0	0,00	0,0	0,53	10,6	0,58	7,1	0,85	19,6	0,09	3,5	139
S25	7,49	0,20	1,50	53,2	0,27	13,0	0,92	56,1	0,00	0,0	0,50	10,0	0,66	8,0	0,89	20,5	0,11	4,3	165
Station 10																			
S1	7,71	0,31	1,00	35,5	0,22	10,6	1,20	78,7	0,22	6,6	0,81	16,2	0,79	9,6	1,10	25,3	0,21	8,2	184
S2	7,44	0,19	0,58	19,9	0,17	8,2	0,99	60,4	0,00	0,0	0,47	9,4	0,45	5,5	0,64	14,7	0,12	4,7	123
S3	7,50	0,20	0,60	21,3	0,20	9,6	1,04	63,5	0,00	0,0	0,48	9,6	0,52	6,3	0,66	15,2	0,10	3,9	129
S5	7,55	0,28	1,19	42,2	0,37	17,6	1,41	86,0	0,00	0,0	0,71	14,2	0,78	9,5	1,30	29,9	0,14	5,6	205
S7	7,72	0,35	1,60	56,7	0,50	24,0	1,35	82,4	0,25	7,5	0,79	15,8	1,00	12,2	1,80	41,4	0,19	7,4	240
S8	7,14	0,48	2,30	81,6	0,68	32,7	1,72	105,0	0,20	8,0	0,95	19,0	1,30	15,8	2,30	52,9	0,23	9,0	316
S9	7,68	0,54	2,60	92,2	0,72	34,6	1,89	115,3	0,18	5,4	0,95	19,0	1,40	17,0	2,80	64,4	0,26	10,2	353
S10	7,86	0,55	2,60	92,2	0,85	40,8	1,88	114,7	0,26	7,8	1,10	22,0	1,60	18,2	3,00	69,0	0,26	10,2	367
S11	8,16	0,35	1,70	60,3	0,48	23,1	1,47	89,7	0,00	0,0	0,80	16,0	0,95	11,6	1,80	41,4	0,16	6,3	248
S12	7,97	0,28	1,10	39,0	0,33	15,8	1,38	84,2	0,00	0,0	0,65	13,0	0,82	10,0	1,20	27,6	0,14	5,5	195
S13	7,50	0,27	1,20	42,8	0,28	13,4	1,29	78,7	0,00	0,0	0,70	14,0	0,72	8,8	1,20	27,6	0,13	5,1	190
S14	7,72	0,27	1,10	39,0	0,34	16,3	1,06	64,7	0,24	7,2	0,70	14,0	0,82	10,0	1,20	27,6	0,13	5,1	177
S15	7,80	0,37	1,70	60,3	0,45	21,6	1,51	92,1	0,23	6,9	0,79	15,8	1,00	12,2	1,70	39,1	0,16	6,3	248
S16	8,40	0,42	2,00	70,9	0,62	29,8	1,63	99,5	0,23	6,9	0,87	17,4	1,20	14,6	2,10	48,3	0,19	7,4	288
S17	6,73	0,50	2,40	85,1	0,67	32,2	1,98	119,6	0,26	7,8	0,99	19,8	1,40	17,0	2,60	59,8	0,25	9,8	344
S18	8,21	0,62	3,00	106,4	0,80	38,4	2,42	147,7	0,27	8,1	1,20	24,0	1,80	21,9	3,50	80,5	0,30	11,7	431
S19	7,50	0,22	1,40	49,8	0,28	12,5	0,57	34,8	0,35	10,5	0,51	10,2	0,67	8,1	0,87	20,0	0,13	5,1	141
S20	7,51	0,17	0,71	25,2	0,19	9,1	0,75	45,8	0,00	0,0	0,39	7,8	0,51	6,2	0,68	15,6	0,11	4,3	114
S21	7,50	0,16	0,60	21,3	0,22	10,8	0,88	53,7	0,00	0,0	0,39	7,8	0,49	6,0	0,70	16,1	0,09	3,5	119
S22	7,65	0,25	0,91	32,3	0,28	13,4	1,10	67,1	0,00	0,0	0,51	10,2	0,67	8,1	1,00	23,0	0,12	4,7	159
S23	7,77	0,27	1,20	42,6	0,37	17,8	1,30	79,3	0,00	0,0	0,59	11,8	0,74	9,0	1,30	29,9	0,13	5,1	195
S24	7,72	0,31	0,99	35,1	0,31	14,9	1,30	79,3	0,00	0,0	0,68	13,6	0,76	9,2	1,20	27,6	0,13	5,1	185
S25	7,52	0,25	1,10	39,0	0,30	14,4	1,20	73,2	0,00	0,0	0,56	11,2	0,78	9,5	1,10	25,3	0,13	5,1	178
Station 11																			
S1	7,37	0,35	1,20	42,6	0,29	13,9	1,13	69,0	0,37	11,1	0,73	14,6	0,78	9,5	1,30	29,9	0,21	8,2	188
S2	7,38	0,34	1,20	42,6	0,27	13,0	1,46	89,1	0,00	0,0	0,70	14,0	0,73	8,9	1,30	29,9	0,14	5,5	203
S3	7,67	0,27	1,80	63,8	0,19	9,1	1,06	64,7	0,23	6,9	0,58	11,8	0,69	8,4	0,94	21,6	0,14	5,5	185
S5	7,58	0,34	1,41	50,0	0,42	20,1	1,73	105,6	0,00	0,0	0,76	15,2	1,02	12,4	1,66	38,2	0,18	7,0	248
S7	7,82	0,41	1,80	63,8	0,51	24,5	1,68	102,5	0,24	7,2	0,80	16,0	1,30	15,8	2,10	48,3	0,22	8,6	280
S8	7,90	0,63	3,10	109,9	0,81	38,9	2,38	145,2	0,20	8,0	1,10	22,0	1,80	21,9	3,40	78,2	0,29	11,3	428
S9	7,87	0,65	3,20	113,5	0,82	39,4	2,47	150,7	0,18	5,4	1,30	26,1	1,80	21,9	3,60	82,8	0,39	12,9	447
S10	8,00	0,57	2,80	99,3	0,88	42,3	2,19	130,0	0,23	6,9	1,20	24,0	1,60	19,5	3,20	73,6	0,29	11,3	400
S11	8,30	0,44	2,10	74,5	0,67	32,2	2,00	122,0	0,00	0,0	0,97	19,4	1,20	14,6	2,30	52,9	0,21	8,2	324
S12	8,08	0,39	1,80	63,8	0,46	22,1	1,80	109,8	0,00	0,0	0,82	16,4	1,20	14,6	2,00	46,0	0,19	7,4	280
S13	7,66	0,32	1,40	49,6	0,33	15,8	1,68	102,5	0,00	0,0	0,72	14,4	0,90	10,9	1,50	34,5	0,15	5,9	234
S14	7,94	0,34	1,50	53,2	0,43	20,7	1,44	87,9	0,25	7,5	0,76	15,2	1,00	12,2	1,60	36,8	0,17	6,6	233
S15	7,79	0,41	1,90	67,4	0,50	24,0	1,74	106,2	0,25	7,5	0,81	16,2	1,20	14,6	2,00	46,0	0,18	7,0	282
S16	8,27	0,50	2,50	88,7	0,59	28,3	1,99	121,4	0,26	7,8	0,90	18,0	1,40	17,0	2,60	59,8	0,23	9,0	343
S17	8,55	0,72	3,70	131,2	0,82	39,4	2,89	176,3	0,27	8,1	1,20	24,0	2,10	25,5	4,00	92,0	0,35	13,7	502
S18	8,33	0,70	3,50	124,1	0,82	39,4	2,78	168,4	0,24	7,2	1,20	24,0	2,10	25,5	3,90	89,7	0,35	13,7	485
S19	7,72	0,51	2,50	88,7	0,69	33,1	1,95	119,0	0,24	7,2	0,97	19,4	1,50	18,2	2,40	55,2	0,24	9,4	343
S20	7,39	0,22	0,87	30,9	0,21	10,1	0,97	59,2	0,00	0,0	0,43	8,6	0,63	7,7	0,84	18,3	0,12	4,7	140
S21	7,54	0,27	1,20	42,6	0,29	13,9	1,32	80,5	0,00	0,0	0,51	10,2	0,81	9,8	1,20	27,6	0,14	5,5	190
S22	7,46	0,29	1,10	39,0	0,28	13,4	1,32	80,5	0,00	0,0	0,52	10,4	0,82	10,0	1,20	27,6	0,14	5,5	186
S23	7,85	0,31	1,40	49,6	0,37	17,8	1,50	91,5	0,00	0,0	0,60	12,0	0,90	10,9	1,50	34,5	0,16	6,3	223
S24	7,66	0,35	1,10	39,0	0,35	16,8	1,40	85,4	0,00	0,0	0,73	14,8	0,84	10,2	1,40	32,2	0,14	5,5	204
S25	7,53	0,30	1,40	49,6	0,37	17,8	1,50	91,5	0,00	0,0	0,65	13,0	0,90	10,9	1,40	32,2	0,17	6,6	222
Station 12																			
S1	7,20	0,37	1,30	46,1	0,34	16,3	1,09	66,5	0,34	10,2	0,67	13,4	0,86	10,5	1,40	32,2	0,19	7,4	193
S2	7,64	0,30	0,95	33,7	0,26	12,5	1,23	75,1	0,19	5,7	0,67	13,4	0,70	8,5	1,10	25,3	0,15	5,9	175
S3	7,69	0,28	0,88	31,2	0,26	12,6	1,13	69,0	0,20	6,0	0,60	12,0	0,70	8,5	0,97	22,3	0,14	5,5	161
S5	7,31	0,33	1,32	46,8	0,42	20,1	1,72	105,0	0,00	0,0	0,79	15,9	0,94	11,4	1,55	35,7	0,17	6,8	242
S7	7,69	0,41	2,10	74,5	0,57	27,4	1,58	96,4	0,26	7,8	0,87	17,4	1,20	14,6	2,10	48,3	0,21	8,2	287
S8	7,71	0,52	2,30	81,6	0,69	33,1	2,01	122,7	0,20	8,0	1,00	20,0	1,40	17,0	2,70	62,1	0,27	10,6	347
S9	7,65	0,59	2,90	102,8	0,80	38,4	2,13	130,0	0,18	5,4	1,00	20,0	1,30	15,8	3,10	71,3	0,30	11,7	390
S10	7,96	0,59	2,80																

	pH	C à 25°	Cl	Cl	SO4	SO4	HCO3	HCO3	CO3	CO3	Ca	Ca	Mg	Mg	Na	Na	K	K	Salin.
		mmhos	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	mg/l
Station 13																			
S1	7,51	0,51	1,90	67,4	0,41	19,7	1,88	114,7	0,24	7,2	1,20	24,0	1,50	18,2	2,00	46,0	0,27	10,6	301
S2	7,67	0,41	1,40	49,6	0,26	12,5	1,83	111,7	0,23	6,9	0,98	19,8	1,20	14,6	1,60	36,8	0,19	7,4	252
S3	7,86	0,44	1,60	56,7	0,40	19,2	1,76	107,4	0,20	6,0	0,80	16,0	1,10	13,4	1,70	39,1	0,21	8,2	260
S5	7,68	0,69	3,64	125,5	0,79	37,8	3,03	184,9	0,00	0,0	1,11	22,2	2,04	24,8	4,08	93,8	0,32	12,4	502
S7	8,02	0,87	3,50	124,1	0,74	35,5	2,89	178,3	0,20	6,0	1,00	20,0	2,10	25,5	3,90	89,7	0,35	13,7	485
S8	7,80	1,05	5,70	202,1	1,40	67,2	3,75	228,8	0,22	6,6	1,40	28,1	2,80	34,0	6,30	144,9	0,52	20,3	726
S9	8,05	1,34	7,10	251,8	1,40	67,2	4,42	269,7	0,55	18,5	1,70	34,1	3,50	42,8	8,40	193,2	0,62	24,2	863
S10	7,98	0,90	4,70	166,7	1,20	57,8	3,51	214,2	0,00	0,0	1,40	28,1	2,50	30,4	5,60	128,8	0,45	17,6	643
S11	8,29	0,53	2,40	85,1	0,75	36,0	1,84	112,3	0,27	8,1	1,00	20,0	1,40	17,0	2,70	62,1	0,27	10,6	343
S12	8,15	0,52	2,40	85,1	0,87	27,4	2,13	130,0	0,00	0,0	0,90	18,0	1,50	18,2	2,70	62,1	0,25	9,8	351
S13	7,85	0,55	3,30	117,0	0,50	24,0	2,54	155,0	0,00	0,0	0,94	18,8	1,80	19,5	2,90	66,7	0,25	9,8	411
S14	7,95	0,58	2,80	99,3	0,61	29,3	2,39	145,8	0,24	7,2	1,00	20,0	1,90	23,1	3,10	71,3	0,28	10,9	400
S15	8,03	0,76	4,20	148,9	0,75	36,0	3,17	193,4	0,26	7,8	1,10	22,0	2,20	26,8	4,40	101,2	0,33	12,9	542
S16	7,39	0,97	4,90	173,8	0,80	38,4	4,34	264,8	0,21	6,3	1,50	30,1	2,60	31,6	5,20	119,6	0,61	23,9	682
S17	8,44	1,07	6,00	212,8	1,10	52,8	3,88	236,8	0,35	10,5	1,40	28,1	3,00	36,5	6,20	142,6	0,51	19,9	730
S18	7,94	1,36	7,50	266,0	1,20	57,6	4,91	299,6	0,29	8,7	1,80	36,1	3,70	45,0	8,50	195,5	0,62	24,2	924
S19	7,67	0,62	3,20	113,5	0,50	24,0	2,71	165,4	0,25	7,5	1,20	24,0	1,80	21,9	3,00	69,0	0,34	13,3	431
S20	7,68	0,31	1,80	56,7	0,30	14,4	0,94	57,4	0,00	0,0	0,54	10,8	0,89	10,8	1,30	29,9	0,15	5,9	186
S21	7,72	0,31	1,50	53,2	0,32	15,4	1,82	98,9	0,00	0,0	0,54	10,8	0,95	11,6	1,50	34,5	0,16	6,3	231
S22	7,67	0,43	1,80	63,6	0,42	20,2	1,69	115,3	0,00	0,0	0,68	13,6	1,30	15,8	2,10	48,3	0,21	8,2	285
S23	7,90	0,32	1,40	49,6	0,39	18,7	1,60	97,6	0,00	0,0	0,60	12,0	0,94	11,4	1,50	34,5	0,17	6,6	231
S24	7,86	0,45	1,70	60,3	0,45	21,6	1,90	115,9	0,00	0,0	0,80	16,0	1,20	14,6	2,10	48,3	0,19	7,4	284
S25	7,56	0,44	2,10	74,5	0,48	23,1	1,90	115,9	0,00	0,0	0,73	14,6	1,30	15,8	2,30	52,9	0,22	8,6	305
Station 14																			
S1	7,70	0,59	2,30	81,6	0,57	27,4	2,12	129,4	0,21	6,3	1,20	24,0	1,70	20,7	2,60	59,8	0,28	10,9	354
S2	7,58	0,52	1,80	63,8	0,38	18,3	2,18	133,0	0,20	6,0	1,00	20,0	1,30	15,8	2,00	46,0	0,23	9,0	306
S3	7,88	0,55	2,00	70,9	0,46	22,1	2,24	136,7	0,17	5,1	0,94	18,8	1,40	17,0	2,20	50,6	0,24	9,4	326
S5	7,92	1,00	5,79	205,3	0,97	46,7	4,16	253,8	0,00	0,0	1,62	32,5	2,74	33,3	6,08	139,8	0,41	16,1	728
S7	7,99	0,78	4,10	145,4	0,80	38,4	3,23	197,1	0,26	7,8	1,20	24,0	2,30	28,0	4,20	96,6	0,39	15,2	545
S8	7,91	1,18	6,40	226,9	1,30	62,4	3,92	239,2	0,87	26,1	1,60	32,1	3,30	40,1	7,10	163,3	0,50	19,6	784
S9	8,11	1,49	7,80	276,8	1,60	76,8	5,31	324,0	0,56	16,8	1,90	38,1	4,10	49,9	9,30	213,9	0,69	27,0	1007
S10	8,17	1,15	6,50	230,5	1,40	67,2	4,40	268,5	0,00	0,0	1,60	32,1	3,30	40,1	7,50	172,5	0,56	21,9	833
S11	7,72	0,66	3,40	120,6	0,90	43,2	2,92	178,2	0,00	0,0	1,20	24,0	1,90	23,1	3,60	82,8	0,33	12,9	485
S12	8,12	0,88	3,30	117,0	0,70	33,8	2,91	177,6	0,00	0,0	1,10	22,0	2,00	24,3	3,80	87,4	0,33	12,9	475
S13	7,81	0,65	3,40	120,6	0,56	26,9	3,04	185,5	0,00	0,0	1,10	22,0	1,90	23,1	3,70	85,1	0,29	11,3	475
S14	7,94	0,79	4,00	141,8	0,72	34,6	3,38	205,0	0,25	7,5	1,30	26,1	2,60	31,6	4,50	103,5	0,15	5,9	549
S15	8,02	0,87	5,40	191,5	0,81	38,9	3,59	219,1	0,27	8,1	1,20	24,0	2,60	31,6	5,20	119,6	0,38	14,9	640
S16	7,86	1,11	6,40	226,9	0,88	42,3	4,01	244,7	0,91	27,3	1,50	30,1	3,20	38,9	6,70	154,1	0,49	19,2	757
S17	7,84	1,43	8,00	283,7	1,20	57,6	5,23	319,1	0,58	17,4	1,90	38,1	3,90	47,4	8,70	200,1	0,57	22,3	969
S18	7,92	1,68	9,70	344,0	1,50	72,0	8,34	386,9	0,26	7,8	2,20	44,1	5,10	62,0	11,00	253,0	0,73	28,5	1191
S19	7,66	1,68	10,00	354,6	2,40	115,3	5,84	358,4	0,64	19,2	2,50	50,1	4,90	59,6	9,60	220,8	0,86	33,6	1161
S20	7,68	0,48	2,10	74,5	0,52	25,0	1,89	116,3	0,00	0,0	0,80	16,0	1,40	17,0	2,10	48,3	0,21	8,2	304
S21	7,82	0,41	2,00	70,9	0,36	17,3	2,13	130,0	0,00	0,0	0,67	13,4	1,30	15,8	2,10	48,3	0,17	6,6	302
S22	7,70	0,55	2,50	88,7	0,48	22,1	2,59	158,0	0,00	0,0	0,88	17,6	1,60	19,5	3,00	69,0	0,24	9,4	384
S23	8,00	0,56	2,60	92,2	0,50	24,0	2,80	170,9	0,00	0,0	0,85	17,0	1,60	19,5	3,00	69,0	0,26	10,2	403
S24	8,14	0,67	2,90	102,8	0,58	27,9	2,50	152,6	0,40	12,0	1,10	22,0	1,90	23,1	3,40	78,2	0,28	10,9	418
S25	7,65	0,65	3,40	120,6	0,64	30,7	2,80	170,9	0,00	0,0	0,89	17,8	2,00	24,3	3,50	80,5	0,30	11,7	457
Station 15																			
S1	7,61	0,88	3,60	127,7	0,91	43,7	2,93	178,8	0,21	6,3	1,30	26,1	2,70	32,8	4,20	96,6	0,54	21,1	527
S2	7,61	0,69	2,50	88,7	0,52	25,0	2,94	176,4	0,26	7,8	1,80	36,1	2,10	25,5	2,90	66,7	0,33	12,9	434
S3	7,98	0,75	2,80	99,3	0,58	27,9	3,16	192,8	0,20	6,0	1,40	28,1	1,80	21,9	3,10	71,3	0,35	13,7	455
S5	8,13	1,00	4,79	169,9	0,91	43,7	5,80	341,7	0,0	0,0	2,16	43,3	3,10	37,7	5,56	127,9	0,50	19,7	784
S7	8,55	1,30	7,30	258,9	1,30	62,4	6,10	372,2	0,62	15,6	2,20	44,1	4,30	52,3	8,00	184,0	0,71	27,8	1002
S8	8,41	1,86	10,00	354,6	1,70	81,7	7,11	433,9	0,89	26,7	2,40	48,1	5,40	65,7	12,00	276,0	0,98	38,3	1299
S9	8,22	2,33	13,00	461,0	2,90	139,3	8,14	496,7	0,81	18,3	2,60	52,1	6,60	80,3	15,00	345,0	1,10	43,0	1618
S10	8,36	2,51	16,00	567,4	3,30	158,5	7,57	461,9	0,86	25,8	2,00	40,1	7,20	87,6	19,00	437,0	1,20	46,9	1800
S11	8,38	1,47	8,60	305,0	2,10	100,9	4,46	272,1	0,66	19,8	1,80	36,1	4,00	48,6	9,60	220,8	0,78	30,5	1015
S12	8,43	1,28	6,60	234,0	1,30	62,4	5,83	356,7	0,00	0,0	1,90	38,1	3,50	42,6	7,80	179,4	0,65	25,4	938
S13	8,16	1,13	5,80	205,7	0,83	39,9	4,43	270,3	0,66	19,8	1,80	36,1	3,10	37,7	6,60	151,8	0,51	19,9	

Serie	phase	H lac	Conduct.	Cl	SO4	HCO3	CO3	Alcalinité	Ca	mg	Na	K	Sélicité
S1	R	1,52	250	31,7	11,1	70,1	3,3	73,4	13,3	8,6	23,0	6,6	167,7
S2		1,49	238	28,8	9,1	71,4	3,5	74,9	12,4	7,5	20,8	5,7	159,2
S3		1,38	228	29,1	11,2	67,4	1,7	69,1	10,9	7,5	19,9	4,6	152,1
S5		0,73	386	57,1	21,7	104,3	0,0	104,3	16,3	12,1	45,0	7,8	264,4
S7		0,38	458	74,7	29,1	107,2	7,8	115,1	19,0	16,0	52,4	8,7	315,0
S8		0,07	578	104,4	40,5	125,9	6,1	132,0	23,5	19,1	70,6	10,3	400,3
S9		0,02	615	110,4	41,0	135,8	6,7	142,5	23,6	19,8	77,8	11,6	426,9
S10	R	0,08	544	92,7	38,6	121,3	4,5	125,8	21,3	18,2	69,9	9,8	376,3
S11	R	0,90	381	62,8	23,4	94,0	1,1	95,2	15,8	12,0	43,9	7,2	260,3
S12	R	1,38	331	48,4	17,6	62,4	0,0	62,4	13,7	11,1	35,6	6,2	225,0
S13		1,28	324	54,2	15,9	90,6	0,7	91,3	14,2	10,6	35,3	5,5	227,0
S14		1,12	360	55,1	19,9	90,3	6,9	97,2	15,6	13,1	39,4	5,5	245,9
S15		0,60	476	83,5	26,1	115,8	8,1	121,9	17,8	15,9	55,0	7,6	327,6
S16		0,33	581	104,0	31,5	139,1	9,0	147,1	19,6	19,6	70,3	10,3	402,5
S17		0,18	683	126,4	37,2	157,1	8,5	165,5	22,1	24,1	87,0	12,1	474,5
S18		0,13	682	117,5	37,7	163,0	7,8	170,8	25,0	24,3	86,5	12,5	474,1
S19	R	1,19	443	80,8	24,9	102,8	6,5	109,3	16,2	15,3	49,1	8,7	304,5
S20	R	1,80	221	33,4	11,5	68,5	0,0	68,5	9,6	8,0	21,3	4,8	147,1
S21		1,37	235	31,8	12,6	69,1	0,0	69,1	9,2	8,0	22,2	4,4	157,2
S22		1,10	272	39,1	15,6	74,3	0,4	74,7	10,8	9,6	28,5	5,2	183,4
S23	R	1,01	286	41,9	15,3	81,3	0,0	81,3	11,4	9,2	29,4	5,1	163,5
S24	R	1,45	287	39,0	14,6	81,0	1,1	82,1	12,9	9,8	30,4	5,0	193,7
S25	R	1,44	324	54,2	16,9	83,9	0,8	84,7	12,1	11,9	34,5	5,9	220,1
Nord													
S1	R	1,52	170	14,7	6,2	58,1	0,0	58,1	10,8	4,9	11,0	4,8	110,6
S2		1,49	201	22,2	7,1	62,4	3,8	66,0	10,9	5,7	15,5	5,7	133,1
S3		1,38	184	20,2	9,9	57,5	0,0	57,5	9,4	6,0	14,4	3,7	120,9
S5		0,73	315	43,1	19,9	82,7	0,0	82,7	14,7	9,4	37,2	7,2	214,1
S7		0,38	359	56,5	25,7	80,6	6,9	87,6	17,1	12,3	39,0	6,5	244,7
S8		0,07	510	92,7	39,4	108,9	4,8	111,7	23,6	18,4	59,6	8,4	351,8
S9		0,02	524	91,5	37,4	115,0	6,2	121,2	23,1	16,7	62,3	9,6	381,9
S10	R	0,08	411	65,1	30,9	93,3	3,8	97,1	18,8	13,9	48,8	7,1	281,7
S11	R	0,90	260	39,5	13,7	68,8	0,0	68,8	12,6	7,9	26,9	5,1	174,5
S12	R	1,38	207	24,7	11,8	61,8	0,0	61,8	10,4	6,5	18,1	3,9	137,1
S13		1,28	240	37,1	13,7	84,5	0,0	84,5	11,8	7,4	22,6	3,6	160,7
S14		1,12	271	39,0	17,8	84,4	6,0	90,5	13,2	10,0	27,6	4,8	182,9
S15		0,60	367	60,2	24,0	86,9	6,8	93,7	16,2	12,4	38,7	5,5	250,8
S16		0,33	456	78,0	29,5	107,6	7,7	115,2	17,7	15,1	50,9	7,3	313,8
S17		0,18	490	79,2	31,4	120,5	6,1	126,6	20,7	17,8	53,9	8,2	337,8
S18		0,13	518	81,6	31,7	129,1	6,2	135,3	22,6	18,4	58,9	9,3	357,8
S19	R	1,19	218	29,7	10,4	60,7	3,4	64,1	10,3	7,5	18,1	5,0	145,0
S20	R	1,80	153	19,7	7,6	42,0	0,0	42,0	7,9	5,0	12,7	3,7	98,6
S21		1,37	185	22,2	11,7	53,9	0,0	53,9	8,4	6,2	15,9	3,8	121,8
S22		1,10	221	30,3	15,3	58,2	0,0	58,2	9,7	7,7	21,6	4,3	147,0
S23	R	1,01	215	30,7	12,8	58,8	0,0	58,8	9,8	6,7	20,3	3,8	143,0
S24	R	1,45	199	24,3	10,7	68,0	0,0	68,0	9,9	6,6	18,3	3,4	131,2
S25	R	1,44	218	34,3	12,6	67,5	0,0	67,5	9,6	7,5	19,4	3,9	144,9
Centre													
S1	R	1,52	291	41,1	13,5	72,0	8,9	80,9	14,8	9,9	29,0	7,9	197,0
S2		1,49	239	29,1	10,7	70,9	2,4	73,3	11,8	7,3	21,5	5,3	159,0
S3		1,38	231	31,3	10,8	66,0	3,5	69,4	10,9	7,5	19,1	4,8	153,9
S5		0,73	334	45,5	19,0	96,9	0,0	96,9	15,0	10,8	33,7	6,3	227,2
S7		0,38	402	64,1	25,1	94,2	7,5	101,6	16,3	14,3	46,0	8,1	275,4
S8		0,07	527	90,0	34,7	121,9	6,0	127,9	20,2	18,0	63,0	10,1	363,9
S9		0,02	573	101,5	37,1	129,9	5,4	135,3	21,4	18,1	71,8	11,4	386,6
S10	R	0,08	578	96,3	41,4	132,0	5,3	137,3	23,2	18,9	72,3	10,8	400,4
S11	R	0,90	430	69,1	28,7	109,7	0,0	109,7	18,1	13,4	48,5	7,5	295,1
S12	R	1,38	357	52,3	19,5	99,4	0,0	99,4	15,1	12,5	37,7	6,7	243,3
S13		1,28	321	47,0	14,6	94,0	0,0	94,0	14,5	10,1	32,0	5,7	218,0
S14		1,12	329	44,3	18,1	99,6	7,5	107,1	15,9	10,9	31,0	6,7	222,8
S15		0,60	408	68,8	23,2	101,4	7,3	108,7	16,1	13,6	44,0	6,9	279,4
S16		0,33	477	80,4	28,8	114,2	7,5	121,7	17,8	16,4	55,2	8,5	328,7
S17		0,18	602	103,0	35,0	145,4	7,7	153,1	21,2	21,0	72,8	11,3	417,3
S18		0,13	605	112,7	38,7	157,9	7,8	165,4	24,0	24,0	84,6	12,5	462,0
S19	R	1,19	419	79,1	28,1	88,0	8,4	96,5	16,9	14,9	44,5	7,8	287,8
S20	R	1,80	252	38,4	13,3	68,0	0,0	68,0	10,3	9,7	24,5	5,3	169,4
S21		1,37	242	33,6	12,4	71,6	0,0	71,6	9,0	8,1	22,6	4,6	162,0
S22		1,10	261	36,5	13,8	74,5	0,0	74,5	10,3	9,1	25,9	5,3	175,4
S23	R	1,01	315	45,8	17,6	89,0	0,0	89,0	11,9	10,9	32,8	5,8	213,5
S24	R	1,45	289	37,9	15,9	83,2	0,0	83,2	14,1	9,7	29,7	5,2	195,5
S25	R	1,44	307	47,1	16,6	84,9	0,0	84,9	12,4	10,4	30,5	5,9	207,8
Sud													
14													
S1	R	1,52	655	87,8	28,5	136,3	6,7	142,9	24,6	22,8	63,8	13,4	383,8
S2		1,49	471	64,6	17,7	136,5	6,8	143,3	24,0	17,8	47,7	9,4	324,5
S3		1,38	491	72,6	22,4	139,5	5,7	145,2	20,1	16,8	51,3	10,0	338,5
S5		0,73	924	161,8	42,1	247,7	0,0	247,7	31,0	30,8	117,0	15,5	646,0
S7		0,38	928	166,1	43,5	234,6	9,1	243,6	27,6	33,4	116,8	17,9	648,9
S8		0,07	1297	249,0	70,0	286,6	16,5	303,1	34,4	44,0	184,5	25,0	910,1
S9		0,02	1600	318,8	88,8	342,7	17,1	359,8	39,8	64,3	238,8	29,9	1125,2
S10	R	0,08	1433	289,7	87,1	293,7	7,0	300,7	32,2	48,1	222,2	26,5	1006,4
S11	R	0,90	823	154,5	55,5	175,3	8,7	184,0	26,5	27,3	110,6	16,6	574,0
S12	R	1,38	782	134,5	38,6	204,5	0,0	204,5	24,6	26,6	101,0	14,9	544,6
S13		1,28	759	141,2	29,1	195,2	5,1	200,3	24,4	25,4	95,0	12,9	528,4
S14		1,12	830	149,5	34,8	207,0	10,3	217,3	26,7	32,0	109,6	8,9	578,8
S15		0,60	1158	235,2	42,6	272,0	16,3	288,3	29,0	38,2	159,3	19,1	811,8
S16		0,33	1553	312,7	48,6	371,5	19,9	391,4	34,3	63,1	220,2	31,8	1092,0
S17		0,18	2110	497,5	74,7	408,0	25,0	433,0	29,0	71,9	341,4	39,3	1486,9
S18		0,13	1880	385,4	75,4	414,6	16,6	431,1	44,0	66,5	287,0	34,6	1323,9
S19	R	1,19	1423	293,6	78,2	311,0	15,6	326,6	40,0	49,7	185,5	26,7	999,2
S20	R	1,80	415	73,9	22,4	103,2	0,0	103,2	15,0	15,8	46,4	8,0	284,8
S21		1,37	438	68,4	18,1	130,0	0,0	130,0	14,1	15,4	47,5	7,2	300,7
S22		1,10	538	85,0	22,8	148,6	2,8	151,5	18,2	19,6	65,3	9,3	371,7
S23	R	1,01	577	98,6	23,7	174,4	0,0	174,4	18,9	18,7	65,6	9,6	399,5
S24	R	1,45	639	100,5	27,7	171,0	7,5	178,4	23,3	22,5	79,9	10,9	443,3
S25	R	1,44	780	147,9	34,6	189,4	6,3	194,6	22,3	27,8	102,1	14,0	543,3

Annexe III : Qualité moyenne des eaux du lac et de ses 3 régions (mg/l) aux séries d'échantillonnages. R = phases de remplissage.