

**PREMIERS RESULTATS SUR L'EVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX
DANS LA CUVETTE LACUSTRE DU FLEUVE NIGER (MALI) (année 1990-1991).**

Laurence GOURCY (1) et Francis SONDAG (2)

(1) Laboratoire d'Hydrologie, Centre ORSTOM - BP 2528 - Bamako, Mali

(2) Laboratoire des Formations Superficielles - 72, route d'Aulnay - 93143 Bondy

I INTRODUCTION

L'étude physico-chimique des eaux du bassin intérieur du fleuve Niger se place au sein d'un vaste programme de recherche pluridisciplinaire lancé en 1990 sur l'Environnement et la Qualité des Apports du fleuve Niger au Sahel (EQUANIS). Ce programme s'articule autour de plusieurs pôles d'intérêts:

- l'estimation des apports solides et liquides du Niger au delta central,
- la modélisation du bilan hydrique dans le delta intérieur du Niger à partir des pertes en eau et de l'évolution des concentrations de la matière dissoute pour une détermination des relations surface inondée/durée d'inondation,
- la surveillance du milieu et de la qualité des eaux pour déceler les altérations majeures du système,
- l'établissement des relations entre la ressource renouvelable hydrique et les ressources renouvelables biotiques.

Les premiers résultats présentés ici portent sur l'évolution des concentrations de matière dissoute sur l'ensemble de la cuvette lacustre de juillet 1990 à juin 1991.

II METHODOLOGIE UTILISEE

Depuis juillet 1990, plusieurs stations d'observation ont été mises en place sur divers bras du fleuve dans la cuvette lacustre. Les points d'échantillonnage ont été choisis afin qu'ils couvrent l'ensemble du bassin et de manière à ce qu'ils soient à proximité d'une échelle limnimétrique étalonnée relevée quotidiennement.

Un litre d'eau a été collecté sur chacune de ces stations à une fréquence mensuelle, décadaire puis hebdomadaire. Les prélèvements se font au milieu du cours d'eau à une profondeur de 60 cm. Après mesure des conductivités et du pH, les suspensions sont recueillies par filtration sur des membranes de 0,45 puis 0,22 μm de taille de pores et pesées après passage à l'étuve. L'analyse du SO_4^{2-} , NO_3^- et Cl^- se fait par chromatographie ionique, les cations majeurs par absorption atomique. Silice, fer et aluminium sont mesurés par spectrophotomètre à plasma avec une limite de détection de 50 $\mu\text{g.l}^{-1}$. L'alcalinité est mesurée par titration à l'aide d'un acide fort (HCl).

Pour permettre le suivi d'une même masse d'eau à travers le bassin intérieur, les résultats obtenus ont été décalés dans le temps en tenant compte des distances entre les stations et de la vitesse de l'onde de crue. Le numéro 1 correspond à une eau prélevée à Banankoro le 2 juillet 1990 et dont l'arrivée à Dire est estimée au 17 août. La numérotation se fait par période de 5 jours.

III HYDROLOGIE

La station de Banankoro représente l'entrée du fleuve Niger au Mali. Entre cette station et la station de Koulikoro se jette le Sankarani dont les débits sont régis par le fonctionnement du grand barrage hydroélectrique de Selingue. Entre Koulikoro et Ke-Macina apparaissent les grandes zones agricoles de l'Office du Niger qui utilisent une partie du débit du fleuve. Ke-Macina représente donc les entrées dans le delta intérieur. Sur le Bani, entre Douna et Sofara, de nombreux bras partent rejoindre le Niger en amont de Nantaka. La station de Douna qui se situe en amont de la zone d'inondation a donc été préférée pour le calcul des bilans solides et liquides.

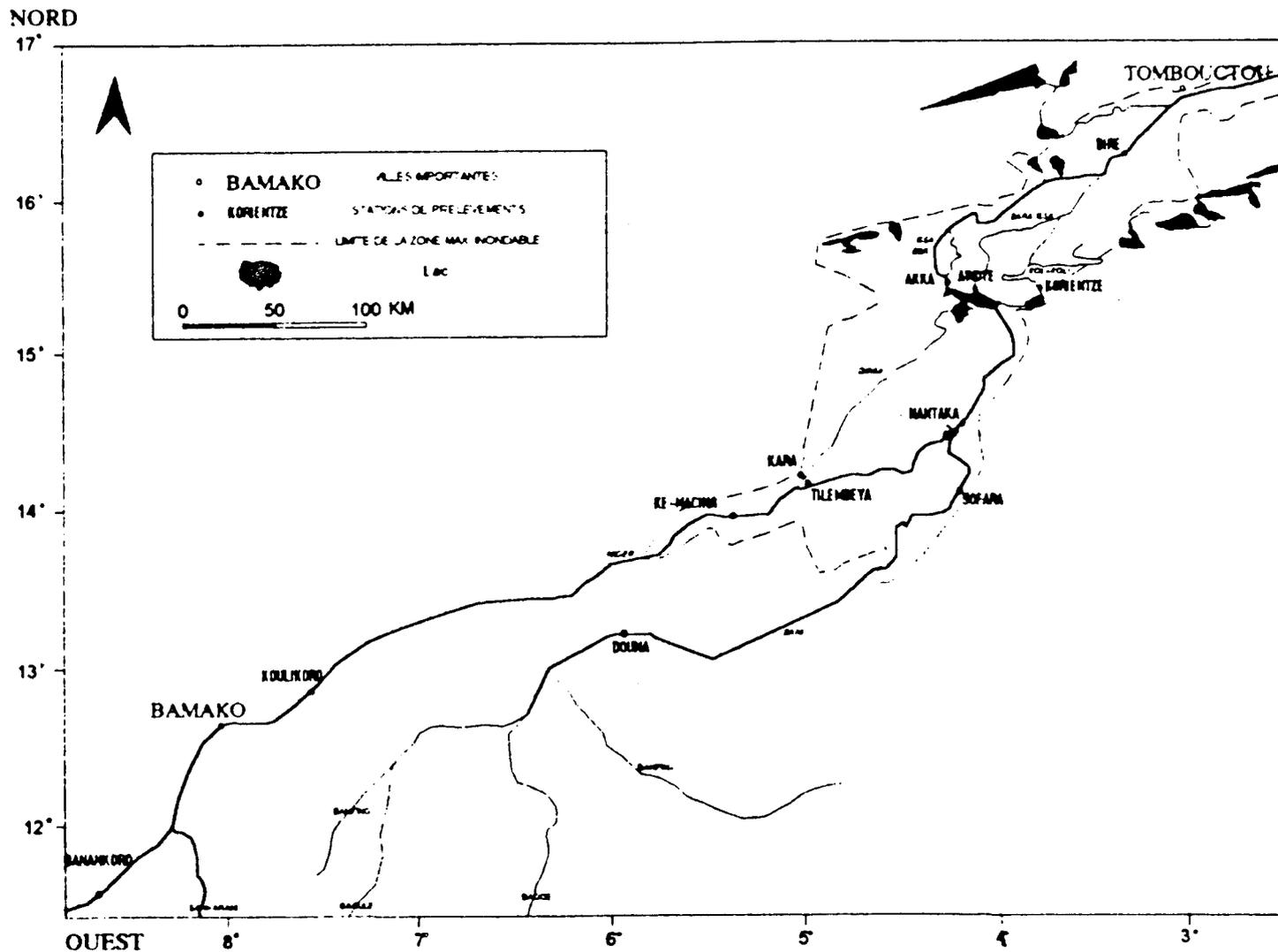
Pour l'année 1990-1991, le Bani, avec 155 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ représente 21% des entrées liquides et le Diaka détourne, en amont de la jonction des deux fleuves, 157 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ soit 26% du débit du Niger.

Dans le delta, les trois stations qui ont été prises en compte à la sortie du lac Debo sont Akka, Awoye et Korientze qui représentent respectivement 558 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, 61 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ et 21 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ de débit moyen annuel soit 87 %, 10 % et 3 % des débits liquides. A la sortie du delta, sur la station de Dire, des débits de 546 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ soulignent que 26% des eaux entrées se sont évaporées, ce qui représente annuellement 6.2 milliards de m^3 d'eau.

IV PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Les eaux du Niger entre Ke-Macina et Dire sont très peu minéralisées. La conductivité varie sur le Bani (Douna) de 22 à 130 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ avec une moyenne annuelle de 70 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$. A l'entrée du Niger au Mali, à Banankoro, les conductivités varient de 33 à 86 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ avec une moyenne annuelle de 50 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$. Les stations avec les plus faibles débits présentent les plus grandes variations (26,7 à 109 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ à Kara). La conductivité s'élève régulièrement durant l'étiage et chute brutalement avec les premières pluies et la montée de la crue. L'augmentation des conductivités est due à la forte évaporation régnant sur la cuvette lacustre pendant la saison sèche et à la transpiration des végétaux.

Le pH des eaux est toute l'année légèrement basique, compris entre 7 et 8. Le Bani présente des pH allant de 7,1 en août à 7,9 en mai-juin. La moyenne est 7,5 alors qu'elle est de 7,3 sur le Niger à Banankoro. Les pH les plus basiques s'observent en période d'étiage. Les valeurs extrêmes observées vont jusqu'à 8,3 à l'étiage (Nantaka) et 6,7 en crue (Koulikoro).



carte de positionnement des stations de prélèvement

V EVOLUTION DE LA CHIMIE DES EAUX SUR L'ANNEE

La silice représente entre 9 et 38% du poids total des éléments dissous. Ces fortes teneurs s'expliquent par la géologie du bassin traversé par le fleuve. La température élevée de l'eau augmente la solubilité de la silice.

Les bicarbonates représentent de 41 à 68 % des éléments dissous. L'apport est essentiellement atmosphérique et peut provenir également de l'oxydation de la matière organique qui s'accompagne d'une augmentation de la teneur en bicarbonates et en protons.

Une partie du sodium a une origine non atmosphérique puisque le chlore se trouve en plus faible proportion. Les teneurs en sulfate et nitrates ne sont pas significatives vu le temps de stockage des échantillons.

Les sulfates et nitrates ne représentent que 0 à 2%, Al_2O_3 et Fe_2O_3 sont toujours inférieurs à 1%.

La proportion de chaque élément reste voisine toute l'année. Seuls les bicarbonates augmentent d'importance à l'étiage au détriment de la silice. Les pH sont alors nettement plus basiques.

La concentration en éléments dissous augmente régulièrement durant la saison sèche puis, dès le début de la crue, diminue rapidement. Les eaux se concentrent ensuite lors de la décrue. Les éléments Ca^{2+} , Na^+ et HCO_3^- sont bien reliés aux débits ($R < -0.84$). Mg^{2+} évolue également inversement au débit mais leur corrélation est moins bonne. Les ions chlorure, potassium et la silice ont une évolution non reliée aux débits.

VI EVOLUTION A TRAVERS LE DELTA

VI 1 Etude des concentrations

Par rapport au Niger, les eaux du Bani ont des concentrations en calcium et bicarbonate plus fortes et des concentrations en silice et sodium plus faibles. La silice ne représente pas plus de 25% des éléments dissous.

L'étude des teneurs en minéraux dissous montre une évolution annuelle différente selon les stations.

Sur les stations de Banankoro, Ke-Macina et Douna l'augmentation des concentrations commence avant que la crue n'ait atteint son maximum. La nappe superficielle et le sous-écoulement de surface influencent la qualité des eaux. Il y a évaporation sur la partie supérieure de la nappe durant la saison sèche. Les premières eaux de pluies qui s'infiltrent lessivent un sol surconcentré. Ces deux types d'eaux arrivent avec un léger retard sur la crue. A Nantaka et à Akka, l'augmentation des concentrations en éléments dissous commence alors que le maximum de crue est déjà passé. On pourrait penser que sur les stations aval du delta l'importance de l'évaporation sur la nappe superficielle, sur les marais et lacs entraînerait un décalage entre la crue et l'augmentation des concentrations en éléments dissous. Ceci ne s'observe pas mais le peu de valeurs (2) sur cette courte période du début de la crue ne permet pas de tirer de conclusions définitives.

VI 2 Bilan des matières dissoutes

Les bilans ont été calculés sur une période recouvrant les numéros 1 à 73, correspondant aux dates du 2 juillet 1990 au 30 juin 1991 à Banankoro. Etant donné la faible minéralisation des eaux des deux fleuves et le temps de stockage des échantillons avant filtration, seuls les éléments tels le bicarbonate, le calcium, le sodium et la silice ont été pris en compte. Les exportations totales de matières dissoutes aux sorties du lac Debo s'élèvent à $10,3.10^5$ tonnes/an.

VI 2 1 Bilan des bicarbonates

Entre les entrées (Ke-Macina et Douna) et les stations de Akka, Awoye et Korientze il y a un excès de bicarbonate de 18 800 tonnes sur l'année étudiée. Cet excès ne représente que 4% des entrées et n'est donc pas très significatif.

Les stations intermédiaires (Kara et Nantaka) montrent un déficit par rapport aux entrées de 29 000 tonnes (soit 6%) et un déficit de 44 000 tonnes par rapport aux sorties (8.5%). L'étude de l'évolution du bilan des entrées moins les sorties à l'échelle de la décade montre qu'en basses eaux, les volumes transportés sont très faibles. Au début de la crue, en mai à Banankoro, les eaux à l'entrée sont peu minéralisées alors qu'elles ont été enrichies à la sortie durant la saison sèche. Il y a ensuite dilution des eaux à l'aval et augmentation des débits amont avec des apports aux entrées plus importants. Ceci se retrouve pour tous les éléments chimiques étudiés.

VI 2 2 Bilan du sodium

Le bilan pour le sodium montre un équilibre entre les entrées et les sorties avec une différence de 4% qui ne peut être significative sur l'ensemble des mesures. Sur les stations intermédiaires, les pertes par rapport aux entrées sont de 2 500 tonnes (4%). Le Bani et le Niger ont des teneurs similaires en sodium. L'évolution entre les différentes stations est faible.

VI 2 3 Bilan du calcium

L'étude du bilan du calcium, élément qui ne subit pas d'interaction avec l'atmosphère et le milieu montre un pseudo-équilibre sur l'année d'observation. Il y a, au niveau de Kara-Nantaka, une perte de 13% de calcium. Entre les stations intermédiaires et la sortie on note un gain de 19%.

VI 2 4 Bilan de la silice

L'analyse du transport de silice dissoute est plus significative car les teneurs observées dans les eaux du delta sont plus fortes. Toutefois des problèmes de mesure et de trop forte variation en l'espace de peu de temps relativisent le bilan. Il y a un déficit à la sortie de 18 000 tonnes (soit 6% des entrées). Entre l'entrée et les stations de Nantaka-Kara le gain de silice est de près de 19%. Par contre, entre les stations intermédiaires et les trois sorties du lac Debo il y a une perte de 21%.

VII DISCUSSION

L'évolution des concentrations est régulière depuis l'entrée du Niger au Mali jusqu'aux sorties du lac Debo. Les bilans à Banankoro ne peuvent être utilisés car les eaux du Sankarani débouchant en aval de cette station ne sont pas étudiées.

Le bilan pour les quatre éléments dissous étudiés montre un équilibre entre les apports au delta et les sorties. Pour le bicarbonate, au début de l'inondation, la surface d'échange entre l'atmosphère et l'eau est importante et permet l'assimilation des bicarbonates par les eaux. Toutefois les faibles variations (4% maximum) sont comprises dans les erreurs de mesure des éléments chimiques et des débits.

Il semble que le bilan sur les stations intermédiaires de Kara (séparation du Niger et du Diaka) et de Nantaka (confluence entre le Niger et le Bani) ne soit pas exact. Alors que les bilans annuels s'équilibrent sur l'ensemble du bassin, ils ne le sont pas au niveau des stations intermédiaires. Pour le sodium et le bicarbonate ces stations montrent un déficit par rapport aux entrées et aux sorties. Pour la silice le fait inverse se produit. Ces fortes variations laissent penser que les valeurs obtenues pour Kara et surtout Nantaka (79% du débit liquide) sont surévaluées ou sous-évaluées. Le Bani a des concentrations plus faibles en silice et plus fortes en bicarbonate et calcium. Ceci tend à montrer que les prélèvements d'eau à Nantaka sont faits dans le Niger alors que les deux fleuves ne sont pas totalement mélangés. La mesure des débits sur cette station tient compte des deux fleuves.

VIII CONCLUSIONS

Après une année d'observation sur les stations du delta et la station amont de Banankoro, il ressort que la complexité et la diversité du réseau hydrographique dans cette région sahélienne ne permettent pas une étude très détaillée de la zone d'inondation. Deux secteurs peuvent être distingués, l'aval et l'amont du lac Debo. Les entrées sont alors Douna et Ke-Macina, les sorties du Debo, Akka, Awoye et Korientze et la sortie du delta est représentée par la station de Dire, étudiée à partir de novembre 1991. Actuellement, l'inondation se fait essentiellement sur la partie amont du Debo et notamment le long du Diaka.

Les stations secondaires comme celles de Awoye ou Korientze ont des courbes de tarage non univoques. Le problème de mesure de débits liés aux faibles pentes des sections du fleuve entraîne des inexactitudes dans les relevés. Le faible nombre de jaugeages sur ces stations entraîne des erreurs lors du calcul des bilans ou les débits ont une part importante.

L'effet de l'évaporation est un facteur prédominant. Les faibles teneurs en éléments dissous et leur variation peu importante ne permettent pas une analyse fine du fonctionnement du delta. Les apports atmosphériques et les liens avec la nappe superficielle sont masqués du point de vue chimique à l'échelle d'étude adoptée.

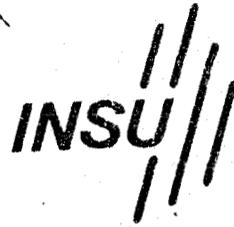
Le calcium pourrait permettre de caler d'éventuels modèles de fonctionnement hydrologique et hydrochimique des apports du Niger au Sahel.

Afin de mieux cerner le fonctionnement hydrochimique du delta intérieur et de calculer des modèles de dilution, l'observation sur les stations principales doit être maintenue avec une fréquence régulière surtout durant la crue.



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Y. Boul



INSTITUT FRANÇAIS DE
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT
EN COOPÉRATION

PROGRAMME ENVIRONNEMENT GEOSPHERE INTERTROPICALE
PEGI

COLLOQUE GRANDS BASSINS FLUVIAUX
PÉRI ATLANTIQUES : CONGO, NIGER, AMAZONE

22, 23 et 24 NOVEMBRE 1993
Au siège de l'ORSTOM
213 rue La Fayette
75010 PARIS

PROGRAMME :

- . Hydroclimatologie du bassin congolais
- . Flux de matière du Fleuve Congo
- . Oubangui, Ngoko et autres affluents du Congo
- . Le Fleuve Niger
- . Le bassin Amazonien (Amazone, Madeira, Tocantins)
- . Approches couplées "hydrologie, géochimie, géophysique"
des transferts hydriques

Organisateurs : Jacques BOULEGUE, Jean-Claude OLIVRY

Secrétariat
Renseignements
et Inscriptions

Dr Bernard HIERONYMUS - Mme Geneviève LETEMPLIER
Laboratoire de Géochimie - Casier Postal 124, UPMC,
4, place Jussieu - 75252 PARIS CEDEX 05, FRANCE
Tél. : 44 27 50 06 Fax : 44 27 51 41

cliché : J. Boulègue . Rio Negro et Rio Solimoes