

Erosion et transport particulaire par le Niger: du bassin supérieur à l'exutoire du delta intérieur (bilan de cinq années d'observation)

**J. P. BRICQUET, G. MAHE, F. BAMBA, M. DIARRA,
A. MAHIEUX, T. DES TUREAUX, D. ORANGE, C. PICOUET**
ORSTOM, BP 84, Bamako, Mali

J. C. OLIVRY
ORSTOM, BP 5045, F-34032 Montpellier Cedex, France

Résumé Les chroniques hydrologiques du Niger supérieur et de sa cuvette lacustre montrent un appauvrissement de la ressource en eau depuis deux décennies lié aux déficits pluviométriques et à l'amenuisement des ressources souterraines. La cuvette lacustre—delta central du Niger—constitue un hydrosystème particulier de lacs et de plaines d'inondation où les pertes annuelles, dues essentiellement à l'évaporation, sont extrêmement importantes. Les mesures de flux fluviaux de matières particulaires, entreprises depuis 1990 sur le Niger amont et son delta, ont montré une perte globale de matières en suspension à l'intérieur du delta central. Les variations saisonnières de la charge solide, en amont et en aval du delta central, permettent une première approche du fonctionnement de cet hydrosystème. La forte hydraulité de l'année 1994/1995 a mis en évidence la complexité du phénomène de transport fluvial de matière à l'intérieur du delta.

INTRODUCTION

Le programme sur l'environnement et la qualité des apports fluviaux du Niger au Sahel (EQUANIS) a mis en place au Mali un réseau de stations d'observation des flux hydriques et de matières particulaires et dissoutes, et a développé sur le Niger les recherches biogéohydrodynamiques des grands écosystèmes relevant de la thématique du Programme sur l'Environnement de la Géosphère Intertropicale (PEGI, INSU/CNRS/ORSTOM).

Le delta central du Niger se distingue des régions avoisinantes par une relative concentration de ressources naturelles renouvelables, liée dans une très large mesure à la présence de l'eau. Par sa taille et sa grande richesse naturelle il offre, plus que d'autres régions, les conditions d'une étude exemplaire du fonctionnement actuel du milieu naturel. Les apports fluviaux de matières du Niger amont à sa cuvette lacustre constituent une ressource renouvelable importante pour l'équilibre des ressources vivantes de l'ensemble du delta. Seuls les résultats sur les flux particulaires de 1991 à 1995 seront présentés ici.

HYDROLOGIE DU NIGER ET DE SA CUVETTE LACUSTRE

Issu des monts de Guinée, le Niger, troisième fleuve d'Afrique par sa longueur (4200 km) s'écoule suivant une direction générale nord-est jusqu'aux confins du

Sahara. Il décrit une grande boucle dans sa traversée des régions sahéliennes et subdésertiques où il perd dans la cuvette lacustre une part importante de ses apports hydriques avant de retrouver la route de l'océan au fond du golfe de Guinée.

Hydrologie du Niger supérieur

Le bassin amont du Niger couvre du sud au nord les domaines climatiques guinéen, soudanien puis sahélien. La pluviométrie annuelle passe respectivement de 1500 mm an⁻¹ à 600 mm an⁻¹ (Fig. 1). Ensuite, le Niger entre dans sa cuvette lacustre située en domaines sahélien puis subdésertique. La pluviométrie annuelle varie alors de 600 mm an⁻¹ à 250 mm an⁻¹. Pour toutes ces zones climatiques, la saison des pluies, centrée sur le mois d'août, est une saison bien marquée.

A Koulikoro, station hydrométrique installée en 1907, la superficie du bassin versant est de 120 000 km², dont seulement un cinquième au Mali. Le débit moyen interannuel calculé sur 83 ans est de 1420 m³ s⁻¹, soit un module spécifique de 11.8 l s⁻¹ km⁻². Avec une hauteur de précipitation interannuelle estimée à 1600 mm et une lame d'eau écoulee de 370 mm, le coefficient d'écoulement moyen pour l'ensemble du bassin amont du Niger atteint 23%. La reprise par évaporation serait de 1230 mm (Brunet-Moret et al., 1986).

Les chroniques hydrologiques du Niger supérieur et de la cuvette lacustre montrent un appauvrissement de la ressource en eau depuis deux décennies lié au

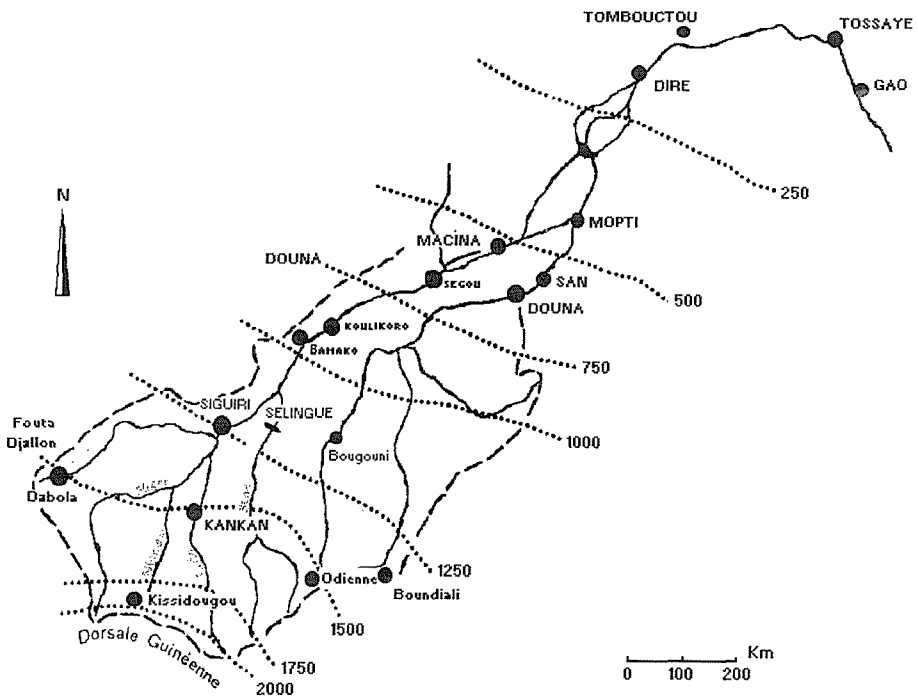


Fig. 1 Bassin supérieur du Niger et isohyètes interannuelles en mm.

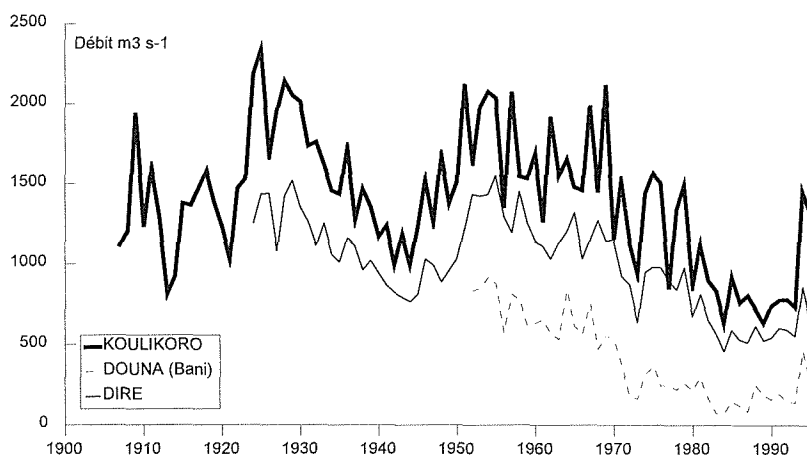


Fig. 2 Evolution des modules annuels, depuis l'origine des observations jusqu'en 1995, du Niger à Koulikoro et Diré et du Bani à Douna.

déficit pluviométrique et à l'amenuisement des ressources souterraines (Olivry, 1995a). Dans la période récente l'hydraulicité des fleuves de la région n'a cessé de se dégrader, d'abord dans les années 1972-1973, puis de manière plus importante encore dans les années 1983 et 1984 (Fig. 2).

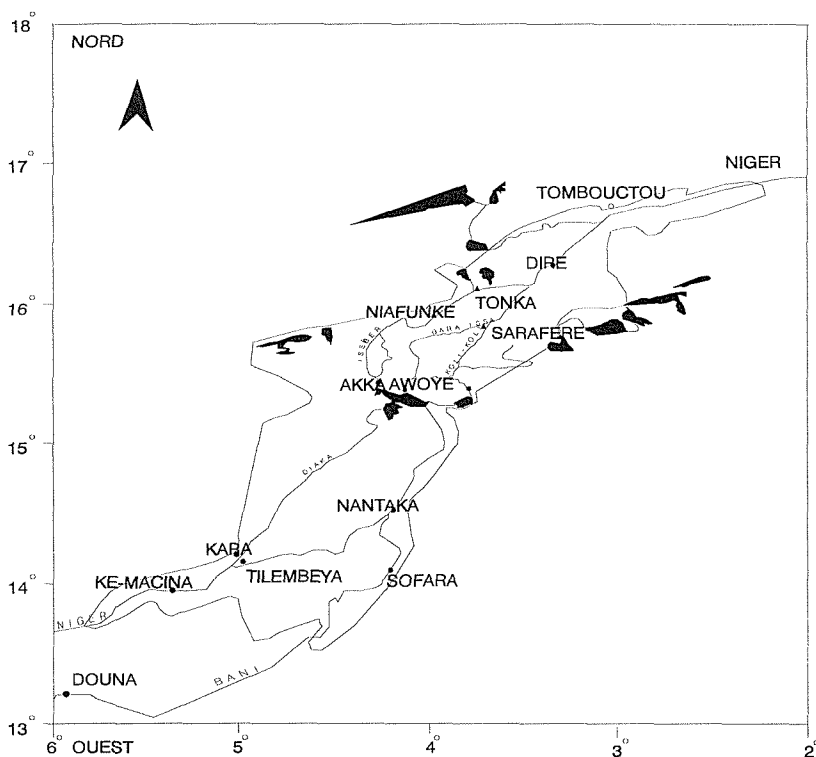


Fig. 3 Carte de situation de la Cuvette lacustre.

La cuvette lacustre

Vaste zone d'épandage des apports de matière du Niger, la cuvette lacustre constituée par un delta amont inondable et un système aval complexe de lacs, couvre une superficie de 50 000 km² de 450 km de long sur 125 km de large (Fig. 3).

Le fonctionnement hydrologique de la cuvette lacustre est largement dépendant:

- (a) des conditions d'écoulement exogènes, l'essentiel des ressources en eau provenant des régions beaucoup plus arrosées de l'amont et donc des régimes hydroclimatiques des bassins supérieurs du Niger et du Bani;
- (b) des conditions morphologiques et climatologiques propre au delta central, régissant les écoulements (défluences, inondations) et le bilan hydrologique (évaporation, infiltration).

L'examen des modules depuis l'origine des observations montre que les écoulements contrôlés à la sortie du delta à Diré perdent de 47% en année humide à 37% en année moyenne et 32% en année sèche par rapport aux entrées liquides dans le delta. En fait, les pertes sont d'autant plus importantes que les zones d'inondations

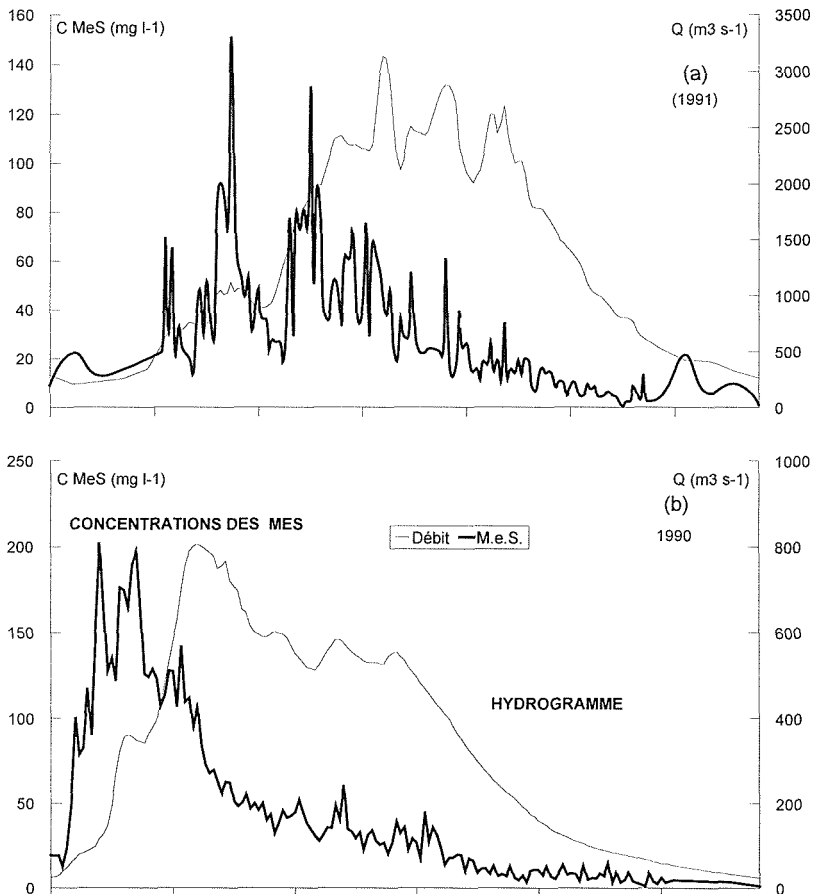


Fig. 4 Exemples d'hydrogrammes et de concentrations en MES (matières en suspension) pour le Niger à Koulikoro (a) et le Bani à Douna (b).

augmentent, mais aussi que les effluents secondaires transfèrent des volumes plus importants.

Ce sont bien évidemment ces pertes hydriques et leur ampleur qui font la caractéristique hydrologique principale de la cuvette lacustre et, de celle-ci, une formidable machine évaporatoire en Afrique de l'ouest.

REGIME DU TRANSPORT DE MATIERES EN SUSPENSION DANS LES EAUX DU BASSIN AMONT

L'étude des matières en suspension dans les eaux du bassin amont montre des variations saisonnières des concentrations caractéristiques des fleuves tropicaux (Gac, 1980; Meybeck, 1984; Orange, 1992; Olivry *et al.*, 1995b). Les concentrations les plus élevées correspondent au début de la saison des pluies. Elles dépassent rarement 100 mg l^{-1} pour le Niger et 200 à 250 mg l^{-1} pour le Bani. Elles tombent en saison de basses eaux jusqu'à 5 mg l^{-1} et, compte tenu des très faibles débits de cette période de l'année, le transport de matière devient alors pratiquement négligeable (Fig. 4).

Les pics de concentration précèdent toujours la crue hydrologique. Les concentrations ont considérablement diminué lors du maximum de la crue, suivant une décroissance assez régulière sur le Bani, plus variable sur le Niger. L'hystérésis de la relation concentrations-débits, illustrée pour le Niger en Fig. 5, correspond à un phénomène classique en zone tropicale. L'évolution mensuelle des concentrations suit toujours trois phases.

- Au début de la crue, il y a une érosion du bassin versant sous l'effet des précipitations et un transport par le fleuve des sédiments arrachés.
- Les concentrations diminuent le reste de la saison humide. La proportion des particules prêtes à être arrachées aux sols est moindre et la végétation joue son rôle protecteur. L'érosion est ralentie. Il y a dilution de la charge par le débit.

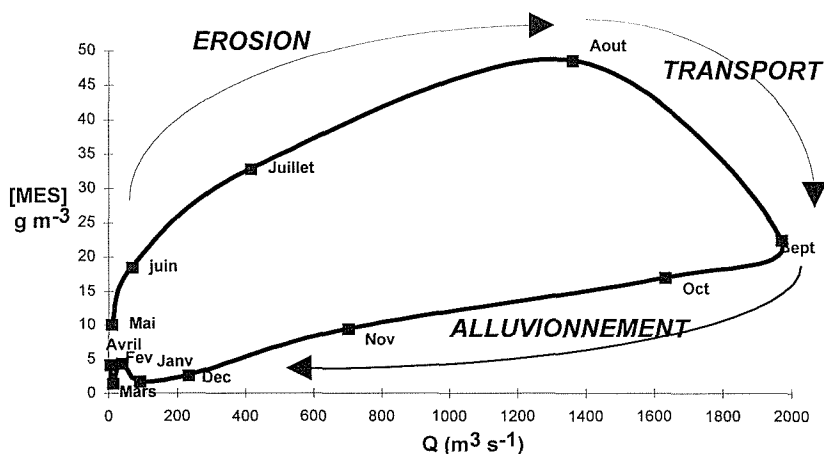


Fig. 5 Exemple de relation Concentration-Débits pour le Niger à Banankoro.

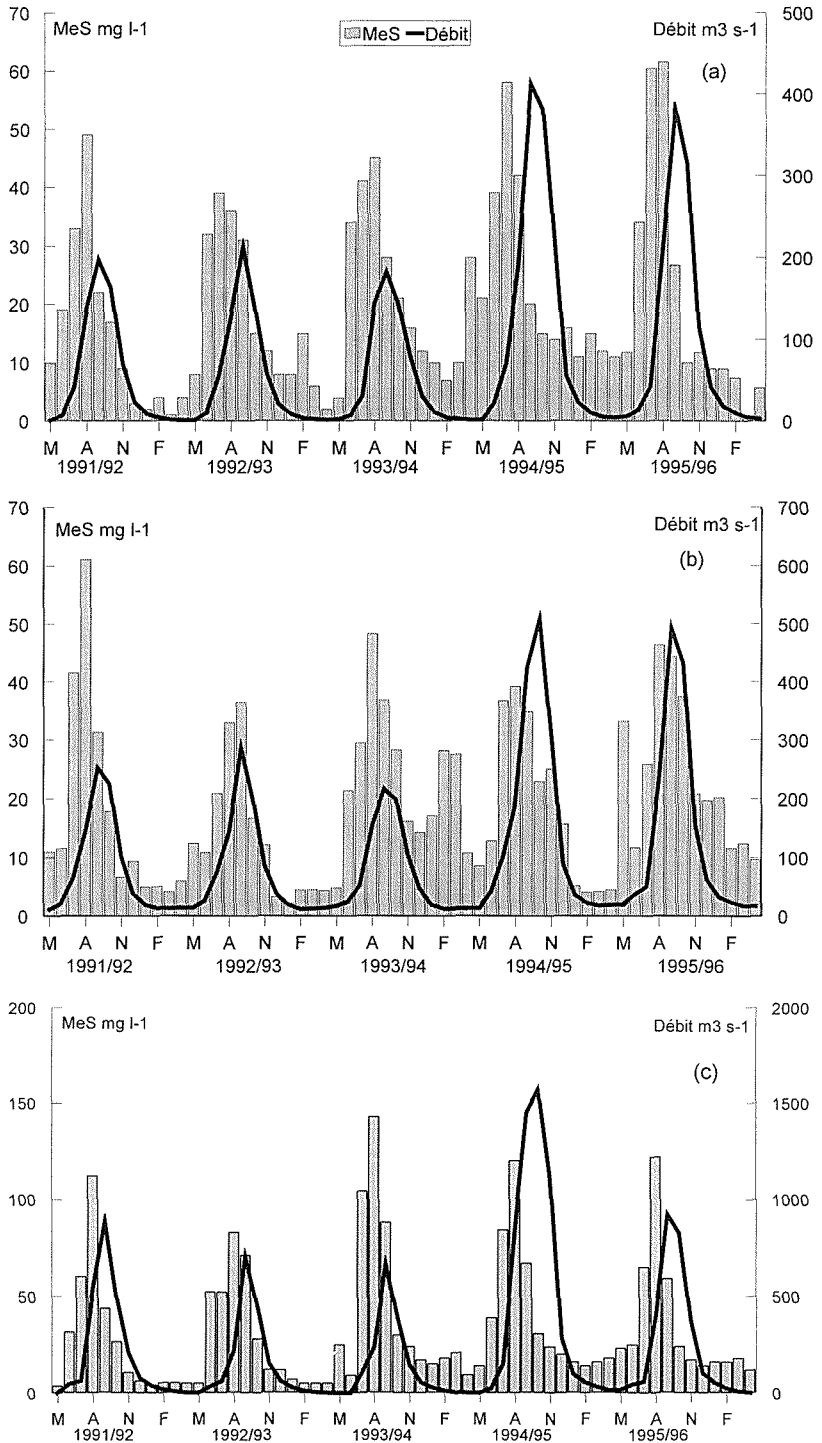


Fig. 6 Concentrations moyennes mensuelles des suspensions et débits mensuels pour le Niger à Banankoro (a), le Niger à Koulikoro (b) et le Bani à Douna (c).

- (c) Le débit diminue et la rivière perd de sa compétence. Les particules sont alors déposées dans les lits majeurs ou les plaines inondées. La phase d'alluvionnement dure le reste de l'année, les concentrations en MES sont faibles, c'est la période où les eaux sont limpides.

La Fig. 6 donne pour la période d'observation les histogrammes des concentrations moyennes mensuelles des matières en suspension et la courbe de variation des débits mensuels correspondants pour les trois stations principales du bassin amont. La forte hydraulicité de l'année 1994-1995 confirme la complexité des relations concentrations en matières en suspensions et débits. En effet, on enregistre cette année-là des concentrations mensuelles plus fortes à Banankoro mais plus faibles à Douna.

Les concentrations moyennes annuelles varient de 22 à 27 mg l⁻¹ sur le Niger et de 49 à 75 mg l⁻¹ pour le Bani. Elles ont peu varié malgré la forte augmentation de débit de la dernière année. Enfin, ces valeurs sont très faibles en comparaison des observations effectuées dans la même zone climatique de l'Afrique. Ainsi, Gac (1980) donne dans son étude sur le bassin du lac Tchad des concentrations moyennes annuelles sur le Chari de 73 à 97 mg l⁻¹, respectivement en année humide et sèche. Sur le Sénégal (Gac & Orange, 1990), la concentration moyenne de la charge annuelle en suspension est de 230 mg l⁻¹ sur neuf années de la décennie 1980.

Les bilans de matière particulaire exportée, calculés pour les années 1991/1992, 1992/1993, 1993/1994 et 1994/1995, montrent une variation importante entre l'année 1994/1995 et les années précédentes comme pour l'hydrologie, alors que les concentrations de MES sont restées dans le même ordre de grandeur (Tableau 1).

Tableau 1 Flux annuels de matières en suspension (MES) et érosions spécifiques sur le Niger et le Bani supérieurs.

Année hydrologique	Banankoro:		Koulikoro:		Douna:	
	MES (t an ⁻¹)	Erosion (t km ² an ⁻¹)	MES (t an ⁻¹)	Erosion (t km ² an ⁻¹)	MES (t an ⁻¹)	Erosion (t km ² an ⁻¹)
1991/1992	425 000	5.9	655 000	5.5	339 000	3.3
1992/1993	440 000	6.1	540 000	4.5	229 000	2.3
1993/1994	471 000	6.6	681 000	5.7	317 000	3.1
1994/1995	828 000	11.5	1 245 000	10.4	738 000	7.3

Etant donné les faibles variations de concentration moyenne annuelle, le facteur déterminant dans l'importance du flux annuel de matière particulaire transportée est le débit annuel du fleuve. De même à l'échelle mensuelle, la variation des flux de matière suit celle de l'hydrogramme de crue: les maximums d'exportation de matière coïncident avec la période des très hautes eaux.

En terme d'érosion spécifique, les valeurs de la dégradation moyenne annuelle varient de 8.1 à 6.6 t km⁻² an⁻¹ pour le Niger à Banankoro et le Niger à Koulikoro, et de 3.2 à 2.5 t km⁻² an⁻¹ seulement pour le Bani à Douna.

BILAN ET VARIATION DES FLUX DE MATIERE DANS LA CUVETTE LACUSTRE

On peut distinguer, dans le delta central, deux parties ayant leur fonctionnement propre:

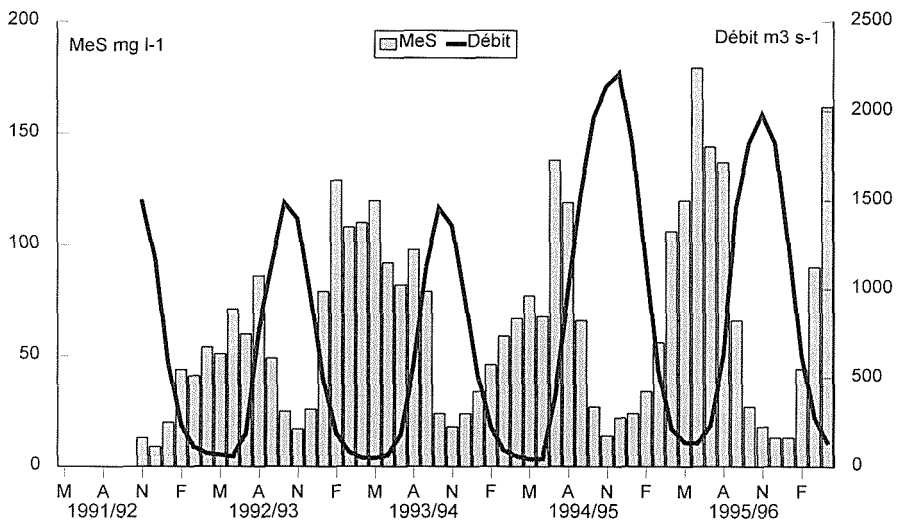
- (a) une *partie amont*, constituée de vastes zones d'épandage encore largement inondées par la crue annuelle malgré le déficit hydropluviométrique, qui se termine au lac Débo, anévrisse majeur et permanent du réseau hydrologique de la région;
- (b) une *partie aval* où une géomorphologie très différente, caractérisée par une surimposition aux formes deltaïques antérieures d'un erg holocène orienté est-ouest, conduit à observer un réseau hydrologique très diffus, souvent commandé par des sillons interdunaires, avec des zones d'inondation plus réduites.

L'étude des transports de matière s'appuie sur les observations effectuées aux entrées amont du delta (stations de Ké-Macina et Douna), aux sorties du Lac Débo et à la sortie du delta aval à la station de Diré.

Evolution des concentrations au cours du cycle hydrologique

Au cours de l'année hydrologique, les stations du delta central du Niger montrent le même type d'évolution saisonnière des concentrations en matières en suspension (Fig. 7) pouvant être décrit en trois étapes.

- (a) Les concentrations maximum de matières particulaires à Diré sont environ de 160 mg l^{-1} , elles se situent plus de 2 mois avant le maximum de crue, et seulement 23 à 45 jours après le début de la montée des eaux. Bien que la montée des eaux soit plus lente qu'à l'amont, le pic de matières en suspension se produit à la sortie du delta avant celui enregistré à l'entrée du delta. Il semble donc que les dépôts de fond de lit et des berges sont plus facilement mobilisables à l'intérieur du delta dès le début de la crue.
- (b) Lors de l'étalement de la crue, on observe les concentrations minimales, correspondant à la dilution de la charge par le débit et au phénomène d'alluvionnement. Aussi, le minimum de concentration correspond-il toujours au



maximum de crue, qui se situe 1 mois après celui de l'amont (alors que pour le Niger amont, le minimum de concentration est enregistré pendant l'étiage).

- (c) Pendant la phase de vidange des plaines d'inondation (de décembre à février), il y a une augmentation brusque des concentrations, qu'une diminution des débits n'explique qu'en partie. Par ailleurs, pendant cette période, l'eau du fleuve drainant la région du lac Débo est également de plus en plus concentrée en matières dissoutes. On suppose qu'il y a des apports extérieurs ou des phénomènes locaux de remise en suspension: apports de poussières atmosphériques par l'harmattan, action du vent créant des vaguelettes qui attaquent les berges, production algale importante dans le lac Débo.

Bilan annuel des flux de matières

Le Niger et le Bani ont apporté au delta un flux annuel de matières en suspension de 1 à 2.3 millions de tonnes par an entre 1991 et 1994. A Diré, le flux annuel de matières en suspension sortant du delta varie entre 0.8 et 1.4 millions de tonnes par an. Le bilan global entrées-sorties de ces flux de matières en suspension montre que le delta central a retenu entre 200 et 900 milliers de tonnes par an durant la période observée.

Le Tableau 2 donne le détail des flux annuels de matières mesurés en 1992/1993 et 1994/1995. Les mesures intermédiaires effectuées aux sorties du lac Débo montrent un comportement très différent des parties amont et aval du delta. En effet, le bilan annuel met en évidence un piégeage de 331 000 t et 1 283 000 t de suspensions avant le lac Débo et au contraire un gain de 87 000 t et 382 000 t entre le lac Débo et Diré, respectivement en 1992/1993 et 1994/1995 (Fig. 8).

Tableau 2 Bilan des flux de matières particulières dans le delta central du Niger en milliers de tonnes.

	1992/1993	1994/1995
Entrées delta	1034	2311
Sortie lac Débo	703	1028
Perte Amont	331	1283
Sortie Diré	790	1411
Perte aval	87 (gain)	382 (gain)
Perte totale	244	901

Il y a décantation dans les plaines d'inondation de la zone amont de près d'un tiers de la charge solide alors que les phénomènes de reprise dans la zone aval excèdent largement la décantation. Le calcul des concentrations moyennes annuelles de matières en suspension suggère deux fonctionnements:

- (a) *Partie amont du delta*: la baisse de concentration des MES (-8.4 mg l^{-1}) pourrait indiquer qu'au piégeage de matière lié aux pertes en eau dans les plaines d'inondation s'ajoute une décantation des suspensions des eaux faisant retour au réseau en décrue.
- (b) *Partie aval du delta*: la concentration augmente par rapport aux sorties du lac Débo; les apports complémentaires, dus probablement aux reprises de berges par effet du vent ou dépôts de poussières atmosphériques mais aussi à des possibles

transferts du dissous au particulaire d'origine biologique (diatomées), s'associent à l'évaporation au fil des écoulements pour reconcentrer les suspensions à Diré.

Le suivi des variations mensuelles des flux de matières apporte des informations complémentaires sur le fonctionnement hydrodynamique du Niger à travers le delta.

Variations saisonnières des flux de matière

Le bilan mensuel des flux de matière en suspension a été établi entre les entrées amont et les sorties du lac Débo et entre le lac Débo et la sortie aval à Diré sur les années hydrologiques 1992/1993, 1993/1994 et 1994/1995.

Les flux de sortie du delta amont sont supérieurs aux entrées en mai, juin et juillet; la fin de la saison des basses eaux se manifeste par une reprise des berges dans le lit mineur du fleuve. En août, septembre, octobre et novembre, avec l'inondation de la crue annuelle, des pertes importantes sont observées; elles sont

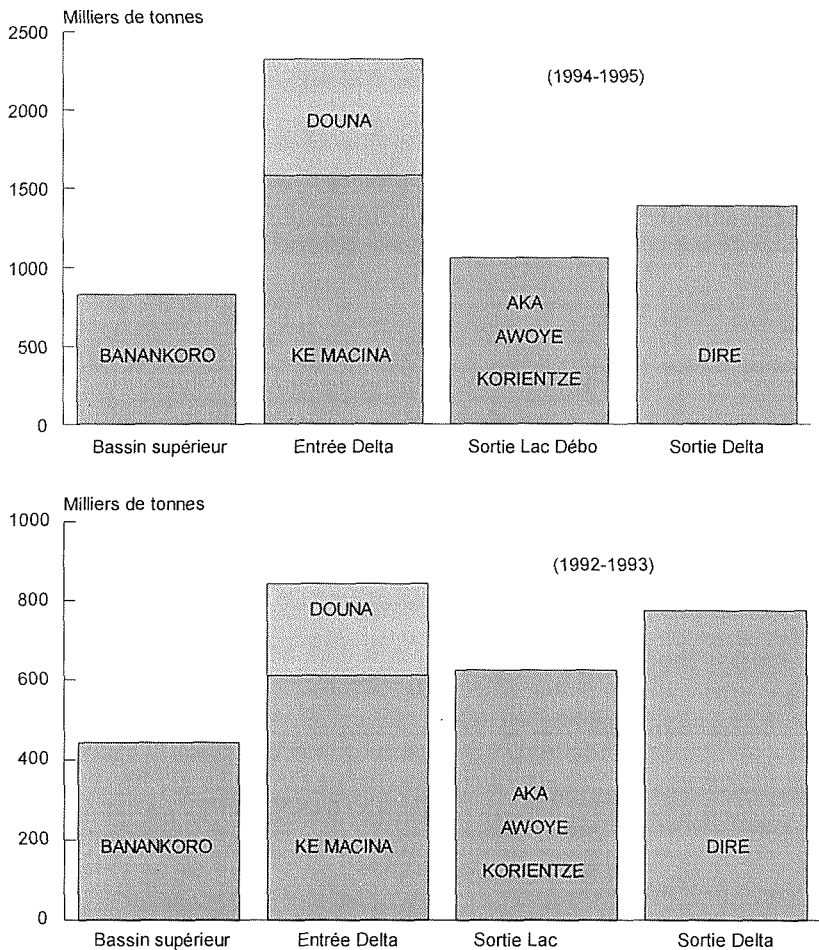
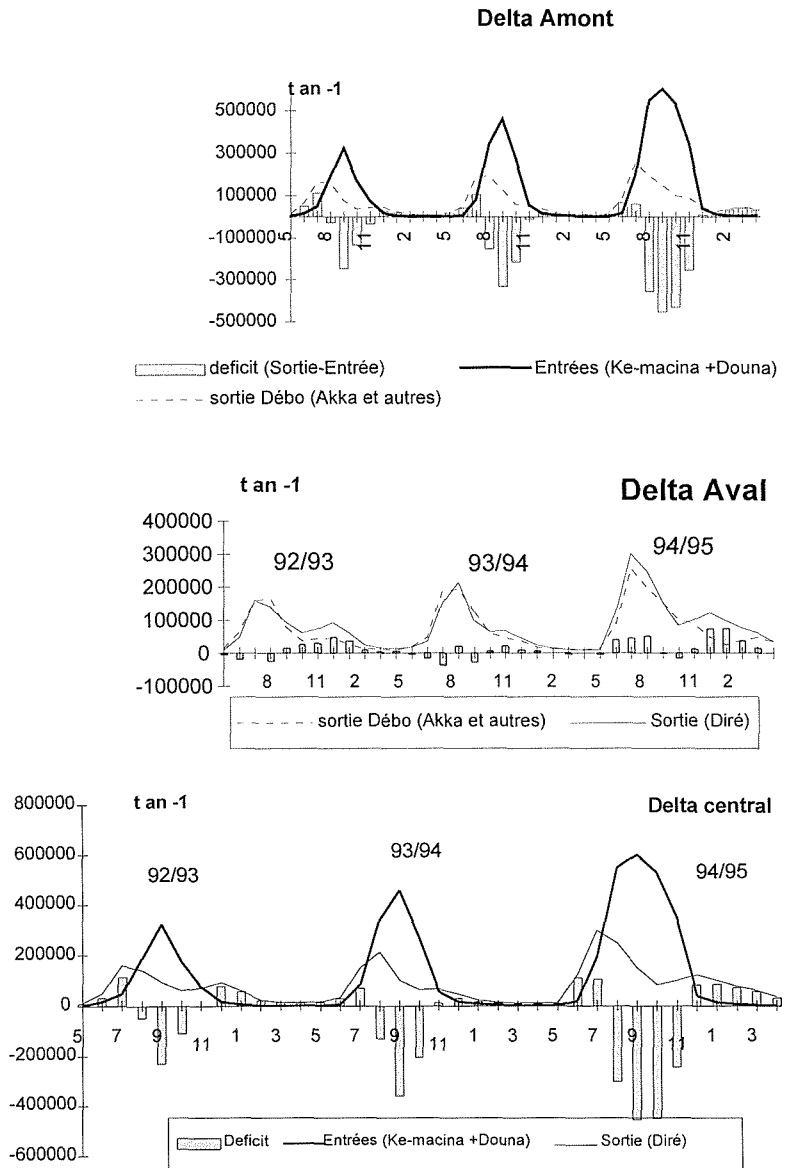


Fig. 8 Bilan annuel (1992/1993 et 1994/1995) des transports particuliers du fleuve Niger.

maximales en septembre. A partir de décembre, il y a restitution d'une petite partie du stock piégé.

Sur le delta aval, le comportement du système est tout à fait différent. Seul les mois de juillet, août et septembre montrent une perte en sédiments, avec un maximum en août. A partir de novembre, et en décembre puis janvier, les exportations de matières observées à Diré excèdent les flux mesurés à la sortie du lac Débo.

Un léger excédent des sorties subsiste de février à juin. Ce gain de matière en suspension a déjà été évoqué dans le bilan annuel; limité à la période novembre-juin,



il correspond, en saison sèche, à l'observation de vents forts (harmattan), orientés dans la direction principale du fleuve à l'aval du lac Débo, qui favorisent une érosion des berges et une reprise des dépôts de fond dans les biefs les moins profonds. C'est la période d'apports éoliens (sables dunaires) des brumes sèches et de poussières atmosphériques; c'est aussi une période de transformations planctoniques (par exemple la transformation de silice dissoute en silice du test des diatomées). La position septentrionale du delta aval plus proche du Sahara explique ce fonctionnement différent de celui du delta amont. La Fig. 9 illustre ces variations de flux des suspensions pour les deux parties du delta et pour l'ensemble de la cuvette lacustre.

CONCLUSION

Au stade actuel des mesures disponibles, il est difficile d'aller plus loin dans l'interprétation du fonctionnement de l'hydrosystème, et en particulier de celui du delta aval. Il est clair que la traversée du delta central du Niger avec ses écoulements très lents et ses plaines d'inondation conduit à de notables modifications de la charge en suspension du fleuve.

Des mesures complémentaires sur plusieurs années permettront de vérifier la répétition des phénomènes observés. Afin de pouvoir approcher un modèle de fonctionnement du transport particulaire à l'intérieur du delta central, l'observation sur les stations principales doit être maintenue avec une fréquence régulière surtout durant la crue. Par ailleurs, un suivi des apports de poussières atmosphériques semble nécessaire, leur intervention dans le bilan global sorties-entrées de matière étant sans doute non négligeables à cause des forts vents de poussière régnant dans ce type d'environnement.

Le delta central du Niger ne correspond pas à un bassin sédimentaire ancien, comme celui du lac Tchad où l'épaisseur des dépôts correspond à une longue histoire géologique. Aussi, faute d'observer l'existence d'un bassin sédimentaire ancien, l'importance relative des dépôts de matière dans la cuvette lacustre aurait pu caractériser les phases de faible hydraulité du Niger; or l'année 1994/1995 de bonne hydraulité a rejeté cette hypothèse. Une augmentation de l'hydraulité a entraîné une augmentation des flux transportés et des dépôts dans la cuvette lacustre.

REFERENCES

- Brunet-Moret, Y., Chaperon, P., Lamagat, J. P. & Molinier, M. (1986) *Monographie Hydrologique du Fleuve Niger*, tome I: *Niger Supérieur*; tome II: *Cuvette Lacustre et Niger Moyen*. Collection. Monogr. Hydrol., no. 8, ORSTOM, Paris.
- Gac, J. Y. (1980) *Géochimie du Bassin du Lac Tchad. Bilan de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation*. Travaux et documents ORSTOM, no 123.
- Gac, J. Y. & Orange, D. (1990) Cadre naturel du haut bassin-versant du fleuve Sénégal. *Rapport ORSTOM Dakar. Projet CEE/EQUESEN no. TS-2-0-198-F-EDB*.
- Meybeck, M. (1984) Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse Doct. Etat. Sciences, Univ. P. et M. Curie, Paris XI.
- Olivry, J. C., Bricquet, J. P., Bamba, F. & Diarra, M. (1995a) Le régime hydrologique du Niger supérieur et le déficit des deux dernières décennies. In: *Grands Bassins Fluviaux* (ed. par J. C. Olivry & J. Boulègue) (Actes du Colloque PEGI, 22-24 novembre 1993), 251-266. Collection Colloques et Séminaires ORSTOM.
- Olivry, J. C., Gourcy, L. & Touré, M. (1995b) Premiers résultats sur la mesure des flux de matières dissoutes et particulaires dans les apports du Niger au Sahel. In: *Grands Bassins Fluviaux* (ed. par J. C. Olivry & J. Boulègue) (Actes du Colloque PEGI, 22-24 novembre 1993), 281-292. Collection Colloques et Séminaires ORSTOM.
- Orange, D. (1992) Hydroclimatologie du Fouta Djallon et dynamique actuelle d'un vieux paysage latéritique. *Sciences Géologiques, Mémoire no. 93, Strasbourg*.



FRIEND'97— Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management

Edited by

Alan Gustard, Sarka Blazkova,

Mitja Brilly, Siegfried Demuth,

Julia Dixon, Henny van Lanen,

Carmen Llasat, Simon Mkhandi & Eric Servat



FRIEND'97—Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management

Edited by

ALAN GUSTARD

Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire OX10 8BB, UK

SARKA BLAZKOVA

T G Masaryk Water Research Institute, Podbabská 30, 160-62 Prague 6, Czech Republic

MITJA BRILLY

FAGG Hydraulics Division, University of Ljubljana, Hajdrihova 28, 61000 Ljubljana, Slovenia

SIEGFRIED DEMUTH

Department of Hydrology, University of Freiburg, Werderring 4, D-79085 Freiburg, Germany

JULIA DIXON

Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire OX10 8BB, UK

HENNY VAN LANEN

Department of Water Resources, Agricultural University, Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen, The Netherlands

CARMEN LLASAT

Department of Astronomy and Meteorology, University of Barcelona, Avda Diagonal 647, 08028 Barcelona, Spain

SIMON MKHANDI

Department of Civil Engineering, University of Dar es Salaam, PO Box 35131, Dar es Salaam, Tanzania

ERIC/SERVAT

Antenne Hydrologique, 06 BP 1203, Cidex 1, Abidjan 06, Côte d' Ivoire

Proceedings of the Third International Conference on FRIEND held at Postojna, Slovenia, from 30 September to 4 October 1997. The conference was convened jointly by the steering committee of the Alpine Mediterranean Hydrology (AMHY) FRIEND project with the support of other FRIEND groups: Northern European FRIEND, Southern African FRIEND, West and Central African FRIEND and the National Committee of Slovenia for the International Hydrological Programme of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) and the Operational Hydrological Programme of World Meteorological Organization (WMO). The conference was sponsored by UNESCO, WMO, the European Commission, the International Association of Hydrological Sciences (IAHS) and the Ministry of Science and Technology, Republic of Slovenia.

**Published by the International Association of Hydrological
Sciences 1997**

IAHS Press, Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire OX10 8BB,
UK

IAHS Publication no. 246

ISBN 1-901502-35-X

British Library Cataloguing-in-Publication Data.

A catalogue record for this book is available from the British Library.

**IAHS is indebted to the Institute of Hydrology,
Wallingford, UK, for the support and services provided
that enabled the editor-in-chief to work effectively and
efficiently. IAHS is similarly indebted to the employers of
the co-editors for the support they provided.**

The designations employed and the presentation of material throughout the publication do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of IAHS concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries.

The use of trade, firm, or corporate names in the publication is for the information and convenience of the reader. Such use does not constitute an official endorsement or approval by IAHS of any product or service to the exclusion of others that may be suitable.

The Editors wish to acknowledge Penny Kisby of IAHS Press for the preparation of the camera-ready copy; the editorial assistance of the conference convenors; and the authors of the papers for their patience and cooperation during the editing process.

The camera-ready pages were assembled by Penny Kisby (IAHS Press, Wallingford, UK) using files of the edited papers provided by the Editor.