

PREMIERS RESULTATS SUR LA MESURE DES FLUX DE MATIERES DISSOUTES ET PARTICULAIRES DANS LES APPORTS DU NIGER AU SAHEL

J.C.OLIVRY, L. GOURCY & M.TOURE

RESUME :

Depuis 1990, une étude des flux de matières dissoutes et particulaires est menée conjointement sur le haut bassin du Niger et dans sa cuvette lacustre (ou Delta intérieur). Les premiers résultats montrent de très faibles concentrations des matières en suspension avec une dégradation spécifique de l'ordre de 7 à 8 t km² an⁻¹ sur le Niger supérieur et de 3 t km² an⁻¹ sur son affluent principal le Bani. Les flux spécifiques de matières dissoutes sont également très modestes variant de 10 à 12 t km² an⁻¹ sur le Niger à 2,5 t km² an⁻¹ sur le Bani. Dans la traversée du Delta intérieur, environ ¼ des charges en suspension et des charges dissoutes se déposent dans les plaines d'inondation sur un flux global des entrées de 2,2 millions de tonnes en 1992 - 93. Les variations saisonnières de ces flux montrent des comportements différents des parties amont et aval du Delta intérieur dus principalement aux conditions de l'amortissement de la crue annuelle dans son transfert de l'amont vers l'aval.

ABSTRACT : Dissolved and suspended matter fluxes in the Niger river's yields to the Sahel.

Since 1990, the dissolved and suspended matter fluxes in the Niger river's yields to the Sahel are measured. First results on the upper basin and after the inner Delta show low concentrations of matter. The specific sediment load varies between 7 or 8 t km² year⁻¹ for the upper Niger river and 3 t km² year⁻¹ for the Bani river. The specific dissolved load varies between 10 or 12 t km² year⁻¹ for the Niger river and 2,5 t km² year⁻¹ for the Bani river. The annual input in the inner Delta was about 2,2 Mt in 1992 - 1993. Sediment and chemical budgets show a sediment deposit of 0,24 Mt and a saline deposit of 0,3 Mt in the inner Delta. Seasonal variations of the matter fluxes are very different between the upper and the lower parts of the inner Delta, due to the breaking of the annual flood and to the more important flood plains in the upper Delta.

1 INTRODUCTION :

Depuis 1990, le projet sur l'environnement et la qualité des apports du Niger au Sahel (EQUANIS) s'est attaché à mettre en place au Mali un réseau de stations d'observation des flux de matières particulaires et dissoutes en développant progressivement les thématiques de recherches du PEGI. Ce réseau s'appuie sur la connaissance des transferts hydriques bien identifiés dans le suivi de stations hydrométriques de référence (Brunet-Moret et al., 1986). Les protocoles de mesure ont été adaptés aux conditions particulières du réseau hydrographique du Niger notamment dans la cuvette lacustre, où les écoulements sont particulièrement lents et où les vastes plaines d'inondation conduisent à l'observation de dépôts et à une évolution des flux de matière. La représentativité des contrôles journaliers de la charge solide a été vérifiée à partir de mesures complètes des débits solides ; les faibles concentrations observées et la dispersion relative des résultats exigent la multiplication des prélèvements afin d'identifier les variations saisonnières significatives du transport de matière (élimination d'anomalies ponctuelles dues à des effets de berge, contrôle d'un bon mélange des apports de tributaires différents).

Le régime des exportations de matière des bassins amont est étudié :

- à la station de Banankoro sur le Niger à son entrée au Mali (bassin de 71 800 km² et régime naturel) ;
- à la station "historique" de Koulikoro (bassin de 120 000 km²), après confluence avec le Sankarani dont le régime est influencé par la retenue de Sélingué ;
- à la station de Macina (après prélèvement par les canaux de l'Office du Niger et avec l'influence du barrage de Markala) ;

- à la station de Douna sur le Bani, tributaire principal du Niger (bassin de 102 000 km² en régime naturel).

Ces deux dernières stations ont été retenues comme références des flux d'entrée dans la cuvette lacustre - ou Delta intérieur du Niger.

Le suivi des principaux effluents du système Niger-Bani dans le Delta intérieur est assuré aux stations de Kara sur le Diaka, de Tilembeya et Nantaka sur le Niger, de Sofara sur le Bani, avant regroupement dans le lac Débo des eaux de la cuvette amont.

Un premier bilan des sorties du lac Débo est effectué sur les trois défluent du lac aux stations d'Akka sur l'Issa Ber, d'Awoye sur le Bara Issa et de Korientzé sur le Koli-Koli. Ces trois défluent reforment un bief unique peu en amont de Diré ; c'est à cette station que l'on contrôle les sorties de l'ensemble du Delta Intérieur.

2 PREMIERS RESULTATS SUR LES BASSINS SUPERIEURS DU NIGER ET DU BANI

2.1 Régime du transport de matières en suspension

Après validation de la représentativité des prélèvements journaliers effectués par des observateurs (Fig. 1) et, dans le cas contraire, en prenant seulement en compte des mesures hebdomadaires ou mensuelles (jaugeages du débit solide) réalisées par l'équipe de recherche (Nouvelot, 1972), l'étude des matières en suspension dans les eaux des bassins amont montre des variations saisonnières des concentrations caractéristiques des fleuves tropicaux. 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 débits, le transport de matière devient alors pratiquement négligeable.

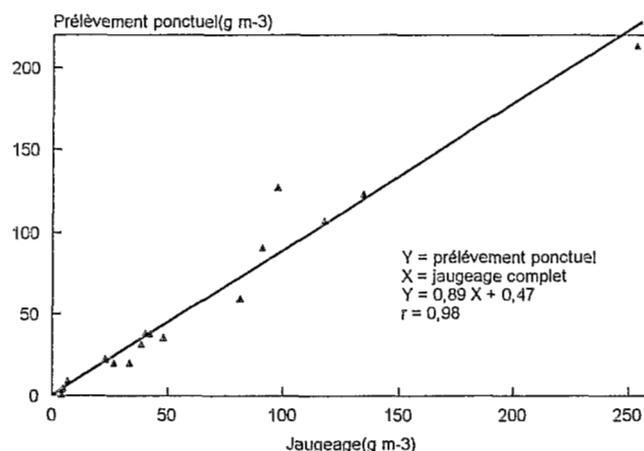


Figure n° 1

Exemple de corrélation entre jaugages et prélèvements observateurs

La figure 2 illustre pour le Bani et le Niger supérieur, les variations de concentration des matières en suspension et celles des débits liquides. Les pics de concentration précèdent la crue hydrologique. Les concentrations ont considérablement diminué au moment 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 Bani (Fig. 3) correspond à un phénomène classique en zone tropicale.

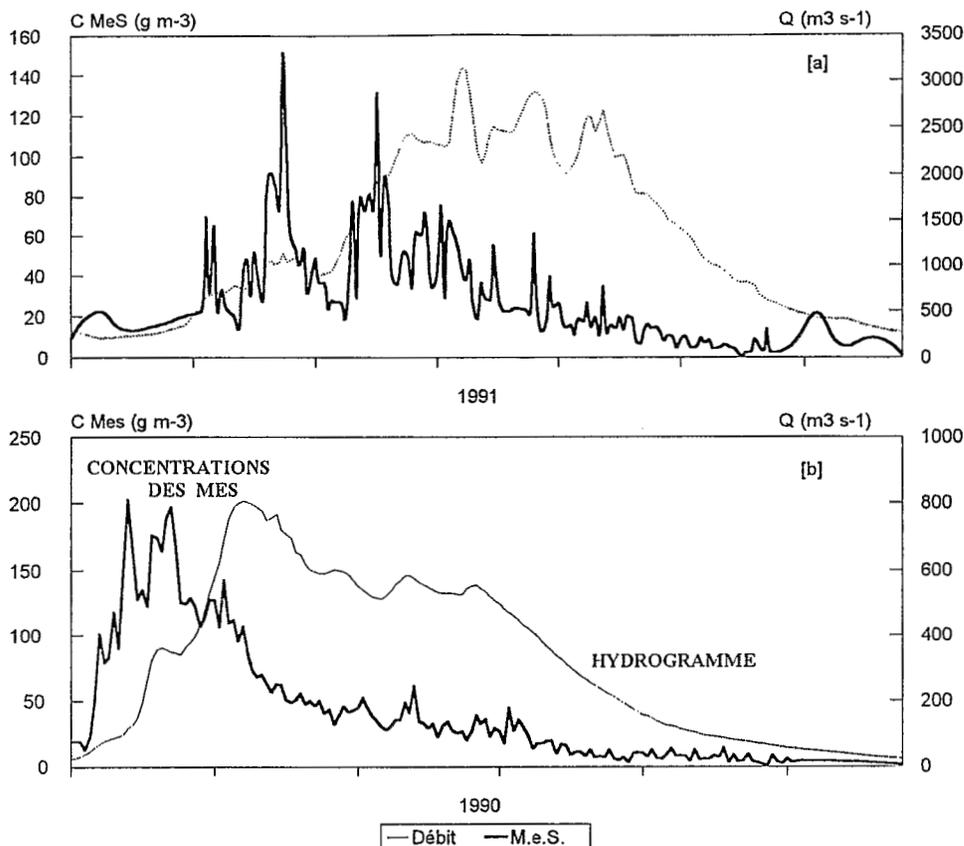


Figure n° 2

Exemples d'hydrogrammes et de concentrations en M.e.S. pour le Niger à Koulikoro (a) et le Bani à Douna (b).

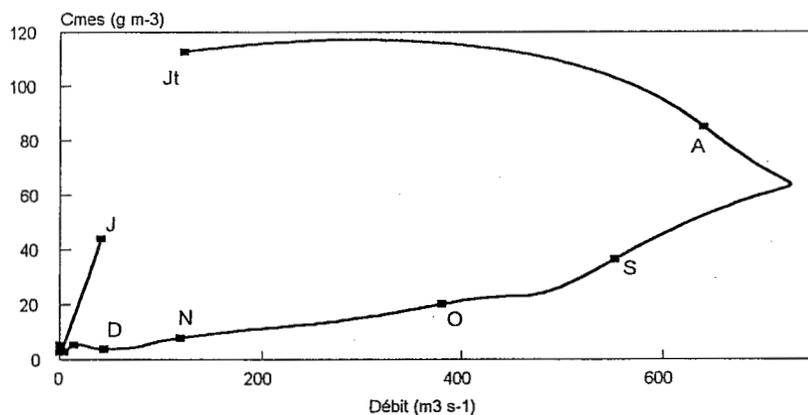


Figure n° 3

Exemple de relation Concentration - Débits pour le Bani à Douna

La figure 4 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. Les concentrations moyennes annuelles varient de 28 à 36 mg l⁻¹ sur le Niger et de 53 à 59 mg l⁻¹ pour le Bani ; 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 Logone à Kousseri de 117 mg l⁻¹ et 159 mg l⁻¹ respectivement en

année humide et sèche, et sur le Chari à N'Djaména, pour les mêmes années caractéristiques, de 73 et 97 mg l⁻¹. Sur le Sénégal (Orange, 1990) la concentration moyenne de la charge annuelle en suspension est de 230 mg l⁻¹ sur neuf années de la décennie 80.

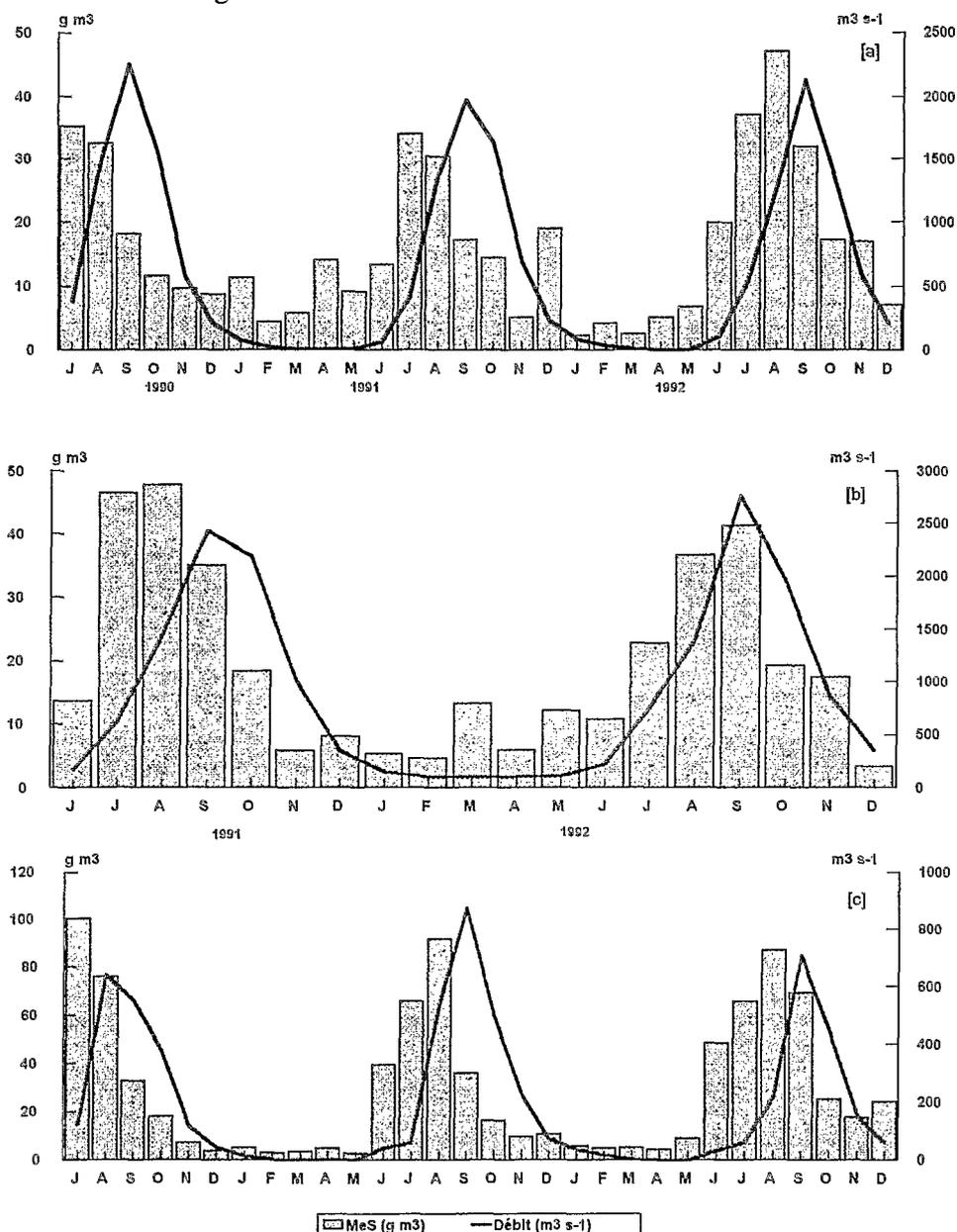


Figure n° 4

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

La variation des flux de matière est très dépendante de celle de l'hydrogramme de crue du Niger et du Bani, et les maximums d'exportations de matière coïncident avec la période des très hautes eaux. Les débits solides maximums ont atteint des valeurs de 100 à 130 kg s⁻¹ à la station de Banankoro, de 160 à 200 kg s⁻¹ à Koulikoro et de 60 à 120 kg s⁻¹ sur le Bani à Douana.

Le bilan annuel des exportations de matières en suspension est indiqué dans le tableau 1.

Tableau 1 :

Flux annuels de matières en suspension (en tonnes) sur le Niger et le Bani supérieurs.

Année hydrologique	Niger à Banankoro	Niger à Koulikoro	Bani à Douna
1990 - 1991	-	-	283 000
1991 - 1992	579 000	890 000	325 000
1992 - 1993	476 000	760 000	253 000

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.

Ces très faibles dégradations, liées pour une part à la faible hydraulicité des cours d'eau, doivent être rapprochées de celles du bassin actif du fleuve Sénégal dont la valeur moyenne est de 16,7 t km⁻² an⁻¹ sur 9 années récentes déficitaires (Gac et Orange, 1990).

Cette différence peut en partie s'expliquer par l'importance relative plus grande sur le bassin du Sénégal que sur le bassin du Niger, du plateau mandingue à couverture latéritique. Les hauts bassins guinéens des deux fleuves sont moins sensibles à l'érosion.

2.2 Régime du transport des matières dissoutes

L'étude des transports des matières dissoutes en terme de concentrations, de flux et de variations saisonnières a été menée conjointement à celle des matières en suspension. Les concentrations sont comprises entre 30 et 80 mg l⁻¹ pour le Niger à Banankoro, entre 20 et 100 mg l⁻¹ pour le Bani à Douna, avec les plus fortes concentrations en fin de saison sèche et un minimum dès le début de la montée de la crue, période pour laquelle la phase de ruissellement est la plus intense en valeur relative par rapport à l'écoulement de base. L'augmentation progressive des concentrations pendant la crue annuelle traduit une contribution de plus en plus importante des apports d'origine souterraine. Enfin à la décrue, avec la fin des écoulements superficiels, la phase de tarissement est marquée par une augmentation plus forte des concentrations.

L'amplitude des variations de concentrations est moindre pour le Niger à Koulikoro et le Niger à Ké-Macina. Les débits de saison sèche sont soutenus par les lâchures du barrage de Sélingué (Volume de retenue de 2.10⁹ m³) ; ces apports de la retenue d'origine essentiellement liés aux écoulements superficiels de la saison des pluies précédente, sont moins concentrés en éléments dissous.

La figure 5 illustre par quelques exemples ces variations de concentration au cours de l'année.

Les flux annuels de matières dissoutes observés en 1991 et en 1992 sont respectivement :

- de 690 000 et 840 000 t sur le Niger à Banankoro,
- de 960 000 et 936 000 t sur le Niger à Koulikoro,
- de 275 000 et 255 000 t sur le Bani à Douna.

La différence entre 1991 et 1992 sur les apports intermédiaires entre Banankoro et Koulikoro dont l'essentiel provient du Sankarani, varie du simple à plus du double. Cet aspect devra être précisé au cours des prochaines années de prélèvement.

Les flux spécifiques de matières dissoutes observés sont de l'ordre de 11 t km⁻² an⁻¹ sur le Niger à Banankoro, de 8 t km⁻² an⁻¹ sur le Niger à Koulikoro et seulement de 2,6 t km⁻² an⁻¹ sur le Bani à Douna.

Le tableau 2 résume les résultats acquis au cours des premières années d'observation en matière de flux spécifiques.

Le rapport matières dissoutes/matières en suspension est de 1,5 pour le Niger à Banankoro et de 0,9 pour le Bani à Douna.

L'analyse qualitative et quantitative des constituants de la matière dissoute fait l'objet d'études en cours de réalisation dont les premiers résultats sont donnés par ailleurs.

Grands Bassins Fluviaux, Paris, 22-24 novembre 1993

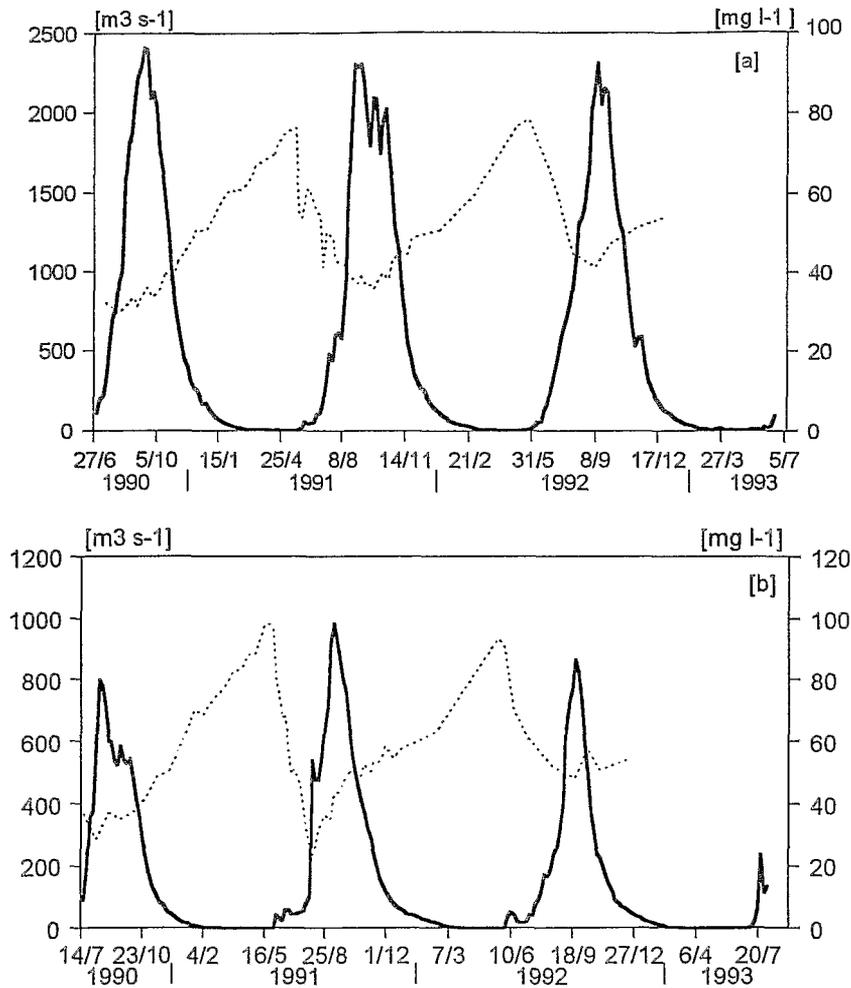


Figure n° 5

Concentrations des matières dissoutes et débits journaliers (en gras) pour le Niger à Banankoro (a) et le Bani à Douana (b)

Tableau 2 :

Flux spécifiques sur les bassins supérieurs du Niger et du Bani

Station et année	Écoulement annuel $l s^{-1} km^{-2}$	Suspensions $t an^{-1} km^{-2}$	Matières Dissoutes $t an^{-1} km^{-2}$
Niger à Banankoro			
1990	7.4	-	-
1991	7.6	8.1	10.4
1992	7.4	6.6	11.7
Niger à Koulikoro			
1990	6.1	-	-
1991	6.4	7.4	8.0
1992	6.4	6.3	7.8
Bani à Douana			
1990	1.5	2.8	-
1991	1.9	3.2	2.7
1992	1.4	2.5	2.5

2.3 Mesures isotopiques des eaux du Niger à Banankoro et du Bani à Douna

Deux séries de prélèvements ont été effectués par l'ORSTOM sur le fleuve Niger à Banankoro du 7/7/1990 au 17/4/1991 et sur le fleuve Bani à Douna du 9/7/1990 au 18/4/1991. Les analyses des isotopes stables ^{18}O et ^2H faites par l'AIEA permettent de donner un premier aperçu sur les eaux du bassin supérieur du Niger et du Bani et devraient être comparées aux résultats acquis sur les nappes souterraines de la région.

Sur le Niger à Banankoro, l'évolution au cours de l'année est marquée au début de la saison des pluies (juillet) par une diminution rapide des teneurs en isotopes lourds, par lessivage direct. Un enrichissement débute en août alors que l'hivernage n'est pas terminé et que le débit du fleuve continue à augmenter. La nappe du socle qui existe dans cette région présente un horizon superficiel d'altérite épaisse perméable qui favorise un écoulement latéral de type ruissellement différé qui est évacué par le réseau de surface. Cet horizon est enrichi en isotopes sous l'effet de l'évaporation durant la saison sèche. Les premières pluies, par infiltration et effet piston, en permettent l'écoulement vers le Niger. En amont de Banankoro, à partir de Siguiri (Guinée), il existe quelques plaines d'inondation dont les grandes surfaces permettent un enrichissement par fractionnement isotopique dû à l'évaporation. Ces plaines se vidangent dans le fleuve et peuvent également jouer un rôle dans l'enrichissement observé. D'autres études ont montré qu'un enrichissement dû à cet horizon perméable avait lieu, mais tout au début de la saison des pluies (juin). Le retard observé à Banankoro pourrait être dû à la présence d'un front d'infiltration suivi d'un lessivage par les eaux d'infiltration.

Dès la décrue, l'évaporation domine et permet un enrichissement progressif en isotopes lourds des eaux du fleuve.

La relation $\delta^{18}\text{O} / \delta^2\text{H}$ montre que deux droites de régression peuvent être établies, l'une pour la période de crue et l'autre pour la période de décrue (Fig. 6). Les pentes de ces deux droites respectivement +6.63 et +4.58 indiquent une évaporation. Les points d'intersection de ces droites avec la droite des eaux météoriques mondiales donnent la composition de l'eau d'origine. Ces valeurs sont : $\delta^{18}\text{O} = 4.5\text{‰}$, $\delta^2\text{H} = -25.9\text{‰}$ pour la décrue. Ces eaux se placent sur la droite de la chronique des eaux de pluies à Bamako ($\delta^2\text{H} = 5.8 * \delta^{18}\text{O} - 0.9$).

Sur le Bani, l'évolution au cours de l'année est très classique ; elle montre une diminution des teneurs durant la crue, due à l'apport des eaux de pluies. Dès le début de la décrue, l'évaporation agit sur la surface d'eau libre et un enrichissement en isotopes lourds par fractionnement isotopique a lieu.

La relation $\delta^{18}\text{O} / \delta^2\text{H}$ montre, là aussi, que deux droites ont pu être définies pour la crue et la décrue. Les pentes trouvées sont de +5.81 et +4.24 et correspondent à des eaux évaporées. Les points d'intersection avec la droite des eaux mondiales : $\delta^{18}\text{O} = -5\text{‰}$; $\delta^2\text{H} = -30\text{‰}$ pour la crue et $\delta^{18}\text{O} = -4.3\text{‰}$; $\delta^2\text{H} = -24.2\text{‰}$ pour la décrue. Ces eaux sont les mêmes qu'à Banankoro. Les effets de continentalité et de latitude jouent un rôle négligeable. Les sources de ces deux fleuves se trouvent dans une région comprise entre les latitudes 8° et 13° nord et les longitudes 12° et 6° ouest.

3 BILAN ET VARIATION DES FLUX DE MATIERE DANS LA CUVETTE LACUSTRE

Au stade actuel des investigations, l'interprétation des résultats disponibles reste provisoire ; certains constats demanderont à être vérifiés par les mesures en cours de réalisation. La traversée de la cuvette lacustre et du Delta intérieur du Niger avec ses écoulements très lents, ses plaines d'inondation conduit à de notables modifications de la charge en suspension et dissoute du fleuve. On peut distinguer deux parties dans le Delta intérieur :

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

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

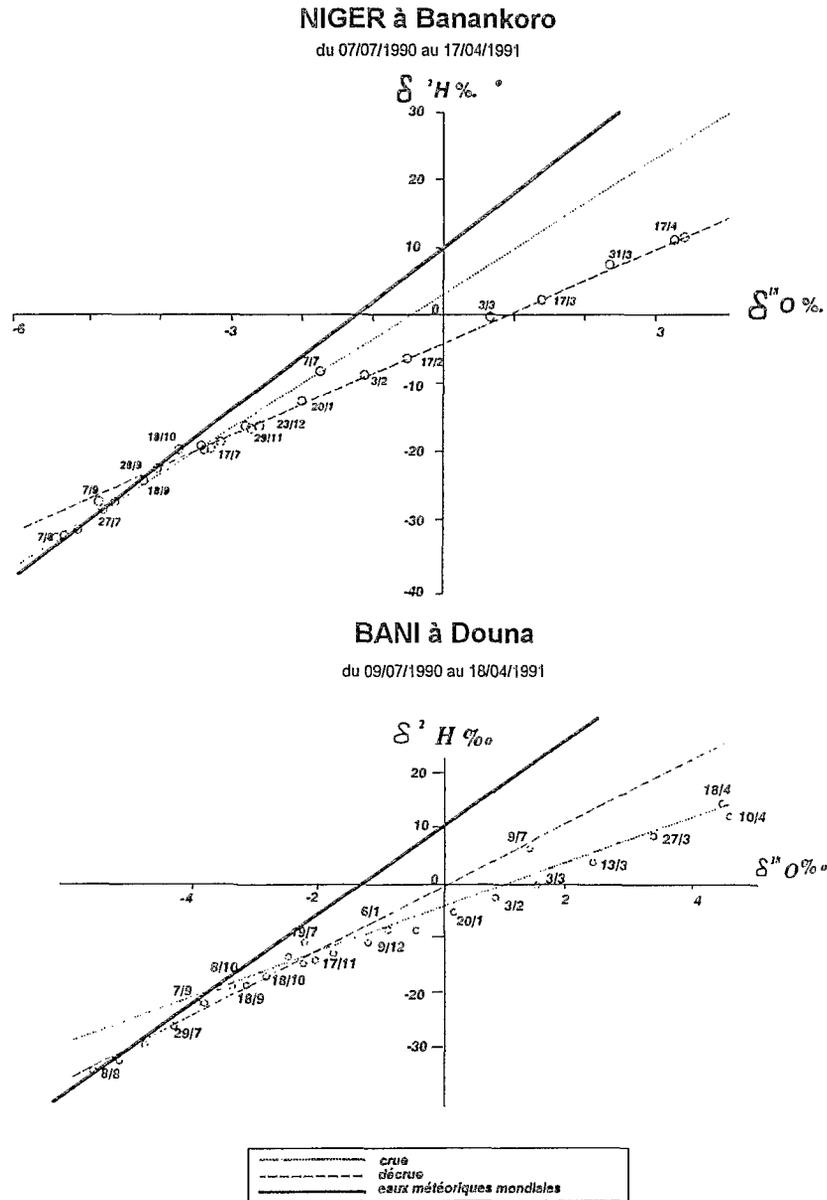


Figure n° 6
Variations de la composition isotopique moyenne des eaux pour le Niger à Banankoro (a) et le Bani à Douna (b)

3.1 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 1,2 millions de tonnes en 1991 et 1992.

Le flux de matières dissoutes parvenant au Delta est de 1,2 millions de tonnes pour ces deux mêmes années.

Le bilan général de l'évolution de ces flux calculés sur l'année hydrologique 1992-1993 montre que la charge globale mesurée à Diré tombe à 790 000 t pour les suspensions et à 890 000 t pour

les matières dissoutes. L'ensemble du Delta intérieur a retenu 244 000 t de suspensions et 300 000 t de sels.

Le tableau 3 donne le détail des pertes annuelles observées en 1992-1993. Les mesures intermédiaires effectuées aux sorties du Lac Débo montrent un comportement très différent des parties amont et aval du Delta intérieur.

Ainsi le bilan annuel met en évidence un piégeage des suspensions de 331 000 t avant le lac Débo et au contraire un gain de 87 000 t entre le lac Débo et Diré (Fig. 7).

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 des matières en suspension (MES) suggère deux fonctionnements :

- **partie amont du Delta** : la baisse de concentration des MES ($-8,4 \text{ mg l}^{-1}$) 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.

- **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.

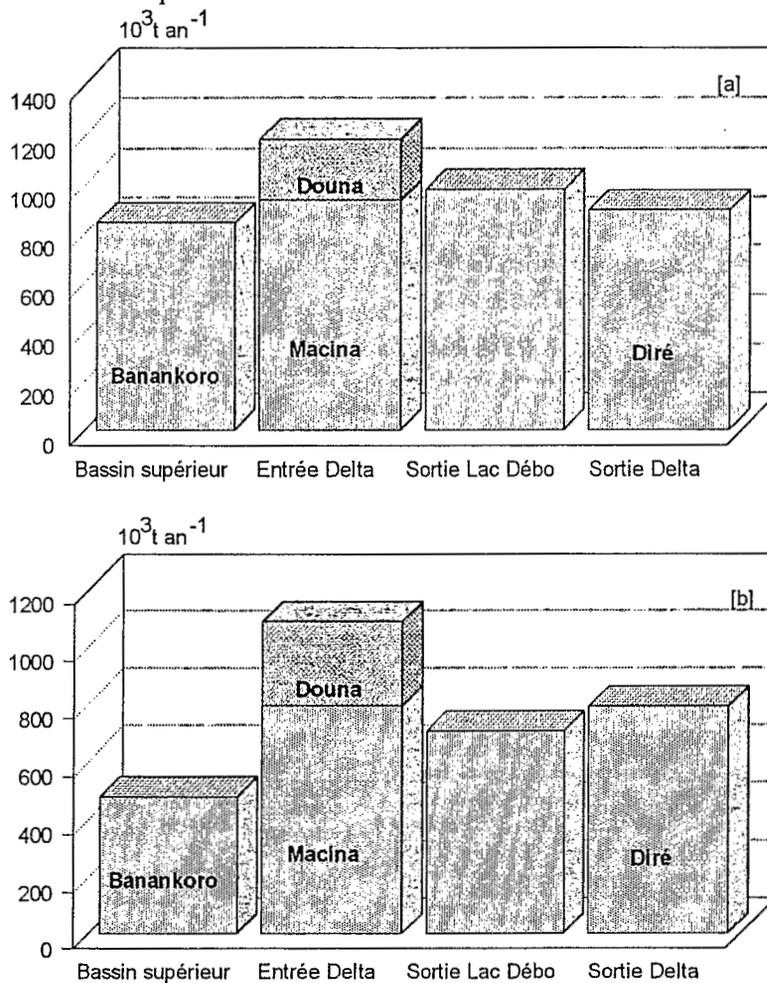


Figure n° 7

Bilan annuel (1992 - 1993) des transports dissous (a) et particulaires (b) du fleuve Niger.

Les concentrations moyennes de la matière dissoute n'ont pratiquement pas varié dans la traversée du Delta intérieur.

Un dépôt de 300 000 t de sels dans la cuvette lacustre, dont plus des 2/3 dans la partie amont, ne représente qu'une lame équivalente de 1/100° de mm sur la superficie des zones inondées dans la période déficitaire actuelle, mais les conséquences à long terme de tels dépôts devraient être perceptibles ; c'est bien ce que montrent les cartes de conductivité moyenne des nappes superficielles établies par la Direction Nationale de l'Hydraulique où un enrichissement en sel apparaît nettement par rapport aux nappes extérieures à la zone ; en outre, dans les lacs de rive droite du Niger des dépôts et encroûtements salins sont signalés. Il n'est pas exclu qu'un fonctionnement du type lac Tchad (dunes du Kanem) limite de manière conséquente l'incidence de ces pertes en sels dans le Delta proprement dit (Roche, 1973). La carte de la figure 8 illustre les bilans annuels des flux aux stations d'observation du Delta intérieur. Le suivi des variations mensuelles des flux de matières amène quelques informations complémentaires sur le fonctionnement hydrodynamique du Niger dans sa traversée du Delta.

Tableau 3 :

Bilan des flux hydriques et de matières dans le Delta intérieur du Niger.
Année 1992 - 1993.

	Ecoulement 10^9 m^3	Suspensions		Matière dissoutes	
		tonnage	concentration	tonnage	concentration
		10^3 t	g m^{-3}	10^3 t	g m^{-3}
Entrées					
Ké-Macina + Douna	24.22	1034	(42.7)	1189	(49.1)
Pertes amont	3.72	331		213	
Sorties du lac Débo	20.5	703	(34.3)	976	(47.6)
Pertes aval	2.46	- 87 (gain)		87	
Sorties à Diré	18.04	790	(43.8)	889	(49.2)
Pertes totales	6.18	244		300	

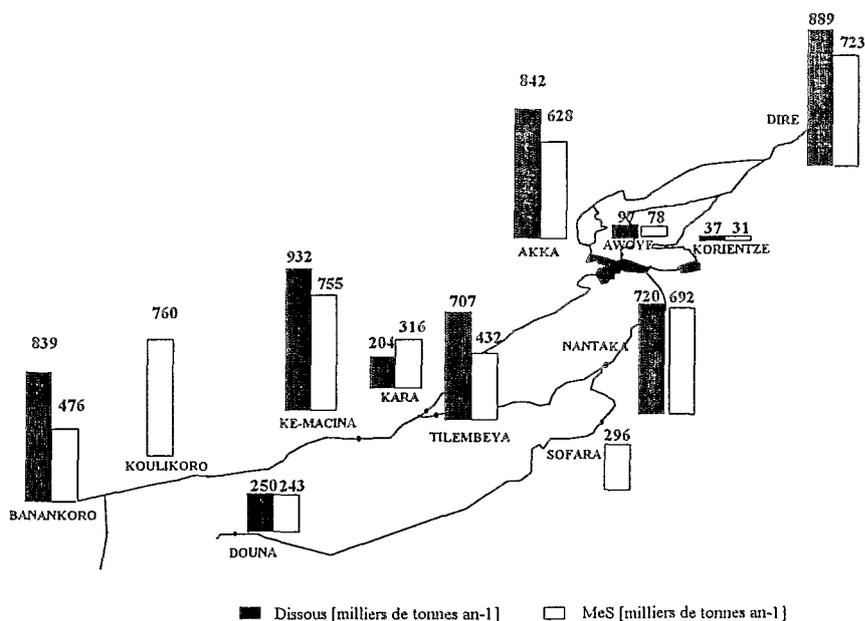


Figure n° 8

Variation spatiale des transports dissous et particuliers du fleuve Niger en 1992 - 1993.

3.2 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 l'année hydrologique 1992-1993.

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 maximales en septembre avec un piégeage de 230 000 t. 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 qui atteint seulement 40 000 t. A partir de novembre, et en décembre et janvier, les exportations de matières observées à Diré excèdent d'environ 40 000 t mois⁻¹ 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 blooms planctoniques (par exemple la transformation de silice dissoute en silice du test des diatomées). La position septentrionale du Delta aval plus proche des confins sahariens explique ce fonctionnement bien différencié de celui du Delta amont. Les figures 9 illustrent ces variations de flux des suspensions pour les deux parties du Delta et pour l'ensemble de la cuvette lacustre.

Les variations mensuelles des flux de matières dissoutes montrent un schéma beaucoup moins différencié entre les deux parties du Delta intérieur. Sur la partie amont, les pertes sont maximales en septembre, mois de mise en eau des plaines d'inondation de la cuvette lacustre, avec 240 000 t ; les pertes du mois d'octobre atteignent 55 000 t. En novembre, décembre et janvier, une vidange vers le fleuve d'une partie des volumes de l'inondation ramène une charge dissoute excédentaire par rapport aux entrées, qui ne dépasse pas au total 40 000 t.

Dans la partie aval, les pertes sont plus étalées dans le temps (d'août à décembre) avec un maximum en septembre limité à 40 000 t.

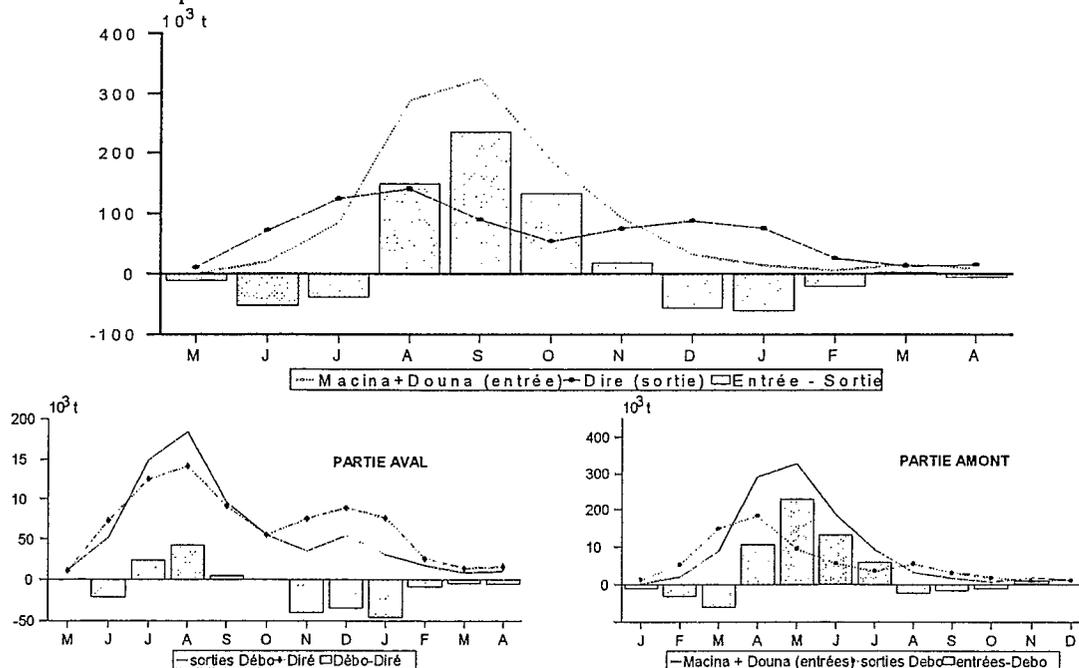


Figure n° 9

Variations mensuelles des transports particuliers du fleuve Niger en 1992 - 1993.

4 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 intérieur. Des mesures complémentaires sur plusieurs années permettront de vérifier la répétition des phénomènes observés ; les travaux en cours sur la composition minéralogique et la sédimentologie des suspensions, sur la composition de la charge dissoute, sur la matière organique, sur le bilan des intrants d'origine météoriques devraient permettre de préciser le régime des flux de matière du Niger dans sa traversée du Sahel et des régions sub - sahariennes.

BIBLIOGRAPHIE

- BRUNET - MORET Y., CHAPERON P., LAMAGAT J.P. et MOLINIER M. (1986) Monographie hydrologique du fleuve Niger, Tome I : Niger supérieur 396 p., Tome II Cuvette Lacustre et Niger moyen 506 p., Coll. Monog. Hydrol. n° 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, n° 123, 251 p.
- GAC J.Y. et ORANGE D. (1990) Cadre naturel du haut bassin-versant du fleuve Sénégal. Rapp. ORSTOM Dakar. Projet CEE/EQUESEN n°TS-2-0-198-FEDB, 150 p.
- NOUVELOT J.F. (1972) Méthodologie pour la mesure en réseau des transports solides en suspension dans les cours d'eau intertropicaux peu chargés. Cah. ORSTOM sér. Hydrol., vol. IX, n°1, pp. 3-18.
- ORANGE D. (1990) Hydroclimatologie du Fouta Djallon et dynamique actuelle d'un vieux paysage latéritique. Thèse, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 220 p.
- ROCHE M.A. (1973) Traçage naturel salin et isotopique des eaux du système hydrologique du lac Tchad. Thèse de Doctorat, Univ. Paris VI, 398 p.