

## Transport en solution et en suspension par le fleuve Congo (Zaire) et ses principaux affluents de la rive droite

NOËL MOUKOLO & ALAIN LARAQUE

DGRST/ORSTOM, BP 181, Brazzaville, Congo

JEAN CLAUDE OLIVRY & JEAN PIERRE

BRICQUET

ORSTOM, BP 2528 Bamako, Mali



**Résumé** Ce travail est une synthèse des connaissances actuelles du bilan des transports en solution et en suspension sur un grand bassin forestier équatorial. Une large place est faite aux mesures effectuées dans le cadre de l'opération grands bassins fluviaux du programme PIRAT. Les résultats obtenus sur le fleuve Congo à Brazzaville (95 % de la superficie totale du bassin soit  $3.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ ) chiffrent les exportations moyennes de la façon suivante: matières dissoutes:  $61.1 \times 10^6 \text{ t an}^{-1}$ ; et matières en suspension:  $30.6 \times 10^6 \text{ t an}^{-1}$ . La caractérisation hydrochimique de la matière dissoute révèle une faible minéralisation des eaux du fleuve.

### Transport in solution and in suspension by the main Congo River and its principal right bank tributaries

**Abstract** This paper presents a summary of actual knowledge of the solute and suspended transport in the Congo river. Measurements on large basins under the PIRAT programme are significant. The results on the Congo river at Brazzaville (95 % of the total area of the basin being  $3.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ ) give the following mean sediment yield: dissolved materials:  $61.1 \times 10^6 \text{ t year}^{-1}$ ; and materials in suspension:  $30.6 \times 10^6 \text{ t year}^{-1}$ . Hydrochemical analyses have shown little mineralization of the river water.

## INTRODUCTION

Le problème de la composition chimique des différents cours d'eau et des facteurs de sa variation intéresse depuis toujours les hydrologues et les géochimistes travaillant au Congo, notamment pour chiffrer l'importance de l'érosion chimique et des pertes de matière qui sont évacuées chaque année sous forme soluble du continent vers l'océan Atlantique. On cherche notamment à mettre en évidence les parts respectives de l'érosion chimique et de l'érosion mécanique (matière en suspension).

Ces érosions sont l'oeuvre d'un réseau hydrographique dense que constitue le fleuve Congo et ses affluents. Ce réseau draine des formations géologiques de nature et d'origine diverses. On peut grouper ces formations en trois ensembles:

- (a) les formations superficielles d'âge quaternaire représentées par les alluvions sableuses et argileuses de la cuvette congolaise;
- (b) les formations de couverture d'âge méso et cénozoïque. Ce sont d'importantes séries sédimentaires essentiellement gréseuses et sableuses; et
- (c) les formations plissées précambriennes. On distingue le sédimentaire ancien (précambrien supérieur) représenté par les séries schisto-calcaires et schisto-gréseuses et les terrains du socle cristallin ou métamorphique (précambrien inférieur).

L'on doit aussi mentionner la présence de roches éruptives surtout sur les marges orientales du bassin (zone du rift africain).

De nombreux résultats ont été publiés en particulier pour le fleuve Congo à Brazzaville. Le bilan établi pour cette station, contrôlant 95% de la surface totale du bassin, soit  $3.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ , révèle que l'érosion chimique est largement prépondérante (régime biostatique en zones humides à végétation dense).

### LE CONGO A BRAZZAVILLE (Fig. 1)

L'évaluation des exportations de matière par le fleuve Congo a été l'objet de

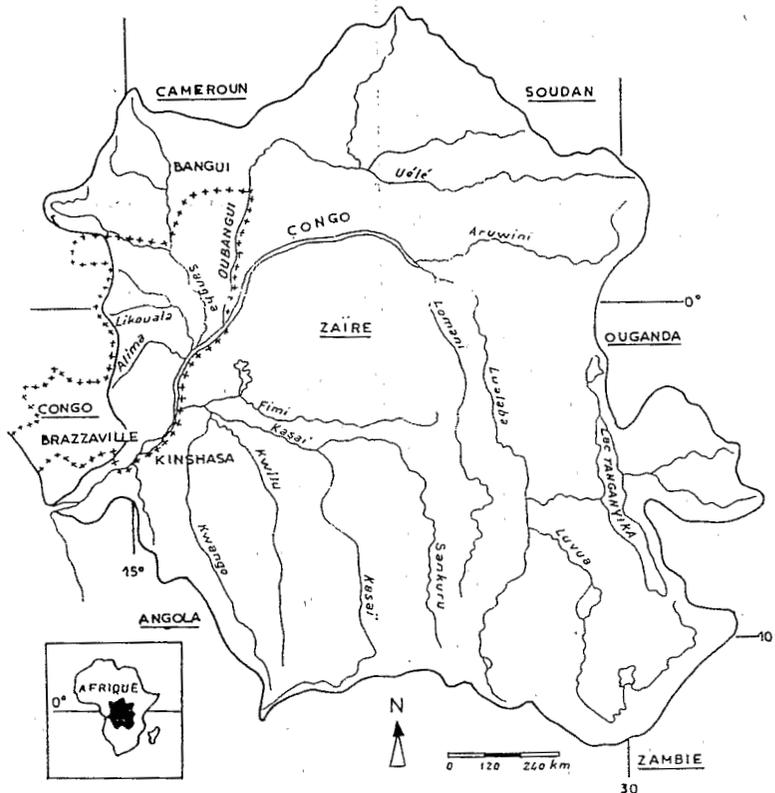


Fig. 1 Bassin versant du fleuve Congo.

nombreux travaux. Spronck (1941) fut le premier à donner une valeur des matières en solution ( $82 \text{ mg l}^{-1}$ ) soit une exportation de  $106 \times 10^6 \text{ t}$ . Symoens (1968) chiffre l'exportation annuelle des substances minérales dissoutes à  $46.5 \times 10^6 \text{ t}$  en 1968 puis  $35.5 \times 10^6 \text{ t}$  en 1980. Grondin & Gac (1980) indiquent une concentration de  $31 \text{ mg l}^{-1}$  soit  $40 \times 10^6 \text{ t}$ .

Toutes ces évaluations faites sur le fleuve Congo à la hauteur du Stanley Pool, ont été effectuées de façon globale et sporadique. Ainsi, l'on ne disposait d'aucune série qui permettait d'établir des bilans saisonniers et annuels précis des flux de matières.

De 1971 à 1976, Giresse (1982) tente de réaliser pour la première fois une série de mesures périodiques sur le fleuve Congo à Brazzaville. Ses résultats seront repris et complétés par Kinga Mouzeo (1986) qui chiffre le tonnage annuel moyen des exportations en suspension à  $40.56 \times 10^6 \text{ t}$ .

Molinier (1979) de Janvier 1978 à Février 1979 réalise une série de prélèvements mensuels. Il essaye en même temps de diversifier les points de prélèvement sur la section de mesure. Les résultats de ses travaux sont très intéressants puisqu'ils vont révéler que les valeurs des apports en suspension varient de façon importante entre la surface et le fond, contrairement aux apports dissous qui sont à peu près identiques le long d'une verticale.

Au Zaïre, Deronde & Symoens (1980) donnent des résultats représentatifs de la composition chimique moyenne des eaux du fleuve Congo, obtenue sur 12 échantillons mensuels prélevés à Kinshasa de Décembre 1976 à Novembre 1977.

En 1986, Olivry (1986) et Bricquet (1987) mettent en oeuvre un programme de mesures systématiques des exportations de matières particulières et dissoutes sur le bassin du fleuve Congo. Sur ce thème, l'ORSTOM et la DGRST collaborent avec l'INSU et d'autres laboratoires associés dans le cadre du programme PIRAT-GBF. Ce programme concerne plusieurs stations de mesures au Congo; la principale étant celle de Brazzaville. Il permet de faire le point sur les variations saisonnières et interannuelles et le bilan annuel des transports de matières. L'originalité du programme tient d'une part dans le protocole de mesures et les équipements mis en oeuvre, permettant une approche plus rigoureuse des concentrations des matières en suspension par rapport aux prélèvements antérieurs, d'autres part dans un suivi de la variabilité saisonnière et interannuelle suffisamment long pour corréler le régime des transports solides aux régimes hydrologiques.

## **RESULTATS DES MESURES EFFECTUEES SUR LE CONGO À BRAZZAVILLE**

Dans cet article, une large place est faite aux résultats obtenus dans le cadre du programme PIRAT pour les raisons évoquées plus haut.

### Bilan des matières (Figs 2 et 3)

Le bilan établi dans le programme PIRAT, est basé sur un échantillonnage mensuel prélevé sur une seule verticale représentative de variations mises en évidence par Molinier (1979) entre la surface et le fond. Cette verticale est à 400 m de la rive droite du fleuve Congo, dans le couloir de Maluku en amont de Brazzaville.

Le Tableau 1 regroupe les valeurs proposées par différents auteurs. Le Tableau 2 récapitule les résultats obtenus pendant cinq années du programme PIRAT, en donnant en parallèle les débits et volumes liquides, les quantités de matières solides et dissoutes.

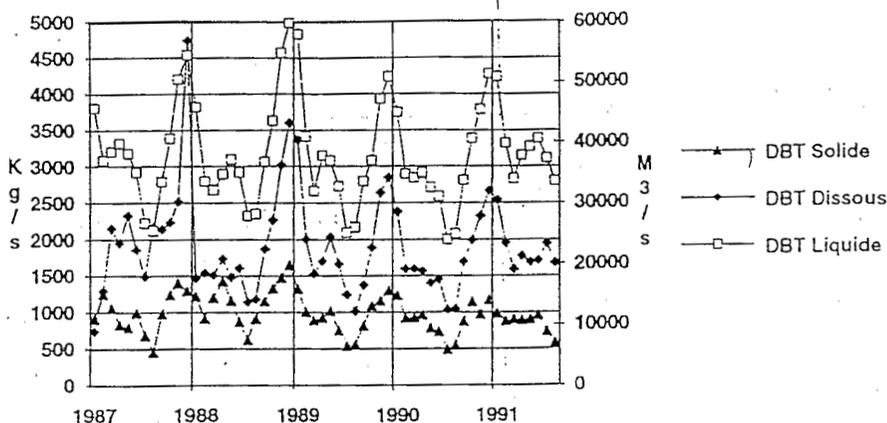


Fig. 2 Comparaison entre débits liquide ( $m^3 s^{-1}$ ), solide et dissous ( $kg s^{-1}$ ) du Congo à Brazzaville.

### Composition chimique des matières dissoutes

(a) **Caractéristiques physico-chimiques (Tableau 3)** Les valeurs des paramètres tels que le pH, la température et la conductivité, mesurés par différents auteurs (Molinier en 1979, Kinga Mouzeo en 1982, Bongo Mpassi en 1984 et PIRAT GBF de 1987 à 1991) concordent.

La température de l'eau, relevée au cours de l'année 1987 est restée pratiquement constante durant toute la période des observations, voisine de  $29^{\circ}C$ . Toutefois, on a observé un léger fléchissement de Juin à Septembre consécutif nous semble-t-il au rafraîchissement de l'air à cette période de l'année.

Les variations du pH sont plus prononcées (coefficient de variation égal à 11%). Les valeurs extrêmes enregistrées sont 5 le 14 Janvier 1987 et 7.60 le 19 Juillet 1990. Naturellement, on passe des pH neutres ou légèrement basiques pendant l'étiage, aux pH acides en périodes des hautes eaux. Le pH traduit fidèlement l'évolution des faciès hydrochimiques puisque ses variations sont assez bien corrélées avec celles des bicarbonates (coefficient de corrélation

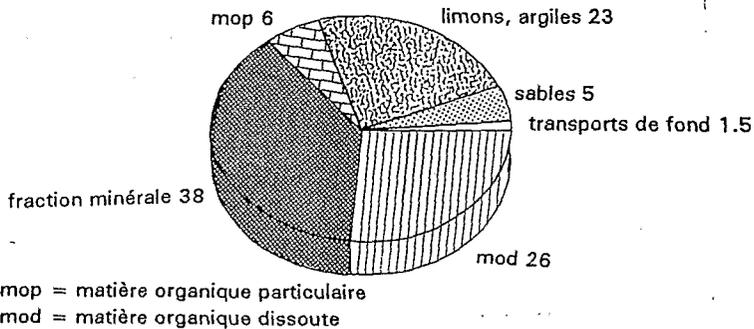


Fig. 3 Exportation de matières sur le Congo ( $\times 10^6$  t an<sup>-1</sup>) moyenne 1987-1991.

Tableau 1 Transport en suspension du fleuve Congo à Brazzaville (extrait de Kinga Mouzeo, 1986)

Tonnage annuel en 10 <sup>6</sup> t	Transport spécifique en t km <sup>-2</sup> an <sup>-1</sup>	Auteurs
47.0	13.16	Devroey, 1941
50.0	13.60	Spronck, 1941
70.0	19.6	NEDECO, 1959
31.2	9.00	Gibbs, 1967
71.3	19.90	Holleman, 1968
50.5	15.40	Leeden, 1975
43.0	12.04	Eisma <i>et al.</i> , 1978
50.0	14.00	Peters, 1978
	17.50	Corbel, 1964
	13.20	Meybeck, 1976
	14.50	Holland, 1978
	18.00	Jansen <i>et al.</i> , 1974
35 à 40	10 à 11.42	Molinier, 1979
40.56	11.35	Kinga Mouzeo, 1986
34	9.7	Moukolo*

\* complété par N. Moukolo, 1990.

égal à 0.61). Il semble que le pH soit un bon indicateur de l'origine des eaux.

La conductivité moyenne (33.9  $\mu$ S) indique que les eaux du Congo sont très pauvres en sels minéraux dissous. Les variations sont faibles (CV = 18%) et elles sont en fonction inverse du débit liquide.

(b) **Minéralisation** 486 dosages chimiques ont été effectués de Janvier 1987 à Décembre 1991. Tous les échantillons analysés sont faiblement minéralisés. Les résultats ont été comparés avec ceux obtenus par Deronde & Symoens (1980) et Molinier (1979) sur le même section du fleuve. On a relevé une concordance des valeurs, excepté la silice pour laquelle on a des teneurs nettement moins élevées. L'explication évidente est l'utilisation de techniques d'analyses qui sont différentes. En ce qui nous concerne, on dose exclusive-

**Tableau 2 Bilan annuel des exportations du fleuve Congo à Brazzaville**

Année	Liquide		Matière solide		Matière dissoute	
	Debit moyen	Volume annuel	Tonnage annuel	Erosion spécifique	Tonnage annuel	Erosion spécifique
	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup> t an <sup>-1</sup>	t km <sup>-2</sup> an <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> t an <sup>-1</sup>	t km <sup>-2</sup> an <sup>-1</sup>
1987	38.700	1.221	31.2	8.9	72.4	20.6
1988	39.100	1.232	36.7	10.5	59.0	16.8
1989	38.150	1.203	29.9	8.5	61.2	17.4
1990	36.000	1.135	28.1	8.02	54.5	15.6
1991	39.105	1.233	30.1	8.6	68.1	19.5

Remarque: Les quantités de matières dissoutes exportées sont déterminées à partir de résultats d'un résidu sec à 105° d'une eau ultracentrifugée intégrant donc la matière organique dissoute.

**Tableau 3 Composition chimique moyenne en mg l<sup>-1</sup> des eaux du Congo à Brazzaville selon les auteurs**

Auteurs*	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	9.70	9.66	10.74	9.60	9.80	9.80	23.27		5.34
Ca <sup>++</sup>	2.23	4.44	2.71	1.75	2.40	2.40	2.46		2.67
Mg <sup>++</sup>	0.86	1.72	1.81	1.04	1.25	1.30	4.28		2.07
Na <sup>+</sup>	1.99	2.00	3.15	0.96	1.70	1.70	1.84		2.17
K <sup>+</sup>	1.33	1.32	1.72	1.36	1.10	1.10	1.21		1.49
Cl <sup>-</sup>	2.71	2.69	5.32	1.30	2.85	2.85	2.15		3.32
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2.00	4.03	6.48	-	2.95	2.95	-		-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7.11	7.13	9.45	13.00	11.20	11.20	18.72		17.15
Fe <sup>++</sup>							0.71	0.250	0.15
Al <sup>+++</sup>								0.036	0.025
Mn <sup>++</sup>								0.008	

\* 1: Deronde & Symoens (1980); moyenne de 12 échantillons mensuels; 2: Meybeck (1984); valeurs empruntées à Deronde & Symoens (1980); 3: Symoens (1968); 4: Meybeck (1978); valeurs empruntées à Van Bennekorn *et al.* (1978), Van Rossum (inédit), Cadee (inédit); 5: Meybeck (1978); synthèse des valeurs de Van Bennekorn *et al.* (1978), Van Rossum (inédit), Symoens (1968), Hubert & Martin (inédit); 6: Meybeck (1979); 7: Molinier (1979); moyenne de 12 échantillons; 8: Fe<sup>++</sup> (Figueres inédit, Martin & Meybeck, 1978); Al<sup>+++</sup> (Van Bennekorn & Jager, 1978); Mn<sup>++</sup> (Figueres, inédit); et 9: PIRAT GBF; moyenne de 60 analyses mensuelles de Janvier 1987 à Décembre 1991.

ment la fraction dissoute (acide silicique). Il apparaît que nos valeurs sont plus proches de Deronde & Symoens (1980).

### Composition minéralogique et chimique des matières en suspension

La minéralogie des matières en suspension d'un fleuve reflète la nature des résidus d'altération des roches du bassin versant. Le fleuve Congo étant situé en zone intertropicale, ses suspensions seront donc essentiellement composées de kaolinite, quartz et produits amorphes. Le Tableau 4 donne quelques valeurs obtenues à la station de Brazzaville.

L'analyse chimique des suspensions effectuée par le laboratoire de chimie

de Bondy, par calcination de résidus de filtres des particules inférieures à 50 µm et calculée en mg l<sup>-1</sup>, montre une élévation des teneurs en éléments parallèle et corrélative des teneurs en suspensions durant l'année 1988 (Tableau 4). Les valeurs en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sont par rapport aux valeurs de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> relativement élevées. Elles indiquent la présence d'oxyde de fer dans les particules fixes. Ainsi, les oxydes de fer qui sont généralement peu importants en solution sont préférentiellement transportés en suspension (Dugas & Delaune, 1989).

Les teneurs en éléments traces dans les matières en suspension du fleuve Congo sont comparables avec les moyennes mondiales (Tableau 6).

**Tableau 4** Composition minéralogique des suspensions du Congo (en pourcentage).

	Micas	Albite	Kaolinite	Quartz	Illite	Gibbsite	Montmorillonite	Smectite
1	8	2-3	44	36		2-3	2	
2			82		9	1-2		7

(1) Nkougou & Probst, 1988; et (2) Kinga Mouzeo: moyenne de 6 analyses.

**Tableau 5** Composition chimique moyenne des suspensions du Congo (en pourcentage d'oxydes)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
1	63.98	20.97	0.90	1.27	9.25	0.23	1.15	0.05	0.46	1.68
2	53.72	19.92	0.51	0.76	15.05				0.85	9.16
3	50.70	30	1.20	0.80	13.60	0.15	0.82			1.10
4	57.50	24.81	0.19	1.31	11.38	0.20	1.57		1.07	0.31

(1) Kinga Mouzeo (1986): moyenne de 13 analyses; (2) Dugas & Delaune (1989): moyenne de 12 analyses mensuelles de Janvier à Décembre 1988; (3) Sholkolovitz (1978); et (4) Meybeck (1978).

**Tableau 6** Teneurs en éléments traces des suspensions du Congo en ppm de l'échantillon sec (extrait de Kinga Mouzeo, 1986)

	Sr	Ba	V	Ni	Co	Cr	Zn	Cu	Sc	Y	Zr
1	75.6	438.6	135.6	71.5	23.7	108.7	384.8	94.1	15.9	24.8	264.7
2	61	790	163	74	25	175	400		12		
3	74	434.6	134	69	23	91		93	15.8	24.6	264
4					29.6	211	600		18.4		

(1) Martin & Meybeck, 1979; (2) Martin & Méybeck, 1978; (3) Kinga Mouzeo, 1986: moyenne de 8 analyses; et (4) Martin *et al.*, 1978: valeurs obtenues à l'estuaire.

## VALEURS OBTENUES SUR LES PRINCIPAUX AFFLUENTS DE RIVE DROITE (FIG. 4)

En plus des mesures à Brazzaville, une évaluation du transport de matière est effectuée sur le fleuve Oubangui à la station de Bangui depuis 1987. Par ailleurs, on a démarré en 1988, une opération complémentaire concernant les affluents se trouvant sur le territoire congolais. Ces différentes évaluations ont

comme objectif de préciser le fonctionnement de quelques grands bassins amont (roches mères et écosystèmes homogènes) et de définir leur contribution saisonnière et annuelle aux bilans globaux. Ces évaluations s'appuient sur le suivi hydrologique déjà ancien de ces affluents, ce qui bien entendu permet de définir les régimes hydrologiques, facteurs déterminant du régime des exportations de matières.

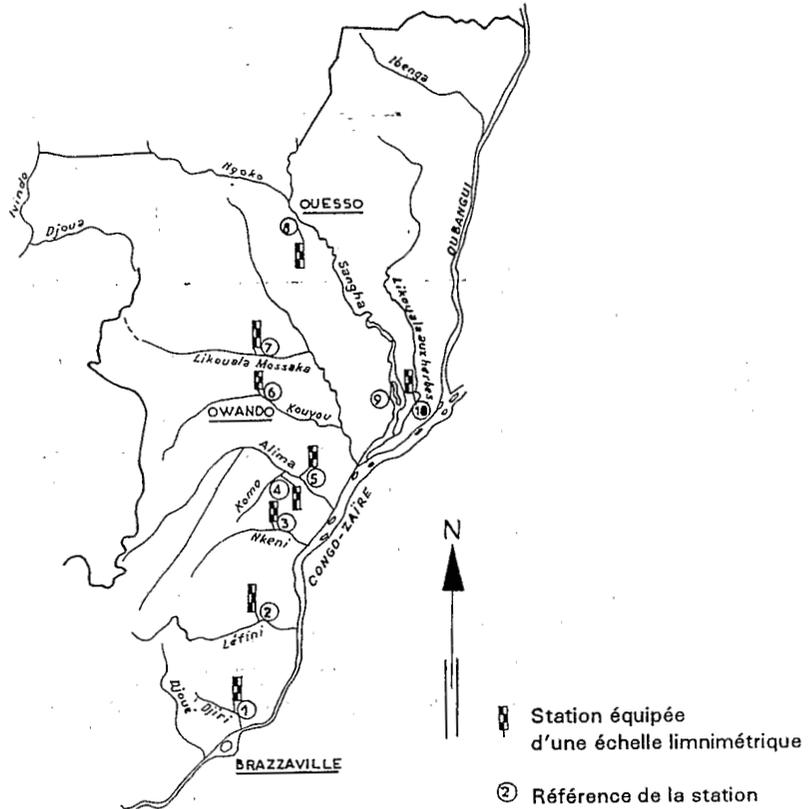


Fig. 4 Carte de situation des stations secondaires de mesure.

### Bilan des matières (Fig. 5)

A la station de Bangui, le bilan est fait sur la base d'un échantillonnage mensuel. En ce qui concerne les autres affluents, les premiers essais de bilan en 1989 avaient été établis sur la base d'un échantillonnage trimestriel. Le souci de favoriser une approche affinée du bilan a conduit en Juillet 1990 à resserrer la fréquence des prélèvements (pas de temps mensuel) pour les rivières facilement accessibles par la route: Djiri, Léfini, Nkény, Nkomo, Alima, Kouyou, Likouala-Mossaka et Mambili.

Le bilan chiffré du transport en solution et en suspension est donné au Tableau 7.

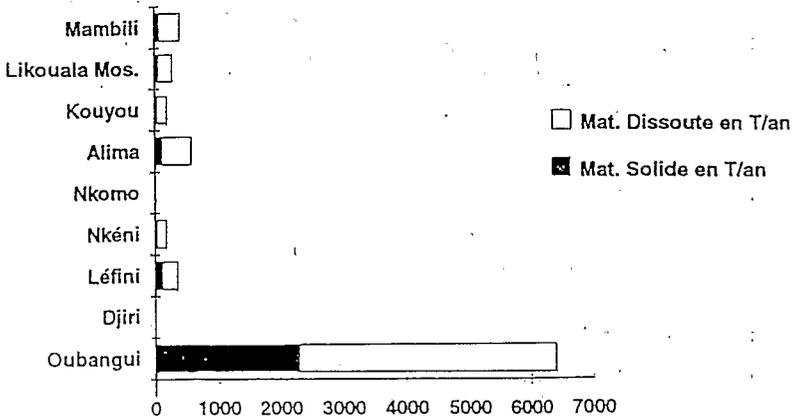


Fig. 5 Transports solide et dissous par les principaux affluents rive droite du Congo en t an<sup>-1</sup>.

Tableau 7 Transport solide et dissous par les principaux affluents de rive droite

Rivières	Liquide	Matières solides			Matières dissoutes	
	Débit moyen m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Volume annuel 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	× 10 <sup>3</sup> t an <sup>-1</sup>	t km <sup>-2</sup> an <sup>-1</sup>	× 10 <sup>3</sup> t an <sup>-1</sup>	t km <sup>-2</sup> an <sup>-1</sup>
Oubangui	2900.0	91.45	2300	4.8	4000	8.3
Djiri	18.6	0.58	3.5	4.1	12.7	14.8
Léfini	410.2	12.92	127.0	9.4	236.8	17.5
Nkéni	262.9	8.29	35.9	5.7	155.4	25.1
Nkomo	21.1	0.67	2.5	1.6	21.4	13.8
Alima	586.4	18.48	121.1	6.0	462.6	23.0
Kouyou	180.6	5.69	40.0	4.0	158.0	15.8
Likouala Mossaka	172.9	5.45	62.7	4.4	218.2	15.5
Mambili	175.0	5.51	78.8	6.5	325.1	27.1
Sangha à Tsotsolo	1698.0	53.60	1950	12.3	275	17.3

Composition chimique des matières dissoutes

730 dosages ont été réalisés par le laboratoire d'hydrologie de l'ORSTOM à Brazzaville. Le Tableau 8 donne les concentrations moyennes en ions majeurs. Tous les échantillons analysés sont faiblement minéralisés.

Les résultats obtenus ont été reportés sur le diagramme semi-logarithmique (Figs 6 et 7) qui compare la moyenne des différents affluents à

Tableau 8 Composition chimique moyenne des matières dissoutes en mg l<sup>-1</sup>

Rivière	pH	Conductivité	Silice	Fer	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup> Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Cl <sup>-</sup>		
Djiri	4.98	17.40	5.18	0.06	0.35	0.09	0.13	0.36	4.03	0.68
Léfini	5.33	8.70	5.16	0.05	0.44	0.10	0.10	0.18	4.19	0.66
Nkéni	5.03	8.68	5.07	<0.05	0.38	0.10	0.07	0.25	3.63	0.62
Nkomo	4.50	18.28	5.11	0.14	0.72	0.17	0.12	0.33	3.22	2.31
Alima	5.13	12.57	3.25	0.09	0.41	0.18	0.07	0.27	3.15	0.87
Kouyou	5.31	11	4.97	0.12	0.68	0.20	0.07	0.26	4.11	1.10
Likouala Mossaka	6.19	19.55	5.54	0.16	1.41	0.48	0.69	0.70	10.32	1.65
Mambili	6.58	45.42	5.69	0.16	3.45	2.42	0.39	0.37	19.58	2.36
Sangha à Tsotsolo	7.44	42.0	6.03	0.16	2.64	1.33	0.85	1.30	19.01	2.10
Sangha à Ouesso	7.54	68.23	6.59	<0.05	4.24	2.29	0.96	0.81	32.05	1.72

celle du fleuve Congo pendant la même période. L'analyse de cette représentation fait ressortir deux grandes catégories d'eaux:

(a) les eaux déminéralisées des rivières Batéké (Djiri, Léfini, Nkéni, Alima et Kouyou). D'un point de vue physique et physico-chimique, ces eaux se caractérisent par:

- un pH acide toujours voisin de 5;
- un résidu sec inférieur à  $30 \text{ mg l}^{-1}$ ; et
- une résistivité très élevée de l'ordre de  $0.1 \Omega \text{ m}$ .

(b) les eaux relativement chargées des rivières des plateaux du Nord-Ouest sur socle cristallin et cristallophyllien:

- pH voisin de 7;
- résidu sec supérieur à  $30 \text{ mg l}^{-1}$ ; et
- résistivité de l'ordre de  $50.0 \Omega \text{ m}$ .

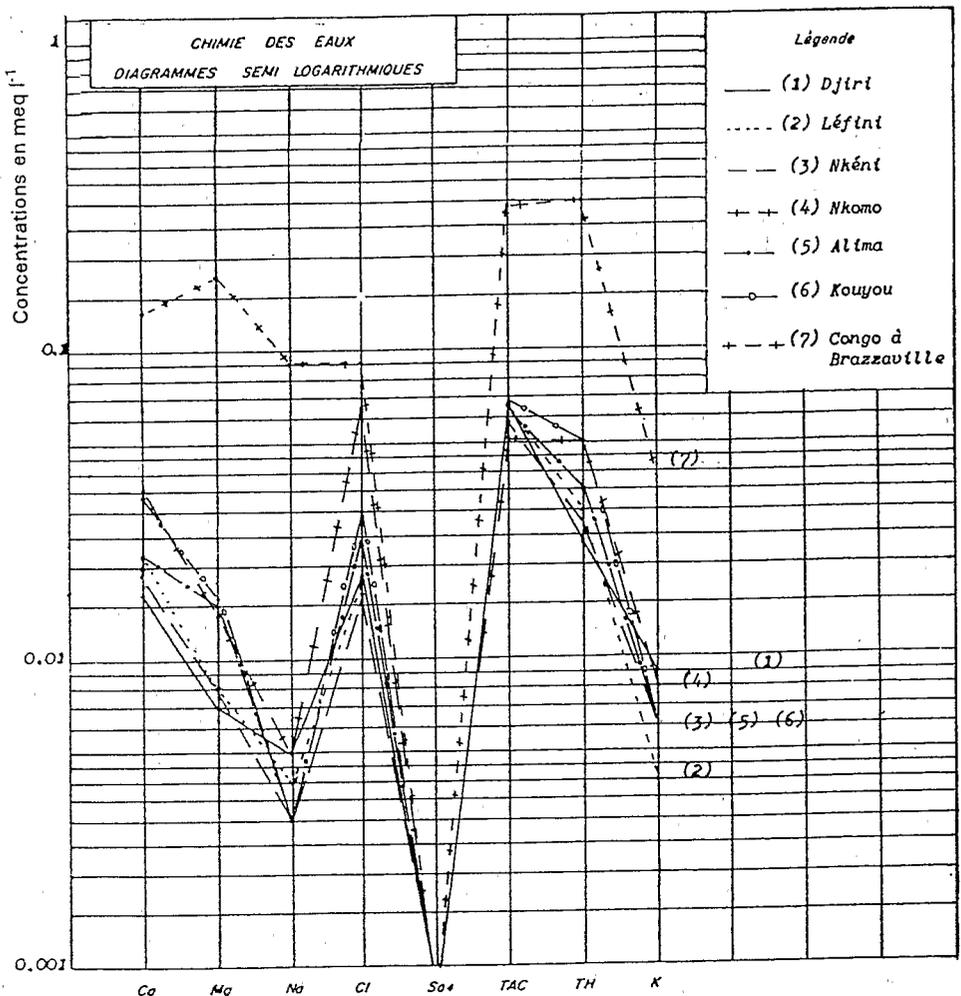


Fig. 6 Composition chimique moyenne des eaux des rivières batékés et du Congo à Brazzaville.

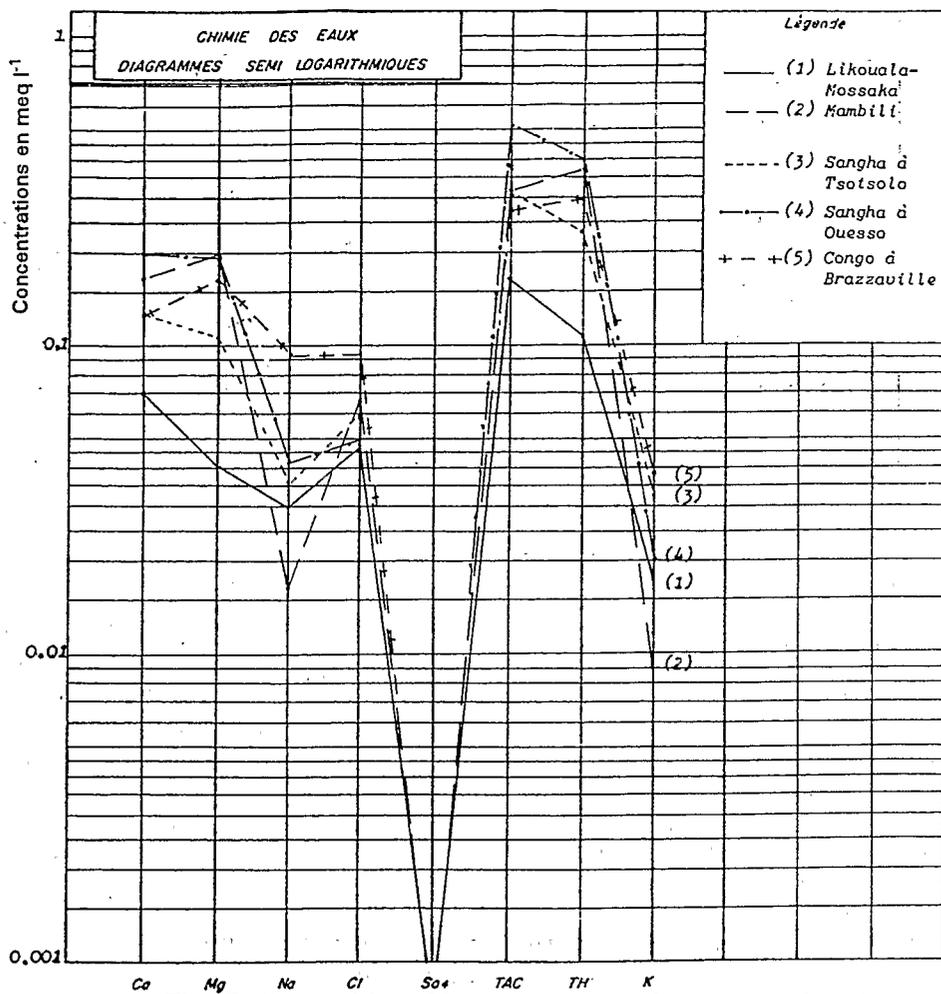


Fig. 7 Composition chimique moyenne des rivières des plateaux du nord-ouest et du Congo à Brazzaville.

La composition chimique moyenne des eaux du Congo à Brazzaville s'apparente à la deuxième catégorie. L'on pourrait penser que le chimisme de l'eau du fleuve Congo à Brazzaville soit un héritage exclusif des cours d'eau qui drainent le socle cristallophyllien.

La Figure 8 compare les transports solide et dissous des principaux affluents.

### CONCLUSIONS GENERALES

Cette synthèse montre que l'évaluation des matières transportées par le fleuve et les rivières tributaires du Congo constitue une grande préoccupation pour les chercheurs nationaux et internationaux oeuvrant dans le domaine de l'eau. Des

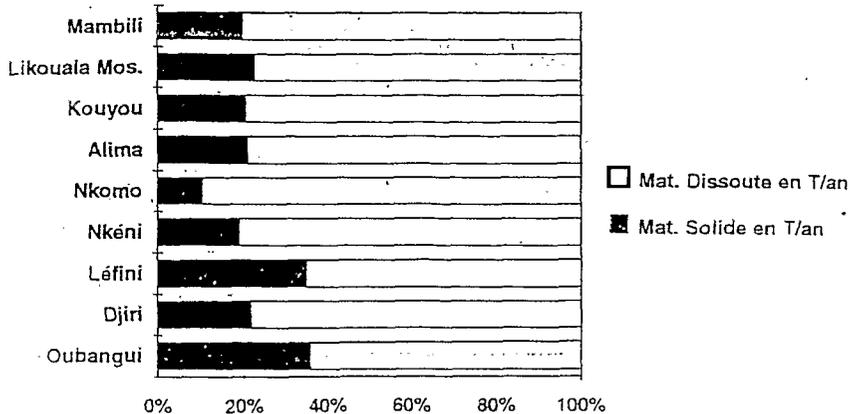


Fig. 8 Comparaison des transports solide et dissous des principaux affluents rive droite du Congo en %.

informations assez précises sont actuellement disponibles sur le fleuve Congo à Brazzaville.

Il résulte de toutes ces évaluations qu'à l'échelle du continent africain le fleuve Congo représente 38% des apports hydriques, 40% de la charge dissoute et 7% de la charge en suspension. En ce qui concerne les contributions annuelles des affluents congolais du fleuve aux transports globaux, elles représentent:

- apports hydriques environ 9% du volume annuel;
- matières en suspension 8% de la charge totale; et
- matières dissoutes 7% de la charge totale.

Cependant, il est nécessaire de préciser (a) que les stations de mesures se trouvant souvent très en amont des bassins (exemple de Ouesso qui est à 500 km du confluent avec le Congo), les résultats fournis ne représentent donc qu'une estimation minorée des contributions de ces affluents et (b) que seule une partie des affluents rive droite du fleuve à été prise en compte. L'influence de l'extrémité amont du bassin est probablement très faible mais celle du Kasazi ne doit pas être négligeable. Les résultats des analyses hydrochimiques ont montré une faible minéralisation des eaux du bassin.

## REFERENCES

- Bennekom, A. J. van & Van der Gast, S. J. (1976) Possible clay structures in the frustules of living diatoms. *Geochim. Cosmochim. Acta* 40, 1149-1152.
- Bongo Mpassi, G. (1984) Contribution à l'étude minéralogique, géochimique de l'éventail détritique profond du fleuve Congo de 1000 à 4000 m de fond. Thèse UPST, Toulouse, France.
- Bricquet, J. P. (1987) Mesure des matières en suspension: Le Congo à Brazzaville. Rapp. ORSTOM, Brazzaville, Congo.
- Corbel, J. (1964) L'érosion terrestre. Etude quantitative. *Ann. Géograph.* 73, 385-412.
- Deronde, L. & Symoens, J. J. (1980) L'exportation des éléments dominants du bassin du fleuve Zaïre: Une réévaluation. *Ann. Limnol.* 16(2), 183-188.
- Devroey, E. J. (1951) Observations hydrographiques au Congo Belge et au Ruanda-Urundi (1948-1950). *Mém. Inst. Roy. Belge, Sect. Sci. Techn. Coll.* 8, 6.
- Dugas, F. & Delaune, M. (1989) Problèmes rencontrés en sédimentométrie sur les échantillons du

- Congo. Note d'information no. 3, PIRAT, ORSTOM, Montpellier, France.
- Eisma, D. & Van Bennekom, A. J. (1978) The Zaire River and estuary and the Zaire outflow in the Atlantic Ocean. *Neth. J. Sea Res.* 12(3/4), 255-272.
- Gibbs, R. J. (1967) The geochemistry of the Amazon River systems. Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. *Bull. Geol. Soc.* 73, 1203-1282.
- Giresse, P. (1982) La succession des sédimentations dans les bassins marins et continentaux du Congo depuis le début du Mésozoïque. *Sci Géol. Bull. Strasbourg* 35(4), 183-206.
- Grondin, J. L. & Gac, J. Y. (1980) Apports des matières aux océans: bilan des six principaux fleuves d'Afrique (à paraître).
- Holland, H. D. (1978) *The Chemistry of the Atmosphere and Oceans*. Wiley-Interscience, New York, USA.
- Holleman, J. N. (1968) The sediment yield of major rivers of the world. *Wat. Resour. Res.* 4(4), 737-747.
- Jansen, J. H. F., Van Weering, T. C. E., Gieles, R. & Van Iperen, J. (1984) Middle and late Quaternary paleoceanography and climatology of the Zaire fan and adjacent eastern Angolan basin. *Neth. J. Sea Res.* 17(2-4), 201-249.
- Kinga Mouzeo (1982) Les suspensions organiques et minérales du fleuve Congo, première approche d'un bilan. Rapport DEA, Univ. de Perpignan.
- Kinga Mouzeo (1986) Transport particulaire actuel du fleuve Congo et quelques affluents: enregistrement Quaternaire dans l'éventail detritique profond (sédimentologie, mineralogie et géochimie). Thèse Doc. Univ. Perpignan.
- Leeden, F. van der (1975) Water resources of the world: selected statistics. Water Information Center, New York, USA.
- Martin, J. M., Thomas, A. J. & Van Grieken, R. (1978) Trace element composition of Zaire suspended sediments. *Neth. J. Sea Res.* 12(3/4), 414-420.
- Martin, J. M. & Meybeck, M. (1978) The content of major elements in the dissolved and particulate load of rivers. In: *Biochemistry of Estuarine Sediments*. Proc. UNESCO/SCOR Workshop, Melreux, Dec. 1976. UNESCO Press, Paris, France, 95-110.
- Martin, J. M. & Meybeck, M. (1979) Transport dissous et particulaire de quelques éléments chimiques par les rivières en milieu tempéré. Mémoire Science Géologique no. 53, ATP-CNRS, 45-48.
- Meybeck, M. (1978) Note on elemental contents of the Zaire river. *Neth. J. Sea Res.* 12(3/4), 293-295.
- Meybeck, M. (1979) Concentration des eaux fluviales en éléments majeurs et apports en solution aux océanes. *Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys.* 21(5), 215-246.
- Molinier, M. (1979) Note sur les débits et la qualité des eaux du Congo à Brazzaville. *Cah. ORSTOM, sér Hydrol.* XVI(1), 55-66.
- Moukolo, N., Bricquet, J. P. & Biyedi, J. (1990) Bilans et variations des exportations de matières sur le Congo à Brazzaville. *Hydrol. Continent.* 5(1), 41-52, ORSTOM, Paris, France; Rapport DRGST/ORSTOM Brazzaville, Congo.
- NEDECO (1959) *River Studies, Niger and Benué*. North Holland Publ. Co., Amsterdam, The Netherlands.
- Nkounkou, R. R. & Probst, J. L. (1986) Hydrology and geochemistry of the Congo river system. In: *Transport of Carbon and Minerals in Major Rivers*, Part 4. Mitt. Geol. Paläont. Inst., Univ. Hambourg, SCOPE/UNEP Sonderband Heft 00, 1-29.
- Olivry, J. C. (1986) Opération "Transports de matières sur le bassin du fleuve Congo." Rapp. ORSTOM Brazzaville, Congo. (Transports solides en suspension au Cameroun. In: *Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters*. Proc. Paris Symp. July 1977, IAHS Publ. no. 122, 134-141.)
- Peters, J. J. (1978) Discharge and sand transport in the braided zone of the Zaire estuary. *Neth J. Sea Res.* 12(3/4), 273-292.
- Spronck, R. (1941) Mesures hydrographiques effectuées dans la région divergente du bief maritime du fleuve Congo. *Mém. Instr. Roy. Coll. Belge, Sect. Sci. Techn. Coll.* 3(1), 3-56.
- Symoens, J. J. (1968) La minéralisation des eaux naturelles. Résultats scientifiques. Explo. hydrobiol. bassin du lac Bangwelo et du Luapula. Bruxelles (1).