

# Écoulement et transports de matière dans le bassin versant du Djoué, affluent du fleuve Congo-Zaïre

Alain LARAQUE (1), Albert PANDI (2), Marc BERTHELOT (3), Michel MIETTON (4)

## RÉSUMÉ

Long de 175 kilomètres, le Djoué est un affluent de rive droite du fleuve Congo-Zaïre. À sa principale station hydrométrique qui couvre 5 740 km<sup>2</sup> (92 % de son bassin versant), cette rivière présente un module interannuel de 140 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, ce qui correspond à un débit spécifique de 24 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>.

La pluviométrie moyenne sur son bassin versant s'élève à 1 547 mm.

De faibles variations saisonnière (1,4) et interannuelle (1,62) témoignent de la régularité du régime hydrologique du Djoué, caractéristique des rivières voisines des plateaux Batékés. Il s'en distingue néanmoins par ses transports dissous plus élevés et variés, reflet de l'hétérogénéité du substratum de son bassin versant.

Ses eaux bicarbonatées calco-magnésiennes relativement riches en silice, restent cependant faiblement minéralisées.

En moyenne interannuelle sur ces deux années d'étude (1991 et 1992), le Djoué a exporté près de 5 milliards de m<sup>3</sup> d'eau, 160.10<sup>3</sup> tonnes de matières dont 50.10<sup>3</sup> tonnes de suspensions et 110.10<sup>3</sup> tonnes de matières dissoutes, correspondant à une exportation spécifique de matière de 28 t.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup>.

MOTS CLÉS : Bassin du Congo — Régime hydrologique — Hydrochimie — Transports solide et dissous.

## ABSTRACT

STREAM FLOW AND SUSPENDED AND DISSOLVED LOAD OF THE DJOUÉ RIVER (CONGO-ZAIRE TRIBUTARY)

The Djoué is a tributary of the Congo-Zaïre on the right bank. It is long for 175 km. At its main hydrological station which represents 92 % of the total basin, the area is 5 740 km<sup>2</sup>; the mean interannual discharge is 140 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> and the specific discharge is 24 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>.

The average rainfall is 1 547 mm.

The weakness of its seasonal and interannual variations shows the regularity of the hydrological cycle of the Djoué River, which is also typical of the neighbouring rivers of the Téké geological formation. Nevertheless dissolved load of its waters is higher and more varied which is due to the heterogeneous of its basin.

During the two years studied (1991-1992), the Djoué carried an interannual mean of 5.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> of water and 160.10<sup>3</sup> t of matter distributed in 50.10<sup>3</sup> t of suspended matter and 110.10<sup>3</sup> t of dissolved matter. This amounts to a global erosion rate of 28 t.km<sup>-2</sup>.year<sup>-1</sup>. Hydrochemical analyses have shown little mineralisation of river waters. They are siliceous bicarbonated with relative importance of Ca and Mg contents.

KEYWORDS : Congo River — Hydrological regimes — Hydrochemistry — Solid and dissolved transport.

(1) Orstom, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1.

(2) Orstom, BP 181, Brazzaville, Congo.

(3) Orstom, BP 893, Bangui, RCA.

(4) CEREG — Université Louis-Pasteur, 3, rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg.

## INTRODUCTION

Ce travail s'inscrit dans le cadre du programme PEGI (5)-GBF (6) de l'INSU (7)-CNRS (8)-Orstom mené sur le bassin du fleuve Congo-Zaïre depuis 1987.

Ce programme étudie simultanément les variations, tant saisonnières qu'interannuelles, des régimes hydrologiques et des transports de matière de ce fleuve et de ses affluents de rive droite.

L'étude du Djoué vise à mieux comprendre le fonctionnement de son bassin versant, mis en relation avec ses caractéristiques physiographiques, afin de pouvoir mieux situer ce cours d'eau au sein des grands groupes d'affluents congolais du fleuve Congo-Zaïre.

Dans cette optique, le Djoué a été particulièrement suivi durant deux ans (1991-92), ainsi qu'un de ses petits tributaires de rive droite, la Bitala, qui s'écoule sur un substratum différent de l'ensemble de celui du bassin du Djoué.

Ce bassin a été décrit dans quelques travaux antérieurs dont les thèses de SCHWARTZ (soutenue en 1985 et parue en 1988) et de KINGA MOUZELO (1986) ; cette dernière présentant notamment les premières données collectées en 1983, sur sa charge en suspension.

## STRUCTURE DU BASSIN VERSANT DU DJOUÉ

Le Djoué est un affluent de rive droite du fleuve Congo-Zaïre, dont la confluence se trouve au niveau de Brazzaville (fig. 1). Ce fleuve est le deuxième de la planète tant par son module interannuel de  $40\,600\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , que par la superficie de son bassin versant ( $3.6.10^6\text{ km}^2$ ), contrôlée à 95 % par la station hydrométrique de Brazzaville.

## MORPHOLOGIE

Avec une superficie de  $6\,225\text{ km}^2$ , le bassin versant du Djoué est limité à l'ouest par la vallée du Niari et les plateaux Bembé, au sud par les plateaux des Cataractes et à l'Est par les hautes collines et les plateaux Batékés (ou Tékés).

La morphologie du bassin est dominée par deux ensembles bien individualisés : les plateaux et les collines.

Ces dernières, qui occupent la presque totalité du bassin, sont développées dans les sables Batékés. Les plus élevées se situent entre 600 et 800 m. Il s'agit d'anciens prolongements des plateaux découpés par l'érosion (SCHWARTZ, 1988). Au sud, sur le plateau des Cataractes entaillé de tout un réseau de petits cours d'eau, les reliefs peu marqués sont développés surtout dans les grès précambriens de l'Inkisi. Ce sont des collines tabulaires culminant vers 300 m (KINGA MOUZELO, 1986) qui disparaissent sous les collines Batékés vers le nord-ouest et l'ouest.

## GÉOLOGIE

Le substratum de ce bassin est constitué des formations précambriennes (séries schisto-gréseuse et schisto-calcaire), qui affleurent le plus souvent le long du réseau hydrographique inférieur et moyen et couvrent environ 20 % du bassin, et des formations cénozoïques, couvrant les 80 % restant, représentées par les sables tékés comprenant deux niveaux : le niveau inférieur, de 300 m d'épaisseur formé de grès polymorphes (Ba1) du Paléogène et le niveau supérieur de 20 à 90 m d'épaisseur comportant le sable ocre (Ba2) du Néogène (COSSON, 1955 ; SCHWARTZ, 1988) (fig. 2).

---

(5) PEGI : Programme d'Etude de la Géosphère Intertropicale.

(6) GBF : Opération Grands Bassins Fluviaux.

(7) INSU : Institut National des Sciences de l'Univers.

(8) CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique.

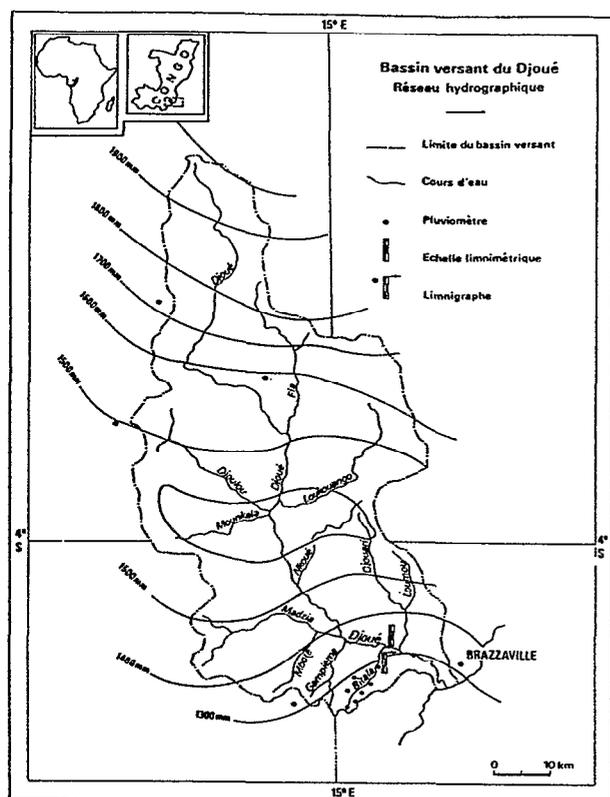


FIG. 1. — Hydrographie et pluviométrie du bassin versant du Djoué.

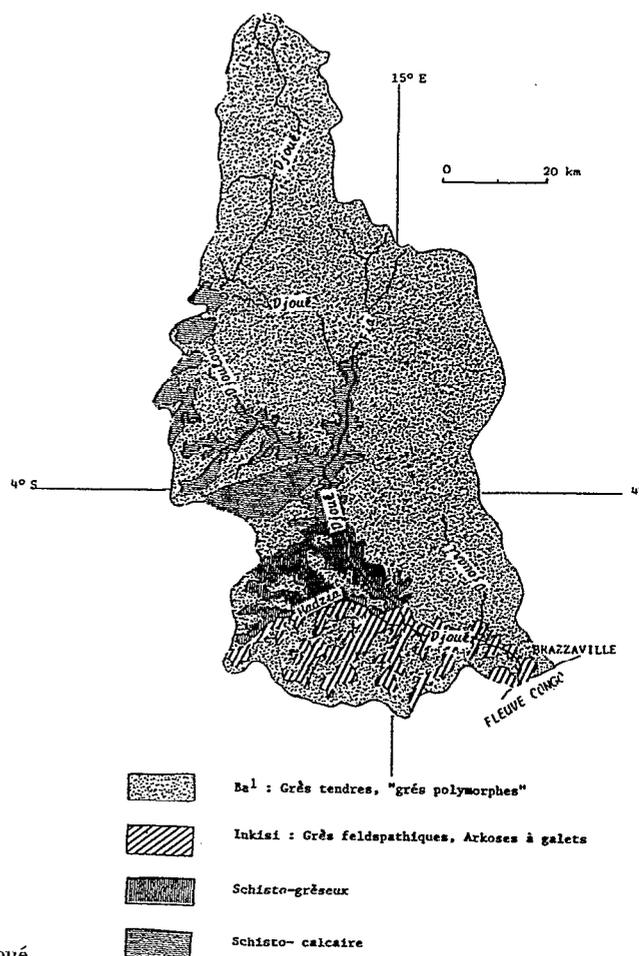


FIG. 2. — Carte géologique du bassin versant du Djoué.

#### PÉDOLOGIE ET COUVERTURE VÉGÉTALE

Le Djoué draine une savane à *Loudetia demousii*. Des lambeaux de forêts mésophiles apparaissent vers le sud. Les forêts galeries des rivières sont très étroites (KOECHLIN, 1961) ; la zone forestière couvre environ 30 % du bassin. Les sols sont de type ferrallitique appauvri (DENIS, 1974) avec des podzols géants en position de terrasses (SCHWARTZ et RAMBAUD 1983 ; SCHWARTZ, 1988) (fig. 3).

#### CLIMAT

Le bassin du Djoué est soumis au climat équatorial de transition austral, avec des totaux pluviométriques annuels variant de 1 300 à 2 000 mm du sud au nord du bassin (fig. 1).

L'abondante pluviométrie dans cette région (parmi les plus importantes enregistrées au Congo) est liée aux conditions atmosphériques favorables : prépondérance des basses pressions intertropicales, de l'alizé maritime non subsident et de l'intensité de la convection thermique, d'une part, et au relief relativement élevé, d'autre part (SAMBA KIMBATA, 1978).

Le rythme des précipitations est marqué par une petite saison sèche, avec un ralentissement de la pluviosité en janvier-février et une longue saison sèche de 3 à 4 mois (juin à septembre), coïncidant avec un minimum de la température et de la tension de vapeur d'eau.

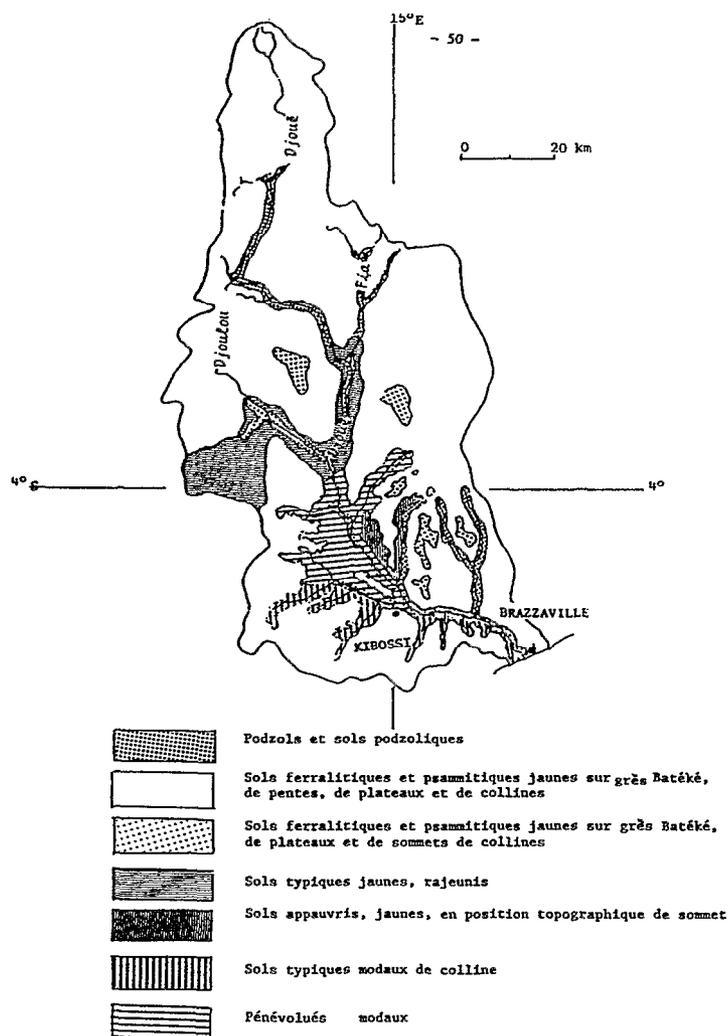


FIG. 3. — Carte pédologique du bassin versant du Djoué.

On note une irrégularité pluviométrique interannuelle modérée (15 à 25 %), une fréquence pluviométrique élevée (80 à 100 jours de pluies par an), des températures comprises entre 22 et 25 °C, avec des amplitudes annuelles diurnes assez faibles ; enfin une humidité relative forte, toujours supérieure à 80 % (SAMBA KIMBATA, 1992).

## HYDROLOGIE

À 17 kilomètres en amont de Brazzaville se trouve la principale station hydrométrique du Djoué, celle de Goma Tsé-Tsé (4° 13' de latitude sud et 15° 17' de longitude est), qui contrôle 92 % de la superficie totale du bassin du Djoué.

Cette station, installée sur le Djoué en 1955, bénéficie d'une chronique de 35 années de relevés hydrométriques journaliers. Une vingtaine de jaugeages effectués entre 1964 et 1980 ont permis d'établir sa courbe d'étalonnage.

Afin d'établir avec plus d'exactitude le bilan hydrologique de ce bassin versant, nous avons pris en compte la période 1969-92 pour laquelle nous disposons d'une couverture pluviométrique.

## LE DJOUÉ

Son module interannuel calculé sur ces 23 années est de  $140 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , soit un débit spécifique de  $24 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$ , ce qui représente en année moyenne 4,4 milliards de mètres cubes exportés du bassin.

Avec une lame d'eau précipitée annuelle de 1 547 mm (moyenne sur 23 années, calculée par la méthode des polygones de Thiessen sur six stations pluviométriques), la lame écoulee est de 780 mm, ce qui donne un déficit d'écoulement de 767 mm et un coefficient d'écoulement de 50 %, proche de celui (46,8 %) obtenu sur la période 1970-1983 par KINGA MOUZE (1986).

Sur toute cette chronique, la variation interannuelle (rapport entre les modules extrêmes :  $167 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  en 1991 et  $102 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  en 1958) est faible : 1,64, proche de celle du Congo-Zaïre : 1,67. Les faibles variations saisonnières confirment la régularité des débits du Djoué. Le rapport débit maximal mensuel sur le débit minimal mensuel ( $152,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  en avril et  $109 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  en septembre) est en effet très modeste : 1,4 contre 1,74 pour le fleuve Congo-Zaïre (LARAQUE *et al.*, 1993).

Pendant la période d'étude (1991-92), le module du Djoué ( $155 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) est excédentaire de 10 % par rapport au module interannuel calculé depuis 1969. Cela provient d'un léger excédent pluviométrique sur son bassin versant durant ces deux dernières années, avec une lame d'eau précipitée moyenne de 1 650 mm par an.

Cet écoulement excédentaire a débuté en fait vers 1975 et s'est accentué après 1988.

La régularité annuelle et interannuelle du Djoué est caractéristique des régimes hydrologiques des rivières des plateaux Tékés (fig. 4) qui présentent également des hydrogrammes relativement « plats » (fig. 5).

L'importance de l'aquifère constitué par les formations sablo-gréseuses des plateaux Tékés (200 à 400 m de puissance) est à l'origine de ces régimes soutenus (OLIVRY, 1967 ; MAZIEZOULA, 1992) avec une atténuation des crues, due au transfert des eaux d'infiltration dans l'aquifère et un soutien des étiages par vidange lente de la nappe.

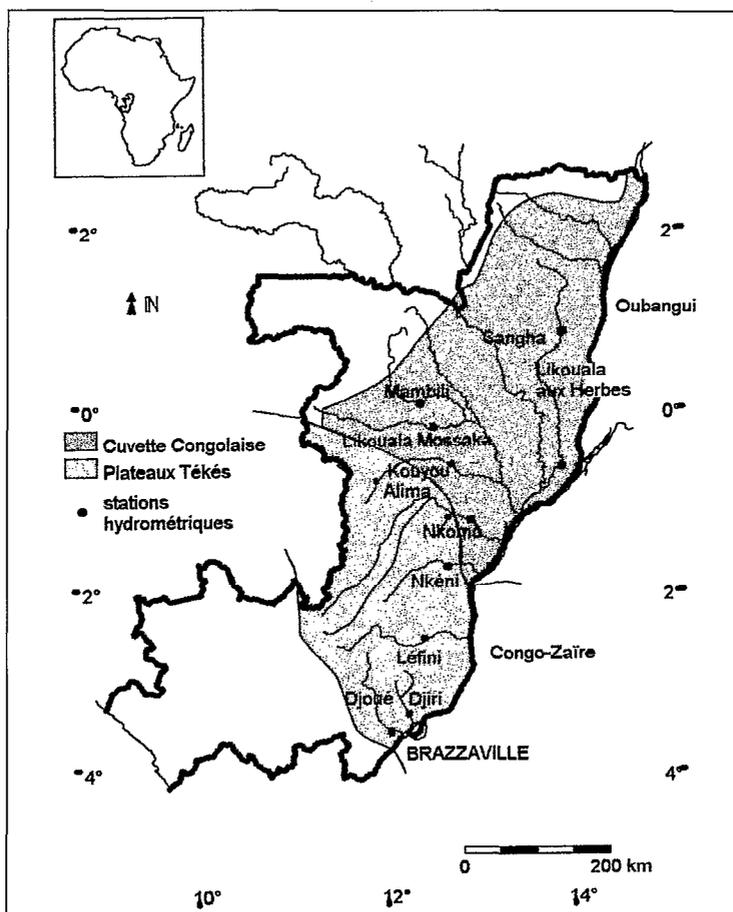


FIG. 4. — Carte des affluents rive droite du Congo et de leurs stations de mesure.

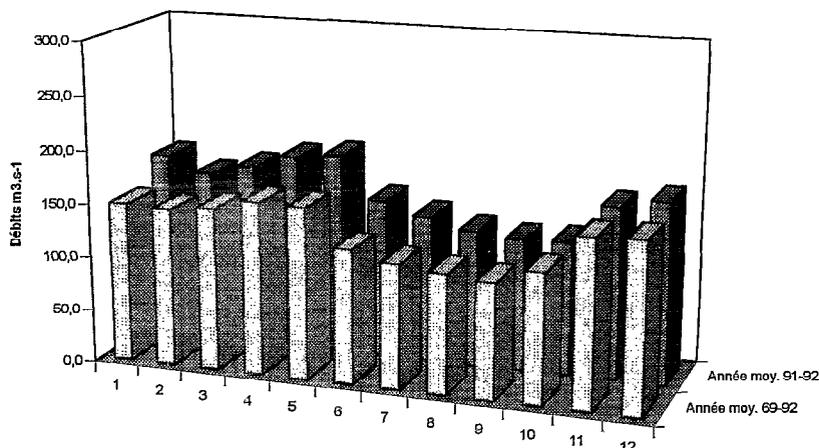


FIG. 5. — Régimes hydrologiques du Djoué à Goma Tsé-Tsé.

Malgré une pluviométrie élevée, le rôle déterminant des « brûlis » pratiqués par l'homme et l'infiltration facilitée par ces formations très perméables limitent la végétation à une simple savane plus ou moins arbustive. Cela confère à ces plateaux un aspect quelque peu dénudé, un *paradoxe hydrologique* selon MAZIEZOULA (1992). Cette importante infiltration est à l'origine de la restitution élevée des eaux météoritiques (50 à 60 %) que l'on trouve sur ces plateaux.

#### LA BITALA

Affluent de la rive droite du Djoué et longue de 21 kilomètres, la Bitala coule sur un bassin de 80 km<sup>2</sup>. Les formations précambriennes de l'Inkisi sur lesquelles se développent les sols ferrallitiques typiques modaux sur matériau argilo-sableux et les sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley (DENIS, 1974) constituent la majeure partie de son bassin versant.

Son module interannuel (1991 et 1992) est de 0,98 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Son débit maximal de 2,60 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> est observé en novembre 1991, tandis que le débit minimal (0,1 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) est noté en juillet 1991. Le débit spécifique est de 12 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>2</sup>, deux fois plus faible que celui de l'ensemble du bassin versant du Djoué. Une pluviométrie plus faible (fig. 1) et la présence d'un couvert forestier plus dense, augmentant l'évapotranspiration sur ce petit bassin versant, en serait la cause. En effet, 58 % de son bassin est occupé par une forêt mésophile semi-caducifoliée (PANDI, 1992).

#### TRANSPORTS PARTICULAIRES ET DISSOUS

##### PROTOCOLE D'ÉTUDE

Pour la plupart des mesures, les concentrations ont été déterminées à partir des prélèvements hebdomadaires d'eau de surface à raison de 10 litres sur le Djoué et de 5 litres sur la Bitala.

NOUVELOT (1969) avait déjà montré sur les cours d'eau tropicaux du Cameroun que l'erreur relative due au prélèvement de surface n'excède pas 10 % de la valeur obtenue à partir d'une intégration des mesures effectuées sur toute une verticale.

Les mesures du pH, de la conductivité électrique (compensées à 25 °C) et de la température ont été réalisées *in situ* à partir d'appareils portatifs (analyseur multiparamètres à affichage digital type Knick Portames digital pH metter 651-2).

Un tamisage à 50 µm permet de séparer les matières en suspension grossières (Mesg) assimilées aux sables et une filtration à 0,2 µm isole les matières en suspension fines (Mesf).

Les dosages des éléments minéraux dissous ont été réalisés par le Laboratoire des formations superficielles de l'Orstom de Bondy, comme suit :

Ca, Mg, Na, K, par absorption atomique (limite de détection de 0,01 mg.l<sup>-1</sup>),

Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, par chromatographie ionique (limite de détection de 0,1 mg.l<sup>-1</sup>),

Si, Al, Fe, par spectrographie d'émission de plasma (limite de détection de 0,02 mg.l<sup>-1</sup>), ces éléments sont ensuite rapportés sous forme d'oxydes.

Enfin, le titre alcalimétrique complet (TAC), est déterminé par dosage potentiométrique (limite de détection de 0,5 mg.l<sup>-1</sup>).

La matière organique dissoute n'ayant pas pu être déterminée, tous les calculs ultérieurs se rapportant à des pourcentages de flux ou d'exportation totale de matière n'en tiendront par conséquent pas compte.

Par analogie avec les résultats obtenus sur les rivières voisines, il y a tout lieu à penser que cette matière organique dissoute devrait être du même ordre de grandeur que la matière minérale dissoute.

## LES MATIÈRES EN SUSPENSION

### Les concentrations

La concentration moyenne mensuelle de la charge en suspension a varié sur la période d'étude de 5 à 14 mg.l<sup>-1</sup> sur le Djoué, de 4 à 11 mg.l<sup>-1</sup> sur la Bitala. En 1983, la concentration moyenne des suspensions obtenue sur le Djoué à la station dite « aval barrage », toute proche de l'exutoire, était de 6,2 mg.l<sup>-1</sup> (KINGA MOUZE, 1986).

Il n'y a pas de corrélation significative entre les mesures des suspensions et les débits correspondants (fig. 6). On constate tout au plus pour le Djoué, une évolution parallèle entre concentrations moyennes annuelles, 10,6 mg.l<sup>-1</sup> en 1991 et 9,6 mg.l<sup>-1</sup> en 1992, et modules annuels correspondants, 167 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> et 144 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

Le schéma classique aux rivières tropicales (NOUVELOT, 1969 ; KINGA MOUZE, 1986 ; GUYOT *et al.*, 1988 ; OLIVRY *et al.*, 1989 ; SEYLER *et al.*, 1993), traduisant l'augmentation de la capacité d'érosion pendant la période de hautes eaux (novembre 1991 et mars 1992 pour le Djoué) et inversement une décroissance de la quantité de matériel mobilisé avec la diminution de la compétence du cours d'eau en étiage (juin et juillet 1992), se retrouve en partie pour le Djoué durant le cycle hydrologique 1991-92 (fig. 6). Mais eu égard à ses faibles variations saisonnières de débits et de concentrations de matières et à sa bimodalité, il n'apparaît pas de cycle annuel bien défini entre concentrations en suspension et débits, comme l'on peut en rencontrer sur les rivières tropicales unimodales à franche variation de débits.

Sur la Bitala, à l'inverse du Djoué, la part des sables (Mesg) est prépondérante et représente 58 % des suspensions contre 42 % pour la fraction fine.

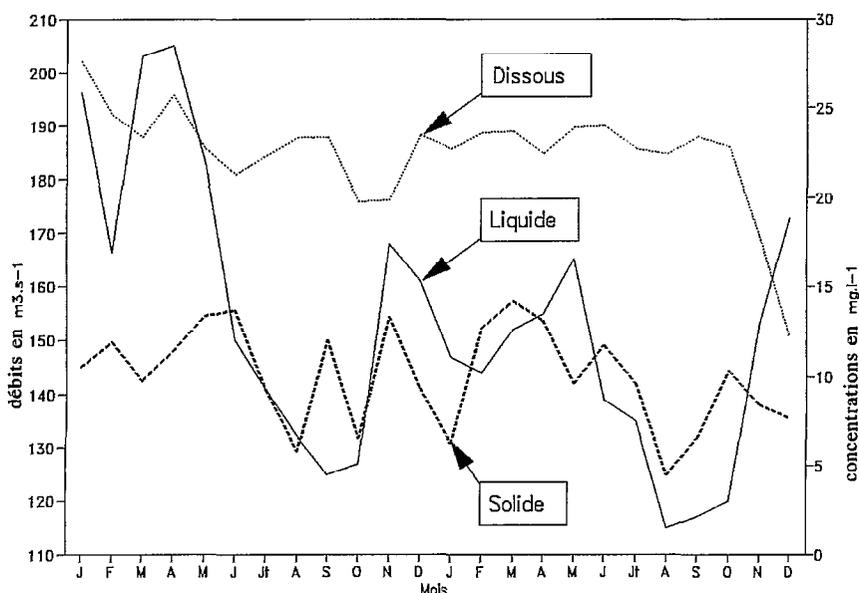


FIG. 6. — Variations des débits et des concentrations de matière pour le Djoué à Coma Tsé-Tsé en 1991-1992.

*Flux particulières*

Pour le Djoué, les débits solides maximaux ont été observés en mai 1991 (2,6 kg.s<sup>-1</sup>), novembre 1991 et mars 1992 (2,2 kg.s<sup>-1</sup>). Le débit solide minimal est enregistré en septembre 1992 (0,52 kg.s<sup>-1</sup>) (fig. 7). Les écarts importants entre les extrêmes (de l'ordre de 5) sont trois fois plus élevés que ceux des débits.

Sur la Bitala, les débits solides maximaux enregistrés sont de 20 g.s<sup>-1</sup> en janvier 1991 et 18 g.s<sup>-1</sup> en mars 1991, pour des débits de 2,4 et 1,9 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

Un minimum de 0,4 g.l<sup>-1</sup> est noté en juillet 1991 pour un débit de 100 l.s<sup>-1</sup> (fig. 8). Cette grande variation est en relation avec celle des débits extrêmes.

*Bilan des exportations solides*

Pour le Djoué, d'une année sur l'autre et malgré une diminution des débits en 1992, la proportion des exportations solides sur les exportations totales est restée constante, de l'ordre de 30 % (tabl. 1 et fig. 9 a).

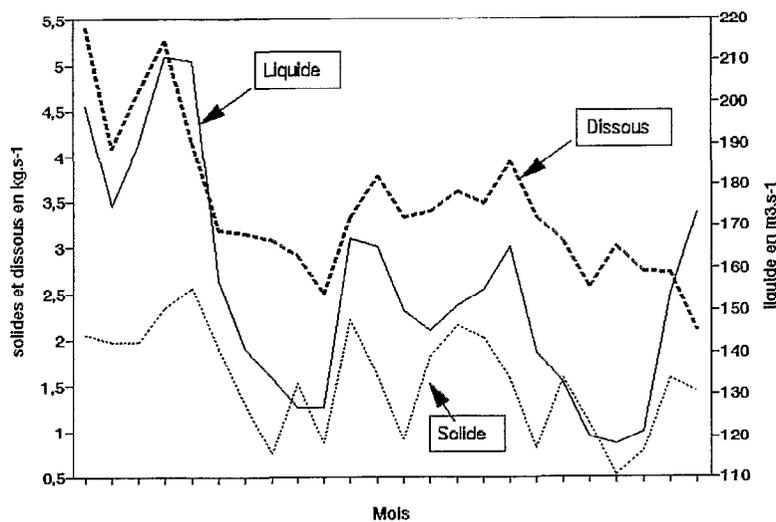


FIG. 7. — Débits liquides, solides et dissous du Djoué de 1991 à 1992.

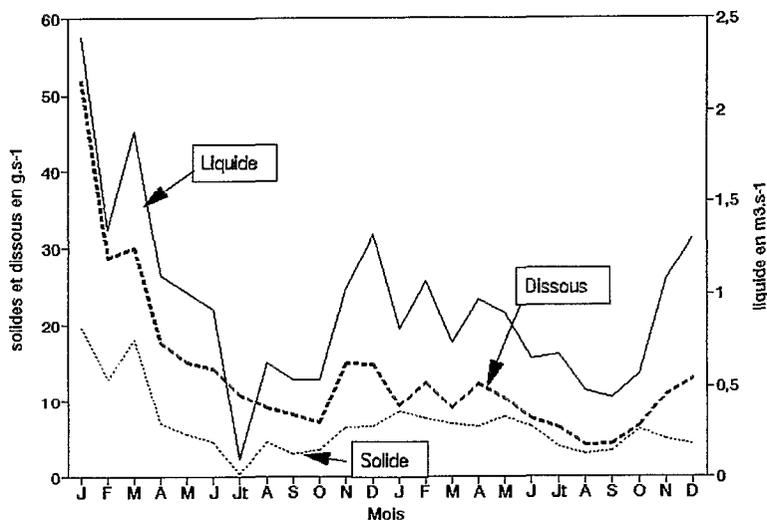


FIG. 8. — Débits liquides, solides et dissous de la Bitala de 1991 à 1992.

TABLEAU I  
Bilans annuels des exportations du Djoué à Goma Tsé-Tsé

Année	Débits m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Volume 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	Exportation solide		Exportation TDS	
			t.an <sup>-1</sup>	t.km <sup>2</sup> .an <sup>-1</sup>	t.an <sup>-1</sup>	t.km <sup>2</sup> .an <sup>-1</sup>
1991	167	5,26	56.10 <sup>3</sup>	9,72	121.10 <sup>3</sup>	21,2
1992	144	4,54	44.10 <sup>3</sup>	7,67	99.10 <sup>3</sup>	17,25
Moy.	155	4,89	50.10 <sup>3</sup>	8,69	110.10 <sup>3</sup>	19,22

TDS=Total dissolved solid

Une cinquantaine de milliers de tonnes de suspension ont transité à la station de Goma Tsé-Tsé, ce qui correspond à une ablation mécanique voisine de 8,7 t.km<sup>2</sup>.an<sup>-1</sup>. Cette valeur est identique à celle rencontrée sur l'ensemble du bassin du Congo-Zaïre (LARAQUE, 1993), une des plus faibles pour les grands bassins fluviaux du continent africain.

En revanche, sur la Bitala, la proportion des exportations solides par rapport aux exportations totales a varié de 30 à 42 % (tabl. II) pour une diminution de débit de 20 %, et cela sans explication apparente.

La dégradation mécanique moyenne est de 2,55 t.km<sup>2</sup>.an<sup>-1</sup>, pour un volume liquide de 28.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

Tout comme son débit spécifique, la dégradation spécifique du bassin versant de la Bitala est bien plus faible que celle de l'ensemble du bassin versant du Djoué (fig. 9 b). Le couvert forestier et les sols plus argileux de ce petit bassin en sont les principales raisons.

Pour ces deux cours d'eau, la faiblesse respective de leurs transports solides est liée au caractère prépondérant de l'infiltration sur le ruissellement.

## LES MATIÈRES MINÉRALES DISSOUTES

### Les concentrations

Sur le Djoué, les concentrations en matières minérales dissoutes varient peu autour d'une moyenne annuelle de 22 mg.l<sup>-1</sup>, ce qui est moins le cas pour la Bitala, dont la moyenne sur les deux années d'étude est de 13,5 mg.l<sup>-1</sup>.

Comme pour les concentrations en éléments en suspension, il n'y a pas de corrélation significative entre les concentrations en matière minérale dissoute et les débits correspondants (fig. 6). Mais en terme de moyenne annuelle on constate une tendance d'évolution semblable, avec des concentrations de 23,1 et 21,8 mg.l<sup>-1</sup> en 1991 et 1992 pour des débits annuels de 167 et 144 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, pour le Djoué, et de 15,84 et 11,05 mg.l<sup>-1</sup> en 1991 et 1992 pour des débits annuels de 1,07 et 0,81 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, pour la Bitala.

Pour la Bitala, conductivité électrique et charge totale dissoute présentent un coefficient de corrélation plus élevé (0,80) que pour le Djoué (0,61).

### Les flux dissous

Pour le Djoué et la Bitala, les concentrations en espèces minérales dissoutes restant relativement constantes au cours de l'année, leurs flux sont directement contrôlés par les débits. Les figures 7 et 8 illustrent le parallélisme de ces courbes.

Ces flux ont varié entre 2,1 et 5,4 kg.s<sup>-1</sup> pour le Djoué et entre 4 et 51 g.s<sup>-1</sup> pour la Bitala.

TABLEAU II  
Bilans annuels des exportations de la Bitala

Année	Débits m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Volume 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	Exportation solide		Exportation TDS	
			t.an <sup>-1</sup>	t.km <sup>2</sup> .an <sup>-1</sup>	t.an <sup>-1</sup>	t.km <sup>2</sup> .an <sup>-1</sup>
1991	1	31,5	208	2,6	500	6,25
1992	0,8	25,2	201	2,5	279	3,5
Moy.	0,9	28,35	204,5	2,55	390	5,62

TDS=Total dissolved solid

*Bilan des exportations minérales dissoutes*

Pour le Djoué, environ 70 % des exportations totales proviennent des matières minérales dissoutes, ce qui correspond à un transport dissous spécifique de 19 t.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup> (tabl. I et fig. 9 a), supérieur aux 12 t.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup> rencontrés sur le bassin du Congo-Zaïre (LARAQUE, 1993).

Sur la Bitala, l'exportation des matières minérales dissoutes représente 65 % des exportations totales, soit un transport dissous spécifique de 5,6 t.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup> (tabl. II et fig. 9 b).

Le transport dissous spécifique de la Bitala reste bien inférieur à celui de l'ensemble du bassin du Djoué.

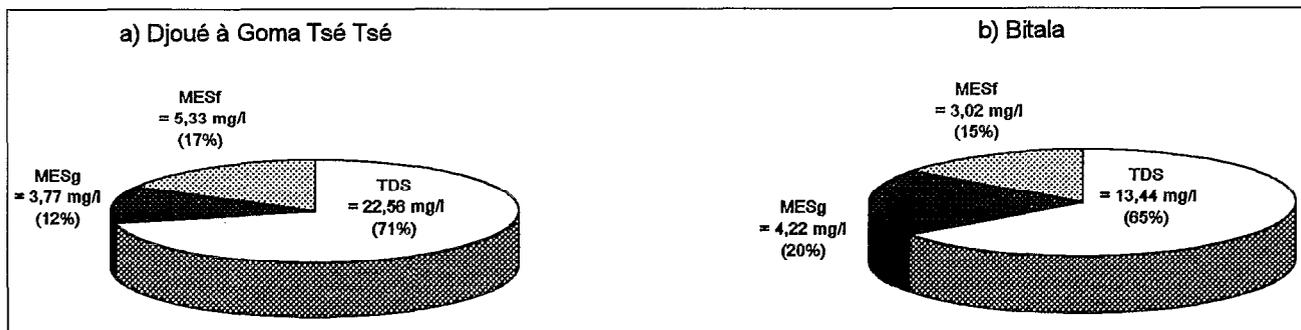


FIG. 9. — Répartition des transports du Djoué (a) et de la Bitala (b) (moyenne années 1991-1992). La matière organique n'est pas prise en compte. TDS = Total Dissolved Solid.

CONCLUSION

Pour la Bitala, l'exportation moyenne interannuelle sur la période étudiée est proche de 600 tonnes (390 tonnes de matière minérale dissoute et 205 tonnes de matières en suspension), pour un volume d'exportation de 28.10<sup>6</sup>.m<sup>3</sup>.

La Bitala contribue évidemment très peu à l'exportation des 160.10<sup>3</sup> tonnes de la charge totale du Djoué à Goma Tsé-Tsé. Le rapport des charges (Bitala/Djoué) est très faible (0,37 %), en raison de son faible module, proche du mètre cube.

Comme pour le Djoué, le transport dissous spécifique est prépondérant sur le transport particulaire spécifique : 5,6 contre 2,6 t.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup>.

Il faut cependant signaler que les exportations spécifiques calculées ici, ne sont pas corrigées par les apports atmosphériques, tant particulaires que dissous. Leur influence relative est d'autant plus importante que ces eaux superficielles sont peu chargées.

L'étude comparative des bassins du Djoué et de la Bitala montre que la répartition de leurs transports solides et dissous est peu différente. Le rapport des suspensions sur la charge totale, légèrement plus élevé pour la Bitala (34,5 %) que pour le Djoué (30 %), est à attribuer davantage au relief plus pentu du bassin de la Bitala et à un éventuel effet de taille qu'à une influence anthropique limitée (déboisement, cultures...) qui favoriseraient les transports en suspension.

PHYSICOCHIMIE DES EAUX ÉTUDIÉES (fig. 10)

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

Les eaux du Djoué et de la Bitala présentent des conductivités électriques (CE), qui soulignent leurs faibles minéralisations, représentées sur les diagrammes des figures 11 et 12.

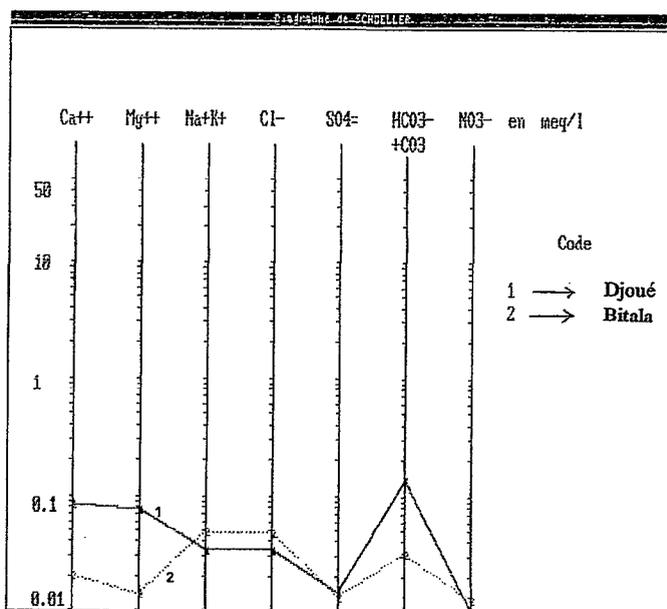


FIG. 10. — Composition chimique moyenne des eaux du Djoué et de la Bitala.

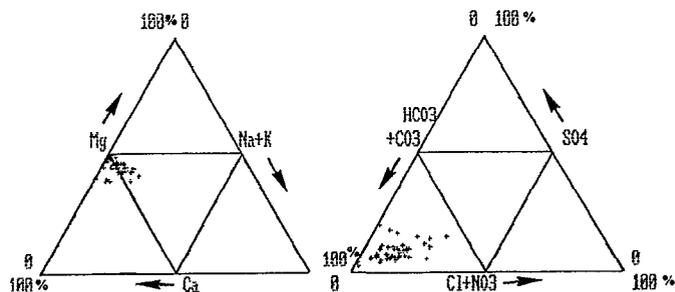


FIG. 11. — Typologie hydrochimique des eaux du Djoué.

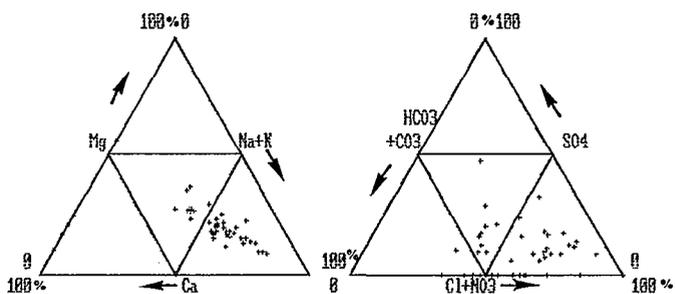


FIG. 12. — Typologie hydrochimique des eaux de la Bitala.

Pour le Djoué, elles varient entre 17,6 et 29,8  $\mu\text{s}.\text{cm}^{-1}$ , autour d'une moyenne de 23,5  $\mu\text{s}.\text{cm}^{-1}$  à 25 °C, et, pour la Bitala, entre 5,4 à 28,4  $\mu\text{s}.\text{cm}^{-1}$  à 25 °C pour une moyenne de 14  $\mu\text{s}.\text{cm}^{-1}$  à 25 °C.

Leurs pH sont proches de la neutralité (7 à 7,4).

Ces observations sont en accord avec celles obtenues en 1983 (KINGA MOUZEO, 1986) : pH = 6,5 et CE = 25  $\mu\text{s}.\text{cm}^{-1}$  à 25 °C.

Les eaux de la Bitala présentent des pH plus faibles (5,4 à 6). L'acidité augmente en période de crue. Comme pour les *coca cola rivers* de la cuvette congolaise circulant sous couvert forestier, son acidité proviendrait essentiellement des acides organiques dus à la décomposition végétale, puisque son bassin est deux fois plus boisé que celui du Djoué.

#### TYPLOGIE DES EAUX ÉTUDIÉES

Dans ces eaux, la silice est le minéral dissous le mieux représenté (8,9 mg.l<sup>-1</sup>). Elle provient de l'altération des formations sablo-gréseuses de la série des plateaux Tékés, qui représente 81 % du bassin du Djoué.

L'absence du fer en solution semble confirmer l'hypothèse d'une relative stabilité actuelle des limites entre les sols ferrallitiques et les sols podzoliques (SCHWARTZ, 1988).

Les eaux de la Bitala sont alcalino-chlorurées et pauvres en sulfates (fig. 12). Les alcalins (limités essentiellement au potassium) proviendraient respectivement de l'altération des feldspaths potassiques (orthose) et de celle des micas de la série de l'Inkisi (grès silico-feldspathiques ou micacés) présente dans son bassin versant et dont la composition moyenne d'après KINGA MOUZELO (1986) est de 50 % de quartz, 25 % de feldspaths, 15 % des minéraux argileux, 5 % de fer, et 5 % de micas.

Cette série et celle voisine de la Mpioka, composée de grès et d'arkose, couvrent 11 % du bassin du Djoué et sont très développées dans le bassin de la Bitala.

Les eaux du Djoué sont bicarbonatées calco-magnésiennes, pauvres en sulfates et en alcalins (fig. 11).

Ce faciès serait par conséquent le reflet de la géochimie des formations schisto-calcaires qui couvrent 8 % de son bassin.

Pour ces deux cours, les concentrations en chlorures, les plus élevées des rivières tékés (tabl. IV), s'expliqueraient par leur plus grande proximité de l'océan Atlantique, car cet élément est pratiquement exclusivement d'origine océanique.

Aucune corrélation vraiment significative n'a pu être mise en évidence entre les différents paramètres physico-chimiques. Les ions les mieux corrélés entre eux sont Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> (avec des coefficients de corrélation de 0,72 pour le Djoué et de 0,78 pour la Bitala).

#### PLACE DU DJOUÉ AU SEIN DES AFFLUENTS CONGOLAIS DU FLEUVE CONGO

Les travaux en cours du programme PEGI, relatifs aux affluents rive droite du Congo, ont permis de corriger et compléter l'évaluation des bilans de leurs exportations de matières présentés antérieurement (MOUKOLO, 1989 ; MOUKOLO *et al.*, 1990 et 1993).

Deux ensembles aux comportements hydrologiques et hydrochimiques différents se distinguent : les cours d'eau des plateaux Tékés et ceux de la cuvette forestière du nord du pays (fig. 4).

#### HYDROLOGIE

On peut relever un gradient des écoulements de ces affluents qui va diminuant vers le nord du pays. Il y a certes une légère baisse de la pluviométrie des plateaux (1 800 à 2 000 mm) vers la cuvette (1 600 à 1 800 mm), mais elle ne suffit pas pour expliquer ces différences d'écoulement.

Pour les rivières tékés (Djiri, Léfini, Nkéni, et Alima) auxquelles se rapporte le régime hydrologique du Djoué, le rôle régulateur de l'aquifère est mis en évidence par les faibles variations saisonnières de leurs débits. Et cela malgré une importante variabilité saisonnière de la pluviométrie sur cette région qui présente une saison sèche très marquée de juin à août. Ce régime pluviométrique est illustré par la distribution mensuelle des pluies à Djambala, caractéristique des plateaux Tékés (fig. 13). Dans ces plateaux, l'infiltration est élevée et la majeure partie des précipitations météoriques est restituée aux cours d'eau à travers l'aquifère qui pondère les débits. La reprise par évapotranspiration est relativement faible dans tout le domaine des plateaux à savane développés sur sols filtrants. Leur coefficient d'écoulement, et par conséquent leurs débits spécifiques, sont élevés. Les cours d'eau parmi les plus réguliers de la planète (la Nkéni et la Léfini) sont issus de cet important aquifère grésosableux, d'une puissance de 400 mètres.

Au contraire, pour les cours d'eau de la cuvette congolaise (Likouala aux herbes, Likouala Mossaka, Kome et dans une moindre mesure la Sangha) qui sont des rivières du domaine forestier, l'évapotranspiration plus élevée en-

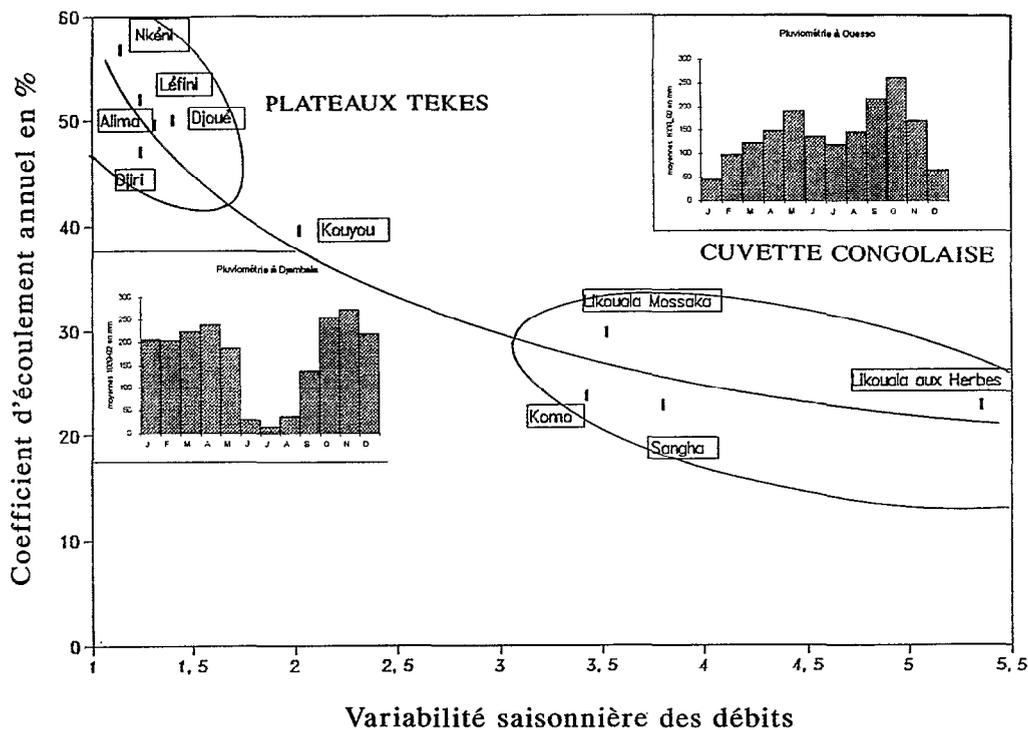


FIG. 13. — Corrélation entre coefficients d'écoulement annuel et variabilité saisonnière des débits mensuels des affluents rive droite du fleuve Congo-Zaire.

traîne un déficit hydrique important. On a ainsi des coefficients d'écoulements et des débits spécifiques faibles. En l'absence d'aquifère régulateur, leurs régimes hydrologiques reflètent plus fidèlement le régime pluviométrique de cette région et leurs débits présentent des variabilités saisonnières plus élevées alors que la pluviométrie de la cuvette est bien moins contrastée que celle des plateaux. La répartition mensuelle des pluies à Ouessou (fig. 13) en est un exemple représentatif.

Le Djoué présente la variabilité saisonnière des débits la plus élevée de toutes les rivières des plateaux Tékés car son régime n'est pas uniquement sous l'influence de cet aquifère. La position marginale du bassin du Djoué en bordure de ces plateaux est également illustrée par son débit spécifique, le plus faible des rivières de cette formation.

#### TRANSPORT SOLIDE

L'ablation mécanique est sensiblement la même sur les bassins versants du Djoué que sur ceux des rivières des plateaux Tékés (tabl. III).

TABLEAU III  
Transports solide et dissous et érosion spécifique des rivières tékés et du Djoué

Rivières	Surface bassin km <sup>2</sup> *	Modules m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	Solides		Dissous		Total	
			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>	10 <sup>3</sup> t.an <sup>-1</sup>	t.km <sup>2</sup> .an <sup>-1</sup>
Léfini	13 500	404	96,4	7	227,4	9,7	227,4	16,7
Nkéni	6 200	268	49,4	8	135,3	13,9	135,3	21,9
Alima	20 070	551	126	6,3	296	8,5	296	14,8
Djoué	5 740	155	50	8,7	110	19,22	160	28

\* : il s'agit des superficies en amont de leur station limnimétrique (cf. fig. 2)

Les travaux de MARIOTTI *et al.* (1991), portant sur l'année 1983, montrent que la charge solide moyenne du Djoué a varié dans la même gamme de valeurs (5 à 10 mg.l<sup>-1</sup>) que celle de la Djiri, affluent voisin provenant de ces plateaux.

#### TRANSPORT DISSOUS

Le faciès géochimique de ces eaux comparé à celui des eaux des rivières des plateaux Tékés met en évidence leurs points communs et leurs différences et renseignent sur l'origine des minéraux dissous.

Les eaux des plateaux Tékés et du Djoué ont leur minéralisation dominée par la silice, dont la concentration reste constante aux alentours de 9 mg.l<sup>-1</sup>. Elle provient du drainage de leurs terrains gréseux.

Cette silice représente la plus grande partie (80 %) des espèces minérales dissoutes des rivières tékés. Tous les autres éléments solubles ont par ailleurs été lessivés.

Elle n'en constitue plus que 40 % pour le Djoué (tabl. IV). Les 60 % restants sont essentiellement composés de potassium et chlorures, alcalino-terreux et bicarbonates, dont la présence est liée à la constitution géologique plus variée du bassin, en particulier sur la rive droite du Djoué.

En effet, dans cette partie du bassin affluent les séries feldspathiques de l'Inkisi et de la Mpioka, sources des alcalins, comme le confirme l'étude de la minéralisation des eaux de la Bitala. Les deux derniers groupes d'éléments proviendraient par conséquent des séries schisto-gréseuse et schisto-calcaire présentes plus en amont de son bassin (fig. 2).

Les espèces ioniques (environ 14 mg.l<sup>-1</sup>) à l'origine de la conductivité électrique du Djoué (moyenne de 24  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  à 25 °C) sont trois à quatre fois supérieures à celles des rivières tékés qui ne contiennent en moyenne que 2 mg.l<sup>-1</sup> de charge dissoute totale (somme des cations et anions) ! (tabl. IV). Ces rivières sont à tel point peu chargées que certaines concentrations ioniques (le sodium notamment) sont en deça des limites de détection analytique.

C'est donc la composition chimique des eaux, leur plus grande richesse en espèces ioniques ainsi que leur pH proche de la neutralité qui distinguent le plus le Djoué des rivières tékés peu minéralisées et plus acides.

En prenant en compte l'ensemble de ces cours d'eau, on constate que la participation du Djoué aux exportations hydriques, de matière en suspension et de matière minérale dissoute s'élève respectivement à près de 13 %, 18 % et 17 %.

La charge totale dissoute du Djoué, relativement élevée par rapport à celles extrêmement faibles des rivières tékés, compense une exportation hydrique 8 fois inférieure à celle de ces plateaux. En effet, le Djoué présente à lui seul un flux d'espèces minérales chargées qui leur est à peine inférieur : 2,2 contre 2,9 kg.s<sup>-1</sup>.

L'estimation de l'érosion dans le bassin versant du Djoué figure dans la gamme des valeurs proposées par Walling (COLOMBANI, 1985).

#### CONCLUSION

S'écoulant sur la marge sud-ouest du plateau de Mbé, le plus vaste des plateaux Batékés, le Djoué occupe une position singulière au sein des deux grandes familles d'affluents congolais du fleuve Congo-Zaïre.

Son régime régulier est contrôlé par l'aquifère gréseux et sableux des plateaux et collines qui couvrent 4/5 de sa superficie. Les cours d'eau qui en sont issus présentent des coefficients d'écoulement et des débits spécifiques éle-

TABLEAU IV  
pH, conductivité électrique (en  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  à 25 °C) et composition chimique moyenne (en mg.l<sup>-1</sup>)  
des matières minérales dissoutes des rivières tékés et du Djoué

Rivières	pH	CE	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Djiri	5,83	5,21	0,15	0,06	0,01	0,01	0,10	0,16	0,55	0,05	7,81	0,02	0,02
Léfini	5,94	7,95	0,49	0,13	0,01	0,16	0,40	0,70	0,92	0,05	7,72	0,02	0,02
Nkéni	5,66	6,13	0,38	0,09	0,01	0,06	0,27	0,72	0,46	0,05	8,04	0,02	0,02
Alima	5,68	8,04	0,39	0,18	0,01	0,03	0,30	0,60	0,82	0,08	7,98	0,03	0,03
Djoué	7,10	23,5	1,80	0,90	0,01	0,70	1,00	0,70	8,90	0,08	8,90	0,02	0,03

0,01 mg.l<sup>-1</sup> = limite de détection analytique pour Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup>

vés, respectivement de 50 à 60 % et 25 à 35 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>. Le Djoué possède les plus faibles de ces valeurs en raison de l'influence d'un couvert forestier plus étendu qui augmente quelque peu le déficit hydrique par évapotranspiration.

Si ses transports en suspension sont semblables à ceux des rivières tékés, ses transports dissous en diffèrent tant quantitativement que qualitativement. Bien plus importante et variée, la minéralisation de ses eaux provient de la géologie hétérogène du substratum de son bassin.

Les parties orientale et amont de ce bassin où dominent les grès de la série des plateaux Tékés sont à l'origine des concentrations pratiquement constantes de silice dissoute au cours de l'année.

Le potassium proviendrait plutôt de la portion aval de la rive droite où affluent les séries de grès feldspathiques et micacés de l'Inkisi et de la Mpioka, tandis que l'origine des alcalino-terreux et des bicarbonates serait à relier à l'altération des séries schisto-calcaires situées plus en amont sur le même versant.

L'hydrochimie du Djoué est plus proche de celles du fleuve Congo-Zaïre et des rivières de la cuvette congolaise aux bassins plus composites que de celle des cours d'eau tékés aux bassins homogènes essentiellement siliceux (Atlas de la République populaire du Congo, 1977).

C'est donc essentiellement par la géologie et la couverture végétale de son bassin versant, qui conditionnent son hydrologie et surtout son hydrochimie, que le Djoué se distingue de ses voisins des plateaux Tékés, malgré la prédominance de cette formation dans son paysage. Son cours inférieur marque d'ailleurs la limite sud de cette formation.

Pour un volume écoulé de 5 milliards de mètres cubes en moyenne interannuelle sur les deux années d'étude (1991-92), le bilan d'exportation de matières par le Djoué est de 160.10<sup>3</sup> tonnes. Avec 19 t.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup>, le transport chimique dissous spécifique domine largement sur l'ablation mécanique (8,7 t.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup>).

En raison de son module annuel relativement très faible, la contribution du Djoué au fleuve Congo-Zaïre reste des plus modestes, respectivement 0,42 %, 0,18 % et 0,19 % de ses débits liquide, solide et dissous.

*Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 11 janvier 1995*

## BIBLIOGRAPHIE

- Atlas de la République populaire du Congo, 1977* — Paris, Ed. j. a., Coll. Atlas jeune Afrique.
- COLOMBANI (J.), 1985 — *Transfert des matières solides dans le cycle de l'eau. Mesures et variations*. Cours DEA USTL, Montpellier, 50 p.
- COSSON (J.), 1955 — *Notice explicative sur les feuilles Pointe-Noire et Brazzaville*. Carte de reconnaissance au 1/500 000, Gov. gén. AEF, Direction des mines AEF.
- DENIS (B.), 1974 — *Carte pédologique Brazzaville-Kinkala*. Note explicative n° 52. Orstom, Brazzaville.
- GUYOT (J.-L.) *et al.*, 1988 — « Exportation des matières en suspension des Andes vers l'Amazonie par le Rio Beni, Bolivie ». In : *Sédiment Budgets (Symp. Porto Alegre, déc. 1988)*, IAHS, Publ. n° 174 : 443-451.
- KINGA MOUZE, 1986 — *Transport particulaire actuel du fleuve Congo et de quelques affluents ; enregistrement quaternaire dans l'éventail détritique profond (sédimentologie, minéralogie et géochimie)*. Thèse doc. géol. Univ. Perpignan, 251 p.
- KOECHLIN (J.), 1961 — *La végétation des savanes dans le Sud de la République du Congo*. Paris, Orstom, Mém. Orstom n° 1, 310 p.
- LARAQUE (A.), BRICQUET (J.-P.), OLIVRY (J.-C.), BERTHELOT (M.), 1993 — « Export of matter from the Congo River (PEGI programme) ». In : *First International Symposium on Perspectives for Environmental Geochemistry in Tropical Countries, Brazil, Niteroi, nov. 29-dec. 3, 1993*, 11 p + fig.
- MARIOTTI (A.), CADEL (F.) *et al.*, 1991 — Carbon isotope composition and geochemistry of particulate organic matter in the Congo River (Central Africa) : application to the study of Quaternary sediment of the mouth of the river. *Chemical Geology. Isotope Geoscience section*, n° 86 : 345-357.
- MAZIEZOULA (B.), 1992 — *Hydrodynamique des formations tabulaires et sablo-gréseuses des pays Téké*. Orstom Brazzaville, rap. activités juin 1990-déc. 1991, 16 p.
- MOUKOLO (N.), 1989 — *Bilan et variations des exportations de matières dissoutes sur le Congo à Brazzaville en 1987 et 1988*. Pirat/Insu/Orstom, Note inf. n° 3 : 93-102.
- 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.
- MOUKOLO (N.), LARAQUE (A.), OLIVRY (J.-C.) *et al.*, 1993 — Transport en solution et en suspension par le fleuve Congo (Zaïre) et ses principaux affluents de la rive droite. *Journal Sci. Hydrol.* 38 (2,4) : 133-145.
- NOUVELOT (J.-F.), 1969 — *Mesure et étude des transports solides en suspension au Cameroun*. Cah. Orstom, Sér. Hydrol., 6 (4) : 43-86.
- OLIVRY (J.-C.), 1967 — *Régime hydrologique des rivières Batéké*. Orstom Brazzaville, rap. nov., 27 p.
- OLIVRY (J.-C.), BRICQUET (J.-P.), THIERBAUX (J.-P.), 1989 — *Bilan annuel et variations saisonnières des flux particuliers du Congo à Brazzaville et de l'Oubangui à Bangui*. Pirat/Insu/Orstom, Note inf. n° 3. sept. : 5-28.

- PANDI (A.). 1992 — *Contribution à l'étude des transports en suspension dans le bassin versant du Djoué*. Orstom Brazzaville. rap. int. juillet 1991, 37 p.
- SAMBA KIMBATA (M.-J.), 1978 — *Le climat du bas Congo*. Thèse doc. Univ. de Dijon. 312 p.
- SAMBA KIMBATA (M.-J.), 1992 — « Aperçu sur le climat congolais ». In : *Hydrogéologie du Congo*. Doc. BRGM, n° 210 : 12-17.
- SCHWARTZ (D.), RAMBAUD (D.), 1983 — *Contribution des sables à une étude morphopédologique : Lousséké de Gangalingo (Pool, RP Congo)*. Tentative de reconstitution paléo-géographie et généralisation. Orstom Brazzaville, 38 p.
- SCHWARTZ (D.), 1988 — *Histoire d'un paysage : Le Lousséké. Paléoenvironnements quaternaires et podzolisation sur sables Batéké (Quarante derniers millénaires, région de Brazzaville, R.P. du Congo)*. Thèse doct. ès Sci., Univ. Nancy-I. Paris. Orstom. Coll. Études et Thèses, 285 p.
- SEYLER (P.), OLIVRY (J.-C.) *et al.*, 1993 — Hydrogeochemistry of the Ngoko river, Cameroon : Chemical balance in a rain-forest equatorial bassin. *AIHS Publ.* n° 217, 10 p. + annexes.