

Bilans et variations des exportations de matières sur le Congo à Brazzaville

De janvier 1987 à décembre 1988

Noël MOUKOLO (1), Jean-Pierre BRICQUET (2), Joachim BIYEDI (1)

RÉSUMÉ

Cet article expose les résultats de deux années de travaux (1987 et 1988) réalisés dans le cadre d'un programme de recherche sur le transport de matières sur le bassin du Congo. Il s'agissait, par la mesure systématique des exportations particulaires et dissoutes du fleuve, d'expliquer et de quantifier les phénomènes actuels et en particulier le fonctionnement d'un grand écosystème forestier tropical. Le bilan interannuel (1987-1988) fait à la station de mesure de Brazzaville, contrôlant 95 % de la surface totale du bassin soit $3,5 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ a abouti aux valeurs moyennes ci-après :

- transport solide : $34 \cdot 10^6 \text{ T} \cdot \text{an}^{-1}$;
- transport dissous : $66 \cdot 10^6 \text{ T} \cdot \text{an}^{-1}$.

Les analyses hydrochimiques ont montré une faible minéralisation des eaux du fleuve. Par ailleurs, l'absence de relation précise entre les apports liquides et les concentrations des matières dissoutes pourrait s'expliquer par le mode d'alimentation extrêmement complexe du fleuve.

MOTS-CLÉS : Hydrologie — Hydrochimie — Transport solide — Transport dissous — Bilan et variation — Fleuve Congo.

ABSTRACT

BALANCE AND VARIATION OF SOLID DISCHARGE FROM THE CONGO BASIN. January 1987-December 1988.

This paper presents the results of two years' investigation of the transport of materials from the Congo Basin. Systematic measurements were made to quantify the processes operating in the great tropical forest ecosystem.

The yearly balance (1987-88) at Brazzaville station controlling 95 % of the whole surface of the basin ($3.5 \times 10^6 \text{ km}^2$) has given the following results :

- solid transport $34 \cdot 10^6 \text{ T} \cdot \text{y}^{-1}$;
- dissolved transport : $66 \cdot 10^6 \text{ T} \cdot \text{y}^{-1}$.

Hydro-chemical analyses have shown little mineralisation of river waters. The fact that there is no precise relation between river flow and concentration of dissolved materials can be explained by the extremely complex runoff process.

KEY WORDS : Hydrology — Hydrochemistry — Solid Transport — Dissolved transport — Balance and variation — Congo river.

1. GÉNÉRALITÉS

1.1. INTRODUCTION

L'ORSTOM en collaboration avec l'INSU (Institut National des Sciences de l'Univers) a démarré en 1986, un grand programme de recherche intitulé PIRAF-GBF dont l'opération principale est le transport de matières sur le bassin du Congo. Ce programme concerne plusieurs stations de mesures au Congo, la principale étant celle de Brazzaville. Il doit permettre de faire le point sur les variations saisonnières et interannuelles et le bilan annuel des transports de

(1) Hydrologues DGRST/ORSTOM, BP 181, Brazzaville, Rep. du Congo.

(2) Hydrologue ORSTOM, BP 181, Brazzaville, Rep. du Congo.

matières. Ainsi, son ambition est d'approcher, à travers l'étude du bassin du Congo, la dynamique des écosystèmes forestiers équatoriaux.

L'originalité du programme tient d'une part dans le protocole de mesures permettant une estimation plus rigoureuse des concentrations, d'autre part dans le suivi de la variation saisonnière et interannuelle, suivi suffisamment long pour corrélérer le régime des flux de matières aux régimes hydrologiques.

1.2. CADRE PHYSIQUE DU PROJET

1.2.1. Climat

Le découpage climatique du bassin du Congo fait ressortir quatre grandes unités :

- un domaine équatorial situé dans le centre du bassin. La chaleur y est constante et les précipitations continues (Pmoy = 1 800 à 2 200 mm), avec des variations saisonnières à peine perceptibles ;
- un domaine tropical humide qui s'étend de part et d'autre du domaine équatorial et se caractérise par une diminution des précipitations annuelles (1 500 à 1 800), une augmentation des amplitudes thermiques et surtout l'apparition d'une saison sèche marquée de 3 à 4 mois (décembre à février au nord, juin à septembre au sud) ;
- un domaine montagnard caractéristique de la bordure orientale du bassin (zone du rift africain). L'altitude entraîne une diminution de la température et une recrudescence des précipitations qui dépend de l'exposition des versants et des formes du relief. Les versants exposés aux vents pluvieux reçoivent d'importantes quantités d'eaux (plus de 2 000 mm) alors que les versants sous le vent et les bassins intramontagnards sont secs ;
- un domaine littoral qui couvre la région des cataractes (cours inférieur du fleuve Congo). Il connaît un déficit de précipitations (inférieures à 1 500 mm) et des températures basses (minima souvent voisins de 12 °C).

1.2.2. Géologie et géomorphologie

Les formations géologiques reconnues sur ce bassin sont de nature et d'origine diverses. On peut les grouper en trois ensembles :

- les formations superficielles d'âge quaternaire représentées par les alluvions sableuses et argileuses de la cuvette congolaise ;
- les formations de couverture d'âge meso et cenozoïque. Ce sont d'importantes séries sédimentaires essentiellement gréseuses et sableuses ;
- 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).

Ces entités géologiques déterminent trois unités géomorphologiques concentriques :

- la basse plaine alluviale occupe le centre du bassin, l'altitude moyenne ne dépasse pas 400 m ;
- la zone de moyen relief que constituent les terrains sédimentaires. Elle juxtapose d'anciens plateaux découpés par le fleuve Congo et ses affluents. L'altitude très variable est comprise entre 500 et 800 m ;
- sur les marges du bassin, les roches dures du socle donnent de hauts reliefs d'altitude moyenne comprise entre 800 et 1 500 m.

1.2.3. Végétation

Deux formations végétales se développent sur les sols issus des principaux ensembles géologiques. La forêt primaire s'étend essentiellement sur les roches métamorphiques et granitiques. Quant aux savanes, elles s'établissent sur les formations schisto-calcaires et grésosableuses. La basse plaine alluviale comporte de nombreuses zones marécageuses couvertes de forêts inondées.

1.2.4. Hydrologie du bassin

Le bassin du Congo (fig. 1a) a une superficie de $3,7 \cdot 10^6$ km². C'est le deuxième bassin du monde après celui de l'Amazonie pour l'importance des apports à l'océan. Le fleuve Congo-Zaïre-Lualaba a une longueur de 4 700 km. La station de mesure de Brazzaville contrôle près de 95 % de la superficie totale du bassin. A cette station, le fleuve a un régime complexe dû aux influences multiples que subit son vaste bassin. Les débits transités sont le résultat du mélange de ses affluents d'origine australe et boréale. Il montre (J.-C. OLIVRY et J.-P. BRICQUET, 1987) :

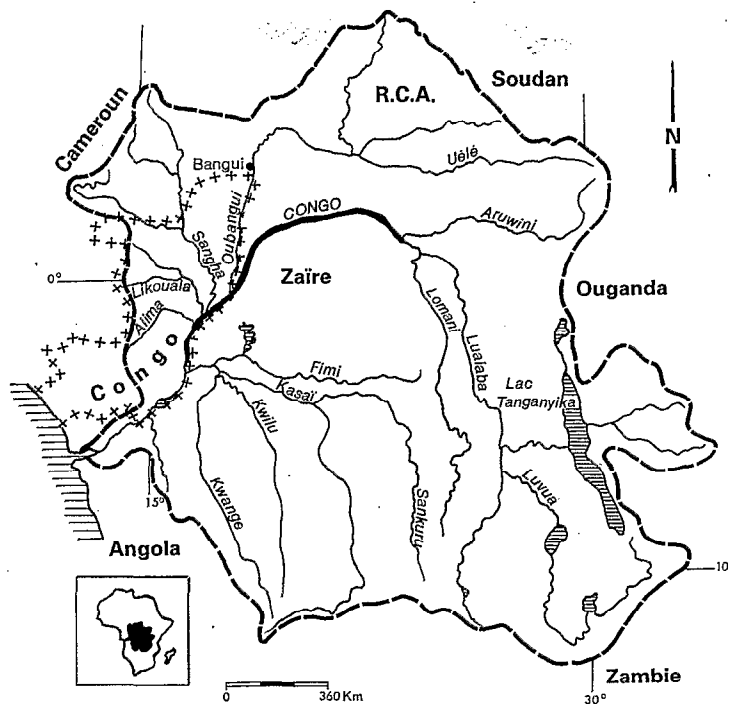


FIG. 1a. — Bassin versant du fleuve Congo.

a. une période de basses eaux de juin à septembre, correspondant aux basses eaux du régime équatorial et à la décrue du régime tropical austral ;

b. une période de très hautes eaux d'octobre à janvier, correspondant aux apports de la partie septentrionale du bassin (Bassin de l'Oubangui) ;

c. une seconde période de basses eaux en février-mars due aux basses eaux de l'hémisphère nord, moins accusée que celle d'août du fait de l'arrivée des hautes eaux du Kasai ;

d. une seconde période de maximum en avril-mai moins importante que celle de décembre, due aux hautes eaux de la partie méridionale du bassin (Kasai et Haut-Zaire).

Les collecteurs secondaires ont un régime simple qui suit le rythme des précipitations (basses eaux en saison sèche et hautes eaux en saison des pluies). Les cours d'eau dont les bassins s'étendent sur des terrains de nature différente, tels que l'Oubangui et la Sangha, accentuent leur irrégularité. D'autres au contraire, telles que les rivières des plateaux batékés, ayant des bassins perméables (Léfini, Kasai, etc.) atténuent leur irrégularité. Neuf stations secondaires de mesure vont être concernées par l'étendue du projet. Il s'agit de (fig. 1b) :

1. Djiri au pont de la nationale n° 2 ;
2. Léfini à Mbouambé ;
3. Nkéni à Gambomà ;
4. Nkomo à Ollombo ;
5. Alima à Tchikapika ;
6. Kouyou à Linnengué ;
7. Likouala-Mossaka à Makoua ;
8. Sangha à Ouesso ;
9. Sangha à Tsotsolo ;
10. Likouala aux herbes à Botouali.

Les caractéristiques principales des stations secondaires sont données dans le tableau I.

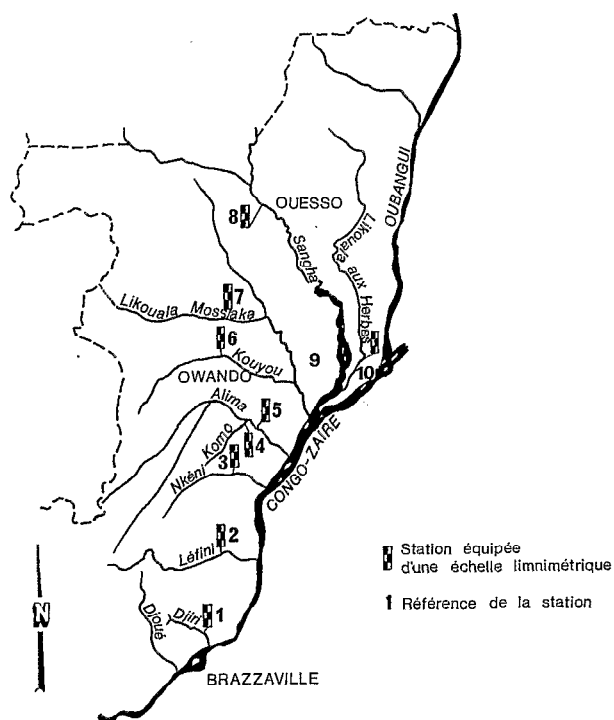


FIG. 1b. — Carte de situation des stations secondaires de mesure.

TABLEAU I
Caractéristiques des stations de mesures secondaires

	1	2	3	4	5	6	8	7	10
Caractéristiques	Djiri au Pont RN2	Léfini à Mbouambé	Nkéné à Gamboma	Nkomo à Ollombo	Alima à Tchikapika	Kouyou à Linnengué	Sangha à Ouessou	Likouala Mossaka à Makoua	Likouala aux-herbes à Botouali
1. HYDROLOGIE									
Superficie en km ²	853	13 500	6 200	1 870	20 070	10 750	158 350	14 060	24 800
Pluviométrie en mm	1 800 (25 ans)	1 917 (1949-1982)	1 855 (1951-1982)	1 823 (1963-1982)	1 878 (1952-1982)	1 754 (1952-1982)	1 600 (1947-1971)	1 739 (1952-1982)	1 630 (1948-1982)
Ecoulement en mm	850	999	1 053	419	931	695	365,8	514	372
Déficit d'écoulement en mm	968	918	802	1 404	947	1 059	1 234,2	1 225	1 258
Débit spécifique en l/s/km ²	27	31,7	33,4	13,3	29,5	22	10,6	16,3	11,8
Coefficient d'écoulement	47 %	52,1	56,8	23 %	49,6 %	39,6 %	22,8 %	29,6 %	22,8 %
Débit moyen en m ³ /s	24,4 (75 - 80)	428	207	24,96	593	237	1 698	229	293
2. GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT	Sables et grès des séries Plateaux batékés et du Stanley-Pool	Sables et grès des séries Plateaux batékés et du Stanley-Pool	Sables et grès des séries Plateaux batékés et du Stanley-Pool	Sables et grès des séries Plateaux batékés et du Stanley-Pool	Sables et grès des séries Plateaux batékés et du Stanley-Pool; alluvions IVaires du Congo	Sables et grès des séries Plateaux batékés et du Stanley-Pool; alluvions IVaires du Congo	Roches cristallines et cristallo-phyllien de la série Sembé-Ouessou	Alluvions IVaires du Congo	Alluvions IVaires du Congo
3. VEGETATION DU BASSIN VERSANT	Savane arbustive	Savane arbustive	Savane arbustive	Savane et forêt galerie	Forêt mésophile et savane	Forêt inondée et steppe marécageuse	Forêt ombrophile	Forêt mésophile et forêt ombrophile	Forêt inondée marais et prairies marécageuses
4. PEDOLOGIE DU BASSIN VERSANT	Sols ferralitiques appauvris	Sols ferralitiques appauvris	Sols ferralitiques appauvris	Sols ferralitiques appauvris	Sols ferralitiques hydromorphes	Sols hydromorphes organiques	Sols ferralitiques	Sols ferralitiques et sols hydromorphes	Sols hydromorphes

2. MÉTHODOLOGIE UTILISÉE DANS LA MESURE DES EXPORTATIONS

2.1. MATIÈRES EN SUSPENSION

Pour la mesure périodique des suspensions, trois sites de prélèvement ont été choisis à des stations hydrométriques suffisamment connues, afin de pouvoir définir les régimes hydrologiques, facteurs déterminants du régime des exportations des matières. Il s'agit de la station principale de Brazzaville sur le fleuve Congo. Le protocole établi pour cette station prévoit une mesure mensuelle dans le couloir sur l'ensemble de la verticale déterminée (à 400 m de la rive droite du Congo dans le couloir de Maluku à l'amont de Brazzaville) et des prélèvements hebdomadaires de surface sur une section plus accessibles en aval de Brazzaville, les concentrations ponctuelles devant être valorisées par corrélations avec les mesures mensuelles. Les deux autres sites de prélèvement se trouvent sur la rivière Sangha (station de Ouesso et station de Tsotsolo). Les prélèvements pour ces deux sites sont réalisés avec l'aide du Service Commun d'Entretien des Voies Navigables. Il s'agit des prélèvements effectués en surface et sans périodicité fixe.

La plupart des résultats proposés pour le Congo ne correspondent pas à des mesures précises des suspensions. Les concentrations ont été le plus souvent déterminées à partir de simples prélèvements de surface. Elles sont souvent extrapolées dans le temps sans qu'une fréquence des prélèvements n'ait été précisée au niveau de la saison ou de l'année. Ceci explique une assez forte dispersion des résultats publiés.

La méthode la plus rigoureuse pour obtenir une estimation du débit de la charge solide consiste à évaluer par prélèvement la concentration C des matières en suspension et la vitesse du courant V en n points de x verticales sur la section transversale du cours d'eau. Par double intégration du produit CV (sur les verticales et sur la largeur de la section), on obtient le débit solide :

$$Q_s = \int_0^L \int_0^P C_i \cdot V_i \cdot dldp$$

équation dans laquelle C_i et V_i sont les données de concentration et de vitesse au point i , l est l'abscisse dans la section, p la profondeur, L la largeur totale dans la section et P la profondeur totale d'une verticale donnée. Le débit solide Q_s permet d'obtenir à partir du débit liquide Q , la concentration moyenne dans la section :

$$C_m = Q_s / Q$$

L'inconvénient de la méthode des « jaugeages complets de débits solides » tient dans la longueur des opérations de terrain puis de laboratoire surtout sur une section comme celle du Congo à Brazzaville qui fait 3 km de largeur et jusqu'à 25 m de profondeur.

Les mesures effectuées par MOLINIER (1979) ont montré une stratification certaine des suspensions sur chaque verticale. Les concentrations étant plus fortes près du fond mais peu de variation sur la largeur en dehors de la proximité immédiate des rives. Sur la base de ces mesures, le protocole retenu pour la station principale de Brazzaville, a consisté à définir une verticale unique dans la section, celle-ci étant réputée représentative de ce qui se passe entre la surface et le fond sur l'ensemble de la section. Cela signifie que la concentration moyenne mesurée sur la verticale

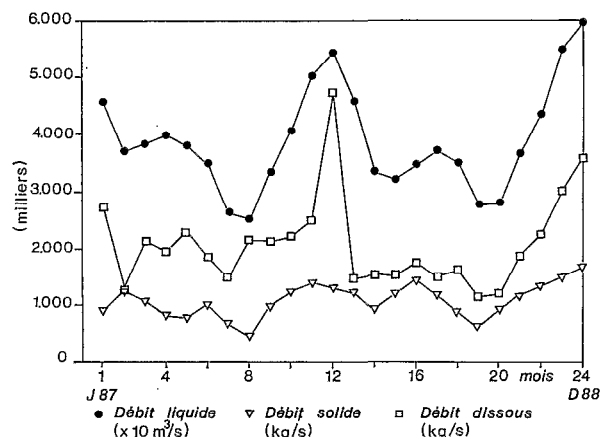


FIG. 2. — Le Congo à Brazzaville Beach.

constitue une bonne approximation de la concentration moyenne vraie de la section. La charge solide est obtenue en effectuant le produit $Q_s = C_m \times Q$, Q étant connu par la relation hauteur-débit de la station.

Le dispositif permet de multiplier les mesures sans charge excessive de travail et en limitant les difficultés inhérentes à des mesures sur des fleuves frontaliers. Sur la verticale retenue on effectue des prélèvements en cinq points pour lesquels on aura mesuré la vitesse du courant (OLIVRY, 1986). La concentration moyenne des suspensions est obtenue par la moyenne arithmétique des concentrations ponctuelles, lesquelles sont pondérées par le rapport K (vitesse ponctuelle au point i par vitesse moyenne de la verticale) :

$$C_m = \frac{1}{5} \sum_1^5 K \cdot C_i$$

ou par intégration de la parabole des $K \cdot C_i$. La vitesse moyenne étant calculée par intégration de la parabole des vitesses mesurées sur la verticale.

Une fois les prélèvements effectués et rapportés au laboratoire, il faut traiter les échantillons de façon à séparer la phase solide de la phase dissoute. Divers protocoles de traitement ont été mis au point selon qu'il s'agit de prélèvements mensuels ou hebdomadaires. Mais la base des traitements est identique dans tous les cas :

Tamissage de l'échantillon à 50 μm , filtration sur filtre acétate de 0,45 μm , centrifugation à 0,1 μm et résidu sec à 105 °C.

2.2. MATIÈRES DISSOUTES

Les mesures pour les paramètres susceptibles d'être modifiés pendant le transport, tels que le Ph, la température, la conductivité, l'alcalinité et l'oxygène dissous, sont faites directement sur le terrain lorsque les conditions le permettent. Autrement, elles sont effectuées immédiatement dès réception des échantillons au laboratoire.

Le protocole ne prévoit pas de conditionnement spécial pour les échantillons d'eau destinés aux analyses chimiques. Les dosages des autres éléments sont réalisés en laboratoire sur l'eau recueillie après centrifugation (coupure à 0,1 μm).

Trois techniques d'analyse sont utilisées:

2.2.1. Titrimétrie

On utilise des « Kits individuels » pour le dosage des bicarbonates. Le titrage est fait manuellement au virage d'un indicateur coloré contenu dans le réactif.

2.2.2. Colorimétrie

Les ions suivants : Cl^- , SO_4^{--} , SiO_4^{4-} , Al^{+++} , NH_4^+ et fer total sont déterminés à l'aide d'un photomètre à filtre permettant des mesures en transmission et en densité optique. Echantillons et étalons sont mélangés à des réactifs formant un complexe spécifique de l'élément dosé. L'absorption de lumière provoquée par le complexe, à une certaine longueur d'onde est transformée en potentiel électrique linéaire par rapport à la concentration.

2.2.3. Spectrophotométrie

Absorption atomique pour les ions Ca^{++} et Mg^{++} et spectrophotométrie de flamme pour Na^+ et K^+ .

Les échantillons analysés étant généralement très peu minéralisés, cela impose des techniques d'analyse très sensibles. Des résultats satisfaisants sont obtenus par la méthode photométrique. Le colorimètre donne également d'assez bons résultats, sauf dans le cas des ions tels que NH_4^+ , Al^{+++} et SO_4^{--} pour lesquels les trop faibles concentrations sont souvent en dehors de la gamme de sensibilité de l'appareil.

Dans tous les cas, les analyses jugées non fiables (déséquilibre ionique supérieur à 5 %) sont systématiquement reprises ou écartées.

3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

3.1. BILAN DES MATIÈRES

Ce bilan est basé sur un échantillonnage mensuel prélevé sur une seule verticale à 400 m de la rive droite du Congo dans le couloir de Maluku à l'amont de Brazzaville. Le tableau n° 2 résume les résultats obtenus.

— La quantité des matières solides a été de $31,2 \cdot 10^6$ tonnes en 1987 contre $36,7 \cdot 10^6$ tonnes en 1988. Ceci correspond à une érosion spécifique de $8,9 \text{ T} \cdot \text{km}^{-2}$ en 1987 et $10,5 \text{ T} \cdot \text{km}^{-2}$ en 1988. En terme de débit, le flux moyen interannuel de matières solides est évalué à $1\,076 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ sur les deux années avec une légère tendance à la hausse en 1988 (15 % de plus qu'en 1987). Les débits solides extrêmes enregistrés pendant cette période sont $1\,653 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ le 15/12/88 et $455 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ le 20/08/87.

— Contrairement au transport solide, l'exportation des matières dissoutes a évolué dans le sens inverse avec $72,4 \cdot 10^6$ tonnes en 1987 contre seulement $59 \cdot 10^6$ tonnes l'année suivante, ce qui représente une baisse des exportations d'environ 22 % en 1988. Par ailleurs, le bilan fait ressortir une prépondérance du transport dissous comparé au transport solide (environ deux fois plus).

Remarque

Ces valeurs de matières dissoutes (C dis. du tableau II) peuvent être trop élevées car elles sont le résultat de la détermination d'un résidu sec à 105°C d'une eau ultracentrifugée intégrant donc la matière organique dissoute.

TABLEAU II
Bilan des exportations des matières sur le bassin du Congo à Brazzaville (janvier 1987-décembre 1988)

Réf.	V moy. m/s	Q jour. m^3/s	C sab. mg/l	C mes. mg/l	C dis. mg/l	solide kg/s	dissous kg/s
2 CNG	1,54	45700	3,30	16,59	60	908,9	2742,0
3 CNG	1,26	37000	4,70	29,15	35	1252,3	1295,0
4 CNG	1,09	38400	3,19	24,36	56	1058,1	2150,4
5 CNG	1,14	39800	2,90	17,95	49	829,9	1950,2
6 CNG	1,28	38100	5,39	15,33	61	789,3	2324,1
7 CNG	1,13	35000	3,40	25,14	53	998,8	1855,0
8 CNG	0,98	26600	3,41	22,33	56	684,7	1489,6
9 CNG	0,64	25400	1,99	15,92	85	455,1	2159,0
10 CNG	0,91	33400	3,20	26,07	64	977,3	2137,6
11 CNG	1,03	40600	2,59	27,95	55	1240,2	2233,0
12 CNG	1,56	50400	4,10	23,66	50	1399,0	2520,0
13 CNG	1,59	54400	2,29	21,54	87	1296,4	4732,8
14 CNG	1,46	45800	5,41	21,27	32	1222,2	1465,6
15 CNG	1,40	33500	4,30	22,92	46	911,9	1541,0
16 CNG	1,23	32100	7,02	30,38	47	1200,6	1508,7
17 CNG	1,25	34700	6,02	35,18	50	1429,3	1735,0
18 CNG	1,27	37100	5,66	25,58	40	1159,0	1484,0
19 CNG	1,09	35000	4,41	20,46	46	870,5	1610,0
20 CNG	1,09	27800	3,30	19,21	41	625,7	1139,8
21 CNG	0,85	28100	5,09	27,26	42	909,2	1180,2
22 CNG	1,20	36700	4,91	26,46	51	1151,4	1871,7
23 CNG	1,30	43500	9,38	21,14	52	1327,7	2262,0
24 CNG	1,67	54900	7,29	19,61	55	1476,6	3019,5
25 CNG	1,62	59900	9,75	17,85	60	1653,0	3594,0
Moyenne	1,23	38887,5	4,70	23,05	53,04	1076,1	2083,3
Ec. type	0,25	9110,5	2,04	4,94	12,68	292,4	801,9
C.V.	0,20	0,23	0,4	0,21	0,23	0,27	0,38

3.2. COMPOSITION CHIMIQUE DES MATIÈRES DISSOUTES

3.2.1. Caractéristiques physico-chimiques

Les valeurs des paramètres mesurés (pH, température et conductivité) (tab. III) sont en accord avec celles publiées par nos prédécesseurs (MOLINIER 1979, KINGA MOUZE0 1983 et BONGO PASSI 1984).

— La température de l'eau n'a été relevée qu'au cours de la première année. Elle est restée pratiquement constante durant 1987, voisine de 29°C . Toutefois, on a observé un fléchissement entre juin et septembre consécutif probablement au rafraîchissement de l'air à cette période de l'année.

— Les fluctuations du pH sont plus prononcées (coefficient de variation égal à 11 %). Les valeurs extrêmes enregistrées sont 5 le 14/01/1987 et 7,69 le 27/07/1987. Naturellement, on passe des pH neutres ou légèrement basiques pendant l'étiage aux pH acides en période de hautes eaux. Le pH traduit assez fidèlement l'évolution des faciès hydro-chimiques, puisque ses variations sont assez bien corrélées avec celles des bicarbonates (coefficient de corrélation = 0,61). Il semblerait qu'il soit un bon indicateur de l'origine des eaux.

— La conductivité moyenne (32,6 micro-siemens) indique que les eaux du Congo à Brazzaville sont très pauvres en sels minéraux dissous. Les variations sont faibles (CV = 18 %) et elles semblent se faire en fonction inverse du débit liquide.

TABLEAU III
Caractéristiques physico-chimiques des eaux du Congo à Brazzaville (janvier 1987 à décembre 1988)

Réf.	Dates	t°	Cond. à 25°	PH
2 CNG	14/01/87	29,8	26,05	5,00
3 CNG	13/02/87	29,1	28,27	6,13
4 CNG	14/03/87	30,0	32,37	6,84
5 CNG	14/14/87	29,6	37,69	6,93
6 CNG	16/05/87	30,1	33,70	7,03
7 CNG	16/06/87	28,5	36,47	6,85
8 CNG	27/07/87	27,3	35,58	7,69
9 CNG	20/08/87	28,0	43,12	7,50
10 CNG	15/09/87	28,8	39,78	5,36
11 CNG	13/10/87	29,3	30,14	6,00
12 CNG	15/11/87	28,7	32,50	5,46
13 CNG	16/12/87	28,5	36,80	5,20
14 CNG	16/01/88	29,3	29,70	6,35
15 CNG	16/02/88		19,80	7,20
16 CNG	16/03/88		35,00	6,67
17 CNG	15/04/88		38,37	7,04
18 CNG	16/05/88		20,19	6,72
19 CNG	14/06/88		35,69	6,88
20 CNG	15/07/88		36,63	7,50
21 CNG	18/08/88		39,60	7,65
22 CNG	15/09/88		34,65	7,04
23 CNG	14/10/88		29,70	6,93
24 CNG	17/11/88		29,70	5,73
25 CNG	15/12/88		22,77	6,67
Moyenne		29,0	32,67	6,59
Ecart-type		0,78	6,10	0,78
Coef. de variation		0,02	0,18	0,11

3.2.2. Minéralisation

Nous publions les résultats de 182 dosages retenus en raison de leur fiabilité (tab. IV). Tous les échantillons analysés sont faiblement minéralisés. Les résultats ont été comparés avec ceux obtenus par DERONDE et SYMOENS (1980) et MOLLINIER (1979) sur la même section du fleuve. On a relevé une bonne concordance des valeurs, excepté la silice pour

TABLEAU IV
Composition chimique des matières dissoutes. Concentration en mg/l

Réf.	Silice	Fer	Ca++	Mg++	Na+	K+	HC03-	Cl-
2 CNG	4,60		2,60	1,36	1,42	0,18	12,81	4,30
3 CNG	5,96		3,60	1,48	2,00	0,62	17,08	4,90
4 CNG	7,60		3,60	1,62	2,34	0,62	17,08	5,30
5 CNG	5,60		3,40	1,20	3,00	2,00	19,52	4,90
6 CNG	4,40		3,30	1,30	3,30	2,00	19,52	4,90
7 CNG	6,00		3,20	2,50	3,65	1,70	19,52	4,90
8 CNG	6,00		4,20	2,60	3,40	1,90	23,79	4,20
9 CNG	8,80		3,80	2,32	2,14	0,62	23,79	4,90
10 CNG	2,24		3,60	2,40	1,76	1,14	21,35	5,30
11 CNG	5,60	0,15	1,95	2,50	3,65	1,30	15,25	4,90
12 CNG	5,72	0,24	1,90	2,60	3,30	1,40	10,37	5,30
13 CNG	5,64	0,60	2,00	2,40	2,70	1,45	10,37	5,00
14 CNG	4,92	0,35	2,45	2,70	2,60	1,75	19,52	3,60
15 CNG	4,92	0,30	1,70	1,72	3,16	1,52	15,25	3,50
16 CNG	6,00	0,12	1,96	1,73	1,75	2,58	14,40	4,20
17 CNG	5,60	0,10	3,42	1,78	2,00	2,50	19,52	3,00
18 CNG	6,80	0,12	2,72	1,90	1,51	2,58	18,30	2,90
19 CNG	5,60	0,04	3,42	2,08	1,55	2,82	24,40	3,30
20 CNG	5,60	0,03	3,13	2,34	2,03	1,36	20,13	3,20
21 CNG	4,80	0,10	3,15	2,40	2,06	1,39	20,13	3,20
22 CNG	5,60	0,15	2,82	2,11	1,80	1,30	15,86	3,10
23 CNG	5,80	0,24	2,47	1,68	1,37	1,04	14,03	3,00
24 CNG	5,60	0,40	2,31	0,81	1,64	1,04	10,98	4,00
25 CNG	5,80		1,94	1,18	1,22	1,04	12,20	3,50
Moyenne	5,63	0,21	2,86	1,94	2,30	1,49	17,29	4,15
Ecart-type	1,17	0,15	0,71	0,54	0,77	0,68	4,19	0,88
Coef. de variation	0,20	0,71	0,24	0,27	0,33	0,45	0,24	0,21

laquelle on a trouvé des teneurs nettement moins élevées. L'explication évidente est l'utilisation des techniques d'analyses qui sont différentes. En ce qui nous concerne, on dose exclusivement la fraction dissoute (acide silicique) quoi qu'il en soit nos valeurs sont plus proches de DERONDÉ, comparées à MOLINIER.

3.3. VARIATIONS SAISONNIÈRES DES PARAMÈTRES

Une analyse statistique des données a été faite en vue d'étudier la dispersion des valeurs, également de dégager des corrélations entre divers paramètres. Par ailleurs, nous avons tracé dans la figure 3, les courbes de variation des différents paramètres en fonction du temps. Sur chacun de ces graphiques, nous avons également porté la variation des débits liquides. L'observation des courbes nous permet d'avoir un avis plus nuancé sur les phénomènes. De cette analyse il ressort que l'amplitude des variations des différents paramètres est faible (C V toujours inférieure à 50 %). Ces faibles variations sont à relier à la régularité des exportations du fleuve qui draine des reliefs anciens. Les fluctuations se font autour de valeurs de concentration à peu près constantes. Cela indique une production quasi-permanente du collecteur principal. Les collecteurs de second ordre (Kasaï, Oubangui, etc.) induisent des variations périodiques liées à la prépondérance des apports de l'un ou de l'autre. Les coefficients de corrélation ont été calculés pour un grand nombre de paramètres pris deux à deux (tab. V, VI, VII). L'examen des résultats apporte deux principales informations :

TABLEAU V
Valeur du coefficient de corrélation entre les débits liquides du jour du prélèvement et les différents paramètres physiques et chimiques

Variabes	Nombre de couples	Coefficient de corrélation
Débit du jour et PH	24	- 0,65
Débit du jour et Conductivité	24	- 0,45
Débit du jour et Température	13	0,39
Débit du jour et Calcium	24	- 0,62
Débit du jour et Magnésium	24	- 0,37
Débit du jour et Sodium	24	- 0,14
Débit du jour et Potassium	24	- 0,23
Débit du jour et Bicarbonates	24	- 0,78
Débit du jour et Chlorures	24	- 0,08
Débit du jour et Silice	24	- 0,11
Débit du jour et Fer total	14	0,47
Débit du jour et Sable	24	0,24
Débit du jour et Matière en suspension	24	0,26
Débit du jour et Matière dissoute	24	0,17

TABLEAU VI
Valeur du coefficient de corrélation entre les vitesses moyennes et les concentrations de matières exportées

Variabes	Nombre de couples	Coefficient de corrélation
Vitesse moyenne et concentration des sables	24	0,26
Vitesse moyenne et concentration des MES	24	- 0,15
Vitesse moyenne et concentration des matières dissoutes	24	- 0,083

TABLEAU VII
Valeur du coefficient entre différents paramètres pris deux à deux

Variabes	Nombre de couples	Coefficient de corrélation
Sodium et Chlorure	24	0,52
Calcium et Bicarbonates	24	0,81
Calcium et Magnésium	24	0,10
Magnésium et Bicarbonates	24	0,34
PH et Silice	24	0,37
PH et Fer total	14	- 0,16
PH et Bicarbonates	24	0,61
PH et Calcium	24	0,42
PH et Conductivité	24	0,20
Conductivité et Fer	14	- 0,44
Conductivité et Bicarbonates	24	0,48
Conductivité et Silice	24	0,02
Transport solide et Transport dissous	24	0,40

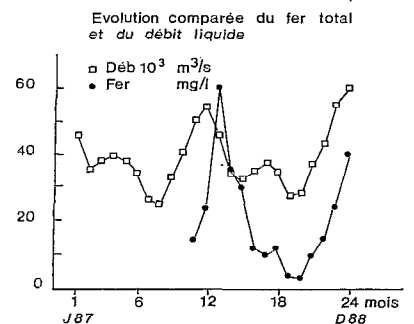
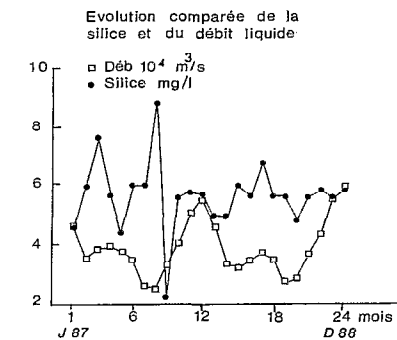
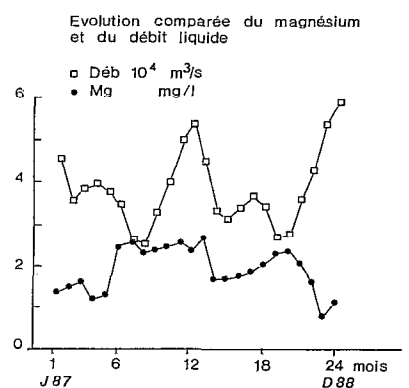
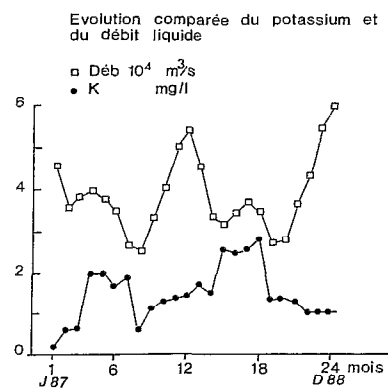
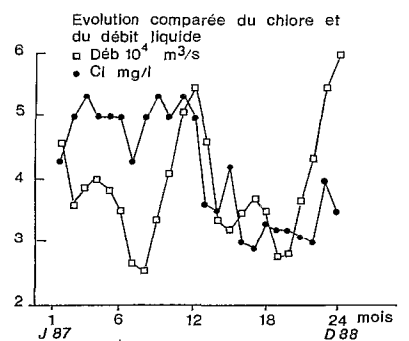
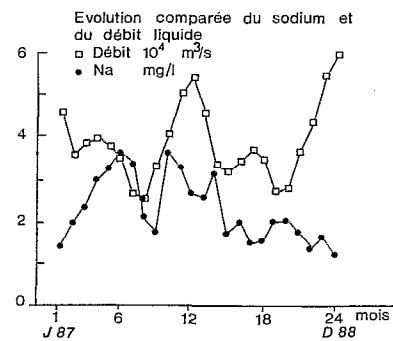
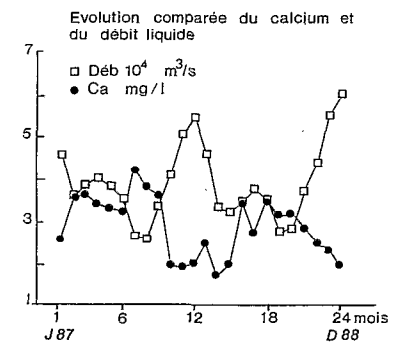
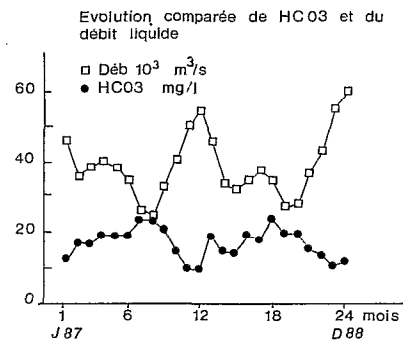
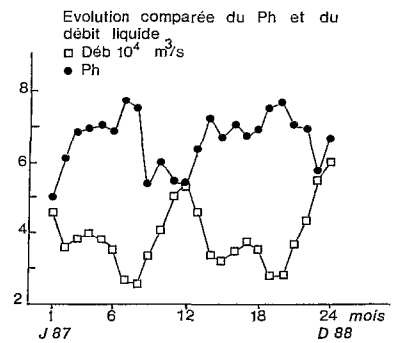
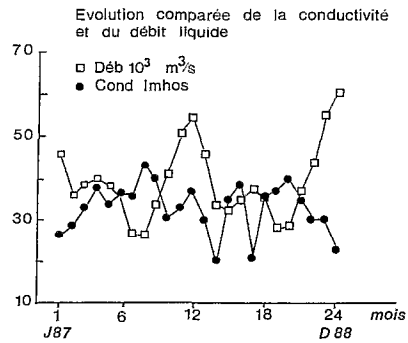


FIG. 3a, b, c, d, e. — Variations des paramètres physiques, chimiques et du débit du fleuve Congo à Brazzaville (janvier 87 à décembre 88).

1. Deux ions seulement sont bien reliés entre eux (Ca^{++} et HCO_3^-). Ce lien se traduit par un faciès hydrochimique bicarbonaté calcique qui est resté pratiquement inchangé pendant la durée des prélèvements. L'explication sur les mécanismes d'acquisition de ce faciès semble très délicate et il serait indispensable comme le préconisait MOLINIER en 1979, de poursuivre les analyses sur une période suffisamment longue afin de pouvoir étudier séparément les apports de chaque période en fonction du mode d'alimentation du fleuve.

2. En ce qui concerne la relation entre débits liquides et les concentrations en éléments exportés, on constate qu'à l'exception des ions Ca^{++} et HCO_3^- qui eux varient en fonction inverse du débit (coefficients de corrélation égaux à $-0,62$ et $-0,78$), il n'existe aucune corrélation apparente entre le volume des apports liquides et la teneur des différents éléments. Le bassin du Congo étant en majorité constitué de reliefs anciens où l'érosion est devenue moins active, ses variations chimiques devraient être essentiellement gouvernées par le phénomène naturel de dilution des eaux en période de crue. Or le diagramme triangulaire (fig. 4) ne fait pas ressortir de manière très distincte ce phénomène de dilution. Par ailleurs, le même diagramme ne montre pas de regroupement de faciès pouvant indiquer les origines des diverses eaux. L'absence de relation bien précise entre les débits liquides et les concentrations des apports dissous pourrait s'expliquer par le mode d'alimentation extrêmement complexe du fleuve dont les concentrations seraient le résultat d'une moyenne naturelle spatio-temporelle.

4. CONCLUSION

L'on peut dire que des résultats importants ont été acquis depuis le lancement de ce programme. Certains d'entre eux suscitent d'ores et déjà un certain nombre d'interrogations, notamment l'étude hydrochimique des prélèvements effectués à Brazzaville montre qu'en ce qui concerne les matières dissoutes il n'existe pas de corrélation évidente entre les teneurs des divers éléments dosés et les débits liquides. Et pourtant, il est certain que l'importance des apports est liée à la quantité d'eau transitée. Cette absence de relation précise entre les teneurs et les débits serait à rattacher nous semble-t-il au mode d'alimentation très complexe du fleuve à la station de Brazzaville. Afin de vérifier les différentes hypothèses actuellement émises, nous avons entrepris depuis décembre 1988 de diversifier les points de mesures en allant vers l'amont (tab I : caractéristiques des stations secondaires). Cela permettra d'étudier séparément les apports des principaux tributaires et définir ainsi leur contribution saisonnière et annuelle aux transports globaux.

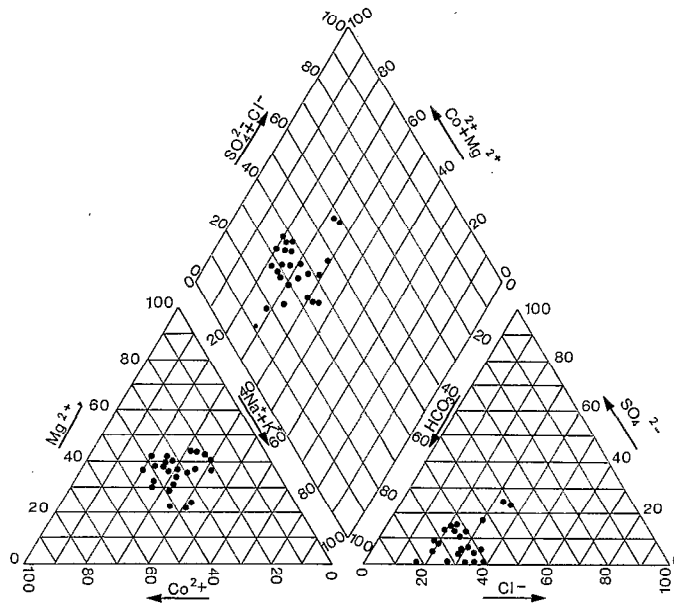


FIG. 4. — Variations chimiques du Congo à Brazzaville. De janvier 87 à décembre 88.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 6 février 1990

BIBLIOGRAPHIE

- BONGO-PASSI (G.), 1984. — Contribution à l'étude minéralogique, géochimique de l'éventail détritique profond du fleuve Congo de 1 000 à 4 000 m de fond. Thèse UPST, 204 pp.
- BRICQUET (J.-P.), 1987. — Mesure des matières en suspension : le Congo à Brazzaville. Rapp. ORSTOM, Brazzaville, 13 pp. *Multigr.*
- CAMAIL (M.) et al., 1987. — Analyses chimiques des eaux du fleuve Niger à Niamey. *Hydrol. Continent*, 2 (2), 87-99.
- CLERGAYT (A.), 1986. — Composition des eaux des rivières du Congo. Influence des facteurs géologiques et climatiques. *Cen. Bel. Etu. Doc. Eaux*, V. 31, 26-31.
- DERONDE (L.), SYMOENS (J.-J.), 1980. — L'exportation des éléments dominants du bassin du fleuve du Zaïre : une réévaluation. *Annls. Limnol.*, 16 (2) : 183-188.
- GAC (J.-Y.), 1980. — Géochimie du bassin du lac Tchad. *Trav. et Doc. de l'ORSTOM*, n° 123, 251 pp.
- GAC (J.-Y.) et al. (1987). — Géochimie des eaux du Fouta-Djalou. Flux dissous et particulaires en Haute Gambie. (Kedougou et Gouloumbou.) Etude ORSTOM, 102 p + annexes, *multigr.*
- KINGA MOUZE, 1983. — Transport particulaire actuel du fleuve Congo et quelques affluents. Thèse Doc. Univ. Perpignan, 262 pp.
- LELONG (F.), et al., 1979. — La qualité de l'eau de la rivière Eure. Son évolution dans le temps et dans l'espace. *Bull. du BRGM*, section III, n° 1 : 77-94.
- LENOIR (F.), MATHIEU (P.), MONNET (C.), 1976. — Bilan d'érosion chimique et mécanique sur un bassin versant de la Côte-d'Ivoire (bassin du Bandama). CR 3^e conférence de géologie africaine. Khartoum (Soudan) 3-7 janvier 1976.
- MANGIN (J.-P.), LECOLLE (J.), MATHIEU (P.), 1966. — Géochimie des eaux naturelles. Le transport en solution par un fleuve de Côte-d'Ivoire *CR Acad. Sci.*, Paris, Fr. 262 : 2204-2206.
- MEYBECK (M.), 1984. — Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse doc. d'Etat, n° 84-35, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris 6.
- MOLINIER (M.), 1976. — Qualité des eaux de surface en zone forestière équatoriale de Côte-d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, XIII, 1 : 7-36.
- MOLINIER (M.), 1979. — Note sur les débits et la qualité des eaux du Congo à Brazzaville. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, XVI, 1 : 55-66.
- OLIVRY (J.C.), 1977. — Transports solides au Cameroun. In « Erosion and solid matter transport in inland waters », Symp. de Paris, juillet 1977. IAHS, publ. n° 122, 134-141.
- OLIVRY (J.C.), 1986. — Opération « Transports de matières sur le bassin du fleuve Congo ». Rapp. ORSTOM, Brazzaville, 45 pp. *multigr.*
- OLIVRY (J.-C.), BRICQUET (J.-P.) et al., 1988. — Transport de matières sur les grands fleuves des régions intertropicales. Les premiers résultats des mesures de flux particulaires sur le bassin du fleuve Congo. In « Sediment Budgets », Symp. de Porto Alegre. décembre 1988, IAHS, publ. n° 174, p. 509-521.
- SIGHA (K.), 1987. — Notes sur quelques programmes de recherche en hydrologie au centre ORSTOM de Brazzaville. Mém. élève, ORSTOM, Brazzaville, 128 p, *multigr.*
- SIGHA (K.), BRICQUET (J.-P.), 1987. — Un exemple méthodologique de la mesure de flux particulaires et dissous des fleuves d'Afrique Centrale : transports de matières sur le Congo à Brazzaville. Premiers résultats 1986-1987. ORSTOM-INSU, Montpellier, 25 p. *multigr.*