

TRANSPORTS EN SOLUTION ET EN SUSPENSION PAR LE BASSIN DU FLEUVE CONGO. BILAN A BRAZZAVILLE EN 1987

J-Pierre BRICQUET
ORSTOM UR 2A
BP 181, BRAZZAVILLE, R.P. CONGO

RESUME :

Un grand programme scientifique étudie les variations des flux de matières particulaires et dissoutes du Bassin du Congo à dominante forestière équatoriale et cherche à caractériser son hydrologie ainsi que l'érosion mécanique et biogéochimique. Les mesures sont faites à Brazzaville et les flux sont évalués sur un échantillonnage représentatif dans la section et dans le temps. Les résultats de l'année 1987 aboutissent à un bilan de :

1.220 Milliards de m³
31,2 Millions de Tonnes pour les Suspensions
72,7 Millions de Tonnes pour le Dissous

INTRODUCTION

L'étude du bassin du fleuve Congo à Brazzaville a débuté en octobre 1986 par la volonté commune de l'ORSTOM et de l'INSU dans le cadre de l'opération "Grands Bassins Fluviaux" du programme "PIRAT". Il s'agit, par la mesure systématique des matières dissoutes et particulaires du fleuve et de ses affluents, d'expliquer et de quantifier les phénomènes actuels et en particulier le fonctionnement des grands écosystèmes forestiers tropicaux.

A l'exception des mesures effectuées par GIRESSSE de 1971 à 1976 et de celles de KINGA-MOUZEO en 1982 (une trentaine de prélèvements), la géochimie des eaux du Congo était peu étudiée et on ne disposait alors d'aucune série qui permette d'établir des bilans saisonniers et annuels précis des flux de matières. L'originalité du programme tient d'une part dans le protocole de mesures permettant une estimation plus rigoureuse des concentrations d'autre part dans ce suivi de la variabilité saisonnière et interannuelle, suivi suffisamment long pour corrélérer le régime des flux de matières aux régimes hydrologiques.

I LE BASSIN DU CONGO ET SON HYDROLOGIE

1 Présentation du Bassin Versant

Avec une superficie de 3.700.000 km², le bassin du Congo est le second mondial après celui de l'Amazone ; il occupe également le 2^{ème} rang après l'Amazone pour l'importance de ses apports à l'océan. Avec une longueur de 4.700 km, le Congo-Zaïre draine une des plus grandes forêts tropicales, située de part et d'autre de l'Equateur (Fig 1). La forêt dense et humide occupe 50 % du bassin alors que les bordures Nord et la partie Sud du bassin laissent la place à des forêts plus claires, savanes boisées et forêts galeries.

Une esquisse géologique montre que le bassin du Congo est essentiellement composé de trois types de roches :

- Le complexe de base précambrien constitué de roches cristallines et métamorphiques ;
- Les roches calcaires et dolomitiques du Précambrien supérieur ;
- Les roches sableuses du Mésozoïque dans la partie centrale du bassin avec les séries gréseuses du Kasai et les sables des Plateaux Batékés.

Le bassin versant du Congo présente une grande variété de sols qui est liée à la diversité des conditions de développement (terrains géologiques, topographie, climat...). Cependant, l'altération du type ferrallitique est prédominante, ces sols occupant environ 90 % de la superficie du bassin. On observe également des sols hydromorphes ainsi que des podzols.

2 Hydrologie du Congo

La station hydrologique de référence est celle de Brazzaville; elle contrôle un bassin de 3.475.000 km². Calculé sur 85 ans (1903-1987), le module interannuel est de 40.800 m³/s, ce qui représente un débit spécifique de 11,7 l/s/km² et un volume exporté moyen annuel de 1.290 milliards de m³. La lame d'eau ainsi écoulée est de 370 mm ce qui, avec une précipitation moyenne de 1.600 mm, donne un coefficient d'écoulement de 23 %. Malgré des apports atmosphériques généreux, ce coefficient est faible à cause d'une évapotranspiration forte, favorisée par la vaste partie forestière du bassin, et d'une infiltration importante contrôlée par les parties sableuses du bassin.

Le régime interannuel est très régulier puisque le rapport entre les modules extrêmes (56.000 m³/s en 1961/62 et 33.500 m³/s en 1913/14) n'est que de 1,67. Cette régularité s'observe également pour les variations saisonnières puisque le rapport débit maximal mensuel/débit minimal mensuel est seulement de 1,74 (57.200 m³/s en, décembre et 32.800 m³/s en août). Les valeurs extrêmes relevées sont les suivantes :

- 22.000 m³/s le 20 Juillet 1905
- 76.500 m³/s le 27 Décembre 1961

Cette régularité annuelle et interannuelle du Congo est essentiellement due à la situation du bassin de part et d'autre de l'Équateur. Le régime du Congo à Brazzaville (Fig 2), dont les débits sont les résultats du mélange de ses affluents d'origine australe ou boréale, montre :

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 ;

d) une deuxième période de hautes-eaux en Avril-Mai, moins importante que celle de Décembre, due aux apports de la partie méridionale du bassin (Bassin du Kasai et Haut-Zaire).

Ainsi l'ajustement global du régime du fleuve au rythme pluviométrique équatorial tient davantage aux temps de propagation des crues d'origine différente. La complémentarité des cours du Kasai, du Congo à Kisangani et de l'Oubangui explique le débit soutenu et régulier du fleuve à Brazzaville.

II METHODOLOGIE

1 Protocole

La plupart des résultats proposés pour le Congo ne correspond pas à des mesures précises des suspensions. Les valeurs ont été le plus souvent déterminées à partir d'échantillons de surface, ponctuels et sans fréquence de prélèvements précise au cours de l'année. Cela amène une grande hétérogénéité des concentrations publiées.

La connaissance exacte du débit solide d'une rivière peut être établie par des "jaugeages complets de débits solides", mais cette méthode est peu usitée car longue tant sur le terrain qu'au laboratoire surtout pour le Congo qui fait 3 kilomètres de largeur et jusqu'à 25 mètres de profondeur. Les travaux effectués par MOLINIER et col. en 1979 ont montré que les concentrations variaient peu sur la section excepté à proximité des berges. Sur la base de ces observations, le protocole retenu 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. La concentration moyenne mesurée sur la verticale constitue une bonne évaluation de la concentration moyenne vraie de la section, la charge solide étant obtenue en effectuant le produit $Q_s = C_m * Q$, Q étant connu par la relation hauteur-débit de la station.

Sur la verticale située à 400 mètres de la rive droite du Congo, dans le couloir de Maluku à l'amont de Brazzaville, on effectue des prélèvements en 5 points pour lesquels on aura mesuré la vitesse du courant. La concentration moyenne des suspensions est obtenue par la moyenne arithmétique de chaque résultat ponctuel, pondéré par le rapport K vitesse ponctuelle/vitesse moyenne de la verticale :

ou par intégration de la parabole des $K C_i$.

Le protocole retenu propose d'effectuer une mesure mensuelle dans le Couloir sur l'ensemble de la verticale déterminée et des prélèvements hebdomadaires de surface sur une section plus accessible, ces concentrations ponctuelles devant être valorisées par corrélation avec les mesures mensuelles. En définitive, la méthodologie utilisée suppose un contrôle des concentrations des suspensions dans l'espace (section et verticale) et dans le temps (fréquence des prélèvements).

Le protocole suppose également de collecter suffisamment de matériau pour analyses dans les différents laboratoires associés au programme. C'est donc un minimum de 200 litres qui doit être prélevé pour chaque échantillon mensuel.

2 Appareillage

Pour répondre aux impératifs exprimés par les protocoles, il a fallu mettre au point un appareillage répondant à nos besoins : grande capacité de prélèvement (20 à 25 litres), bonne navigabilité dans le courant, poids de l'ensemble assez important pour "descendre" la verticale dans une vitesse de courant assez élevée (1,5 à 2 m/s), captage de l'échantillon le plus instantané possible. Dans cette idée, nous avons repris le principe de la sonde de Collet et de la bouteille océanographique.

Il s'agit donc d'un corps en P.V.C. de 25 cm de diamètre et de 65 cm de long donnant ainsi un cylindre de 24 litres. Il est équipé de deux clapets à joints toriques internes assurant de la sorte une étanchéité parfaite. Ces clapets, de 9 cm de diamètre, sont reliés entre eux par un fort tendeur et un système de commande permet de maintenir levés ces clapets. On déclenche la fermeture des clapets depuis la surface. Un bouchon de vidange est placé sur la bouteille. Le préleveur est fixé sur un bâti lesté et profilé, équipé d'une dérive et supportant également le système de déclenchement. L'ensemble bâti-préleveur pèse 65 kilos à vide.

Au moment de prélever, l'appareil est descendu de la même façon qu'un saumon de jaugeage au bout d'un treuil, le préleveur étant ouvert à ses deux extrémités et les clapets retenus par le crochet. Lorsque la profondeur voulue est atteinte, il suffit de déclencher la fermeture des clapets en libérant le crochet pour échantillonner une tranche d'eau sans altération du champ de vitesses.

3 Protocole de traitement

Une fois les prélèvements effectués et rapportés au laboratoire, il faut traiter ces échantillons de façon à séparer la phase solide de la phase dissoute. Divers protocoles de traitements 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 : tamisage de l'échantillon à 50 μm , filtration sur filtre acétate à 0,45 μm , centrifugation à 0,1 μm et résidu sec. Les protocoles détaillés sont indiqués en annexe.

III RESULTATS

1 Bilan annuel

Les résultats des mesures effectuées depuis le mois de Janvier 1987 sont présentés dans le tableau I en annexe. On y trouvera les valeurs des concentrations des sables, des matières en suspension et des matières dissoutes ainsi que le débit du jour de prélèvement. Le tableau II donne les débits liquides et les débits de matières dissoutes et solides, ces dernières étant la somme des sables et des M.E.S. car les sables considérés ont été prélevés en suspension sur l'ensemble de la verticale. Les matières dissoutes sont le résultat d'un résidu sec à 105 °C à l'étuve. Enfin le tableau III donne les débits moyens mensuels et les tonnages mensuels exportés.

Le bilan des exportations en 1987 s'établit ainsi :

31,2 millions de tonnes pour les Matières en Suspension

72,7 millions de tonnes pour les Matières Dissoutes

les apports liquides totalisant pour leur part 1.220 Milliards de m³. La dégradation spécifique est respectivement de 8,98 T.km².an pour les suspensions et de 20,92 T.km².an pour les matières dissoutes..

Les variations saisonnières des concentrations sont reproduites pour l'année 1987 dans la figure 3. On remarque rapidement qu'il n'y a pas de cycle véritable et cela semble exclure l'observation d'un cycle bien défini comme le signalait KINGA-MOUZEO (1986). Sur l'année 1987, l'amplitude des concentrations n'a pas dépassé 15 mg/l et le rapport des débits extrêmes est à peine supérieur à 2. Cela laisse supposer qu'il n'y a jamais arrêt général de la production de sédiments.

La figure 4 montre les variations des exportations de matières dissoutes comparées à celles des suspensions. Le rapport des suspensions sur la charge totale est de 30 %. Cela peut s'expliquer par la production globale de matière organique qui est maximale au niveau de la grande forêt congolaise. Ainsi le pic observé dans la courbe des charges dissoutes, au moment de la crue maximale du Congo, correspond-il probablement au rinçage de la Cuvette congolaise riche de solutés organiques.

2 Variations hebdomadaires et mensuelles

Depuis la mi-novembre 1987 ont débuté des prélèvements hebdomadaires à l'aval de Brazzaville, ceci pour affiner le suivi des variations des flux de matières. Les résultats de ces mesures sont reportés dans le tableau IV. Il semble que ces mesures concordent avec les prélèvements mensuels tant au niveau des suspensions que des matières dissoutes (Erreur probable de pesée des résidus secs pour les 10/BAD/88 à 13/BAD/88).

La concordance des résultats mensuels et hebdomadaires paraît assez significative pour penser qu'un suivi mensuel serait suffisant pour évaluer correctement les exportations du Congo, mais cette corrélation n'a été faite que sur peu d'échantillons.

S'il ne paraît pas se dégager de rythme précis des oscillations des concentrations, on remarque quand même l'apparition de deux maximums pendant les phases de montée des deux pointes de crues.

CONCLUSION

Ces premiers résultats obtenus sur le Congo montre une dégradation spécifique nettement plus faible pour l'année 1987 que les résultats précédemment publiés : (en T.km².an) : 13,4 (DEVROEY,1941), 20 (NEDECO.1959), 17,5 (CORBEL,1964), 9 (GIBBS,1967), 19,4 (STRAKOV,1967), 14,4 (LEEDEN, 1975), 13,2 (MEYBECK,1976), 10 à 11,5 (MOLINIER,1979). Mais comme il a déjà été dit, ces résultats sont souvent issus de mesures ponctuelles.

Par contre les 72,7 millions de tonnes de charge dissoute sont dans les fortes valeurs indiquées par la bibliographie mais ils incluent HCO₃.

Le Congo, s'il est important par ses apports hydriques à l'océan, l'est donc également pour ses exportations de matières : 40 % de la charge dissoute du continent africain mais 7 % de la charge en suspension.

Toutes ces mesures entreprises doivent être poursuivies assez longtemps pour établir un modèle qui permettrait de reconstituer une chronique des flux particulières à partir des débits. Il faut pour cela mieux appréhender les systèmes homogènes amont (Kasaï, Haut-Zaire, Cuvette congolaise) par le développement de mesures identiques à celles effectuées à Brazzaville ou Bangui et par des analyses fines susceptibles d'identifier l'origine des mélanges transitant à l'exutoire du bassin.

BIBLIOGRAPHIE

BRICQUET, J.P. (1987) Mesure des matières en suspension : le Congo à Brazzaville.

ORSTOM. Brazzaville.

CARRE, P. (1972) Quelques aspects du régime des apports fluviaux de matériaux solides en suspension vers le Tchad. *Cah. ORSTOM, Hydrol., Vol. IX, n°1, p. 19-45.*

CORBEL, J. (1964) L'érosion terrestre Etude quantitative *Ann. Géographie* 73-398 p. 385-412.

DEVROEY, E.J. (1941) Le bassin hydrographique congolais *Inst. Roy Belge. Sel. Sc. Techn. Mém. Coll. B°, III (3) 3-160.*

EISMA, D., DALF, J. & VAN DER GAAST S.J. (1978) Suspended matter in the Zaire estuary and the adjacent Atlantic ocean. *Neth. J. of Sea Res., 12 (3/4) 382-406.*

GAC, J.Y. (1980) Geochemistry of Tropical landscape on granitic rocks : the lake Chad basin *Proceed. of the III symposium on water rock Interaction, Edmonton (Canada), 14-24 juillet 1980, I, pp 8-10*

- HOLEMAN, J.N. (1968) The sediment yield of major rivers of the world. *Wat. Resour. Res.*, 4(4) : 737-747.
- HOLAND, D.H. (1978) The chemistry of the atmosphere and oceans. *Dep. of Geological Sciences. Howard Univ. A. Wiley, Intersciences Publ., John Wiley & Sons.*
- KINGA MOUZEO (1986) Transport particulaire actuel du fleuve Congo et de quelques affluents. *Thèse Universitaire, Univ. de Perpignan, 251 p.*
- LEEDEN, F. VAN DER (1975) Water resources of the world. *Selected Statistics. Water Information Center, New York : 1-568.*
- MEYBECK, M. (1976) Total dissolved transport by major world rivers. *Hydrol. Bull. Sci.*, 21(2) : 265-284.
- MEYBECK, M. (1984) Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. *Thèse Doc. d'Etat n°84-85, Univ. P. et M. Curie, Paris 6.*
- MOLINIER, M.(1979) Note sur les débits et la qualité des eaux du Congo à Brazzaville. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, vol. XVI, n°1, p. 55-66.
- NEDECO (1959) River studies, Niger and Benue. *North Holland Publ. C., Amsterdam 1-1000.*
- NOUVELOT, J.F. (1972) Le régime des transports solides dans divers cours d'eau du Cameroun de 1969 à 1971. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, IX, 1, p. 47-74.
- OLIVRY, J.C. (1977) Transports solides au Cameroun. in : Erosion and solid matter transport in inland waters *Symp. de Paris, juillet 1977, I.A.H.S. publ. n°122, p. 134-141.*
- OLIVRY, J.C.(1986) Opération transports de matières sur la bassin du fleuve Congo. *ORSTOM Brazzaville.*
- SIGHA, H., BRICQUET, J.P. (1987) Un exemple méthodologique de la mesure des flux particuliers et dissous des fleuves d'Afrique Centrale : transports de matière sur le Congo à Brazzaville premiers résultats 1986-1987. *ORSTOM Montpellier.*
- STRAKHOV, N.M.N. (1967) Principles of Lithogenesis. Vol. 1 : *Consultants Bureau, New York.*

ANNEXE

TABLEAU I
RESULTATS DES PRELEVEMENTS MENSUELS EN 1987

REF	DATE	DEBIT SABLE M.E.S M.D.			
		m ³ /s	mg/l	mg/l	mg/l
2/CNG	14/01	45700	3,3	16,6	60,0
3/CNG	13/02	37000	4,7	29,2	35,0
4/CNG	14/03	38400	3,2	24,3	56,0
5/CNG	14/04	39800	2,9	17,2	49,0
6/CNG	16/05	38100	5,4	15,2	61,0
7/CNG	16/06	35000	3,4	25,8	53,0
8/CNG	27/07	26600	3,4	22,0	56,0
9/CNG	20/08	25400	2,0	15,8	85,0
10/CNG	15/09	33400	3,2	26,3	64,0
11/CNG	15/10	40600	2,6	27,9	55,0
12/CNG	13/11	50400	4,1	23,7	50,0
13/CNG	15/12	54400	2,3	22,0	87,0

TABLEAU II
DEBITS LIQUIDES SOLIDES ET DISSOUS
EN 1987

REF	DATE	DEBIT m ³ /s	SOLIDES DISSOUS	
			kg/s	kg/s
2/CNG	14/01	45700	910	2742
3/CNG	13/02	37000	1254	1295
4/CNG	14/03	38400	1056	2150
5/CNG	14/04	39800	780	1950
6/CNG	16/05	38100	774	2324
7/CNG	16/06	35000	1001	1855
8/CNG	27/07	26600	681	1490
9/CNG	20/08	25400	452	2159
10/CNG	15/09	33400	985	2138
11/CNG	15/10	40600	1239	2233
12/CNG	13/11	50400	1401	2520
13/CNG	15/12	54400	1322	4733

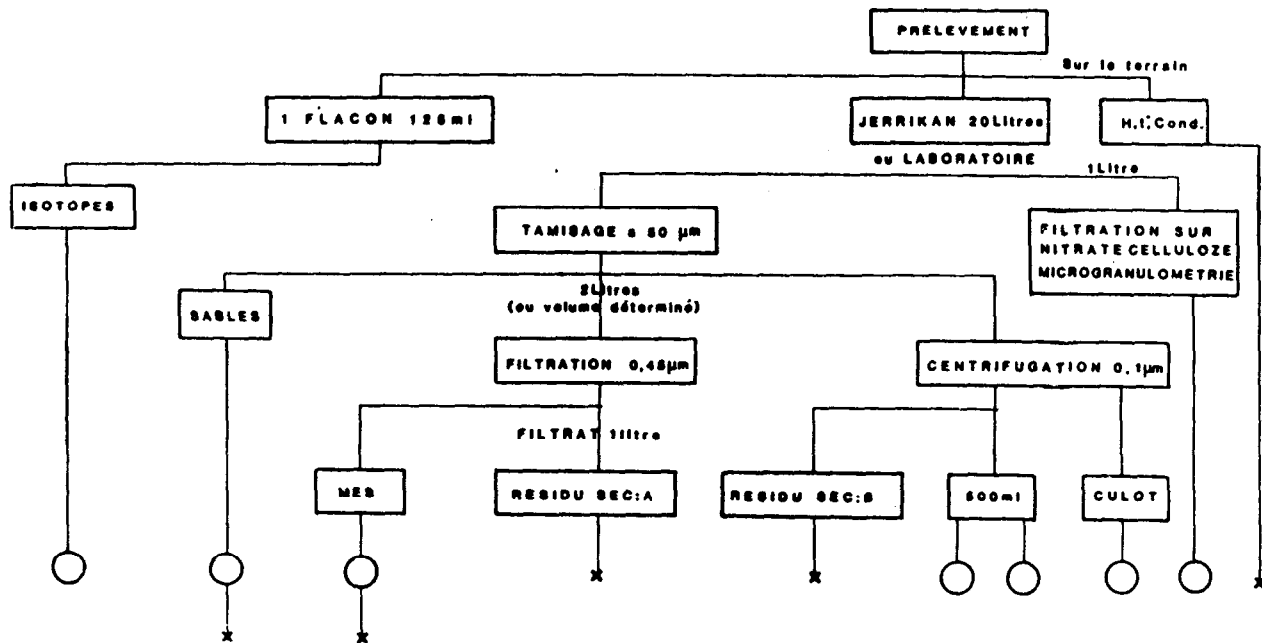
TABLEAU III
DEBITS MOYENS ET TONNAGES EXPORTES MENSUELS

MOIS	DEBIT m ³ /s	SUPENSION 10 ³ T	DISSOUS 10 ³ T
JAN87	45200	2410	7263
FEV87	36900	3027	3124
MAR87	38100	2807	5715
AVR87	39600	2012	5030
MAI87	38100	2072	6225
JUI87	34500	2557	4739
JUI87	28600	1961	4290
AOU87	25500	1220	5805
SEP87	33800	2508	5441
OCT87	41100	3357	6054
NOV87	50900	3821	6597
DEC87	53400	3476	12443
JAN88	45500	3229	5606
FEV88	34500	2325	3976
MAR88	34100	3415	4293

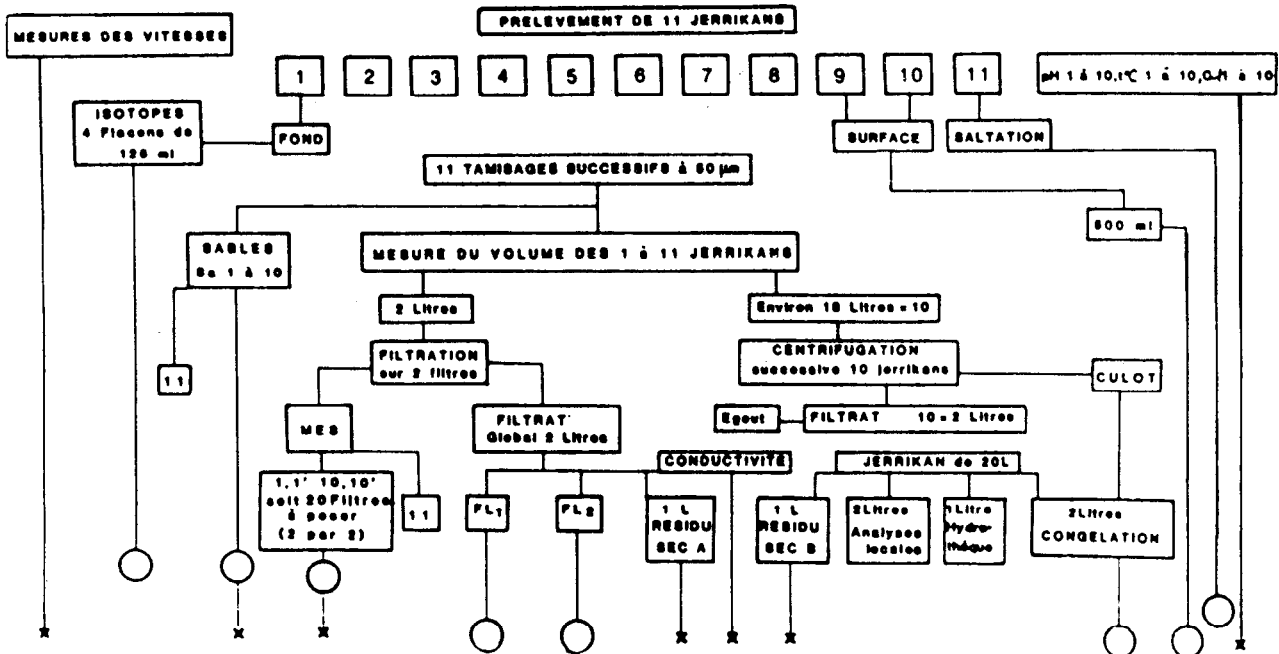
TABLEAU IV
VARIATIONS HEBDOMADAIRES AVAL BRAZZAVILLE

DATE	REF	DEBIT SABLE M.e.S M.D			
		m ³ /s	mg/l	mg/l	mg/l
14/11/87	46/BAD/87	50600	4,1	23,5	51
21/11/87	47/BAD/87	52700	3,1	12,8	40
28/11/87	48/BAD/87	53100	5,5	15,6	44
05/12/87	49/BAD/87	52700	5,2	13,2	44
12/12/87	50/BAD/87	53700	5,6	11,4	44
19/12/87	51/BAD/87	54500	3,6	15,0	80
26/12/87	52/BAD/87	53000	3,5	14,7	82
02/01/88	01/BAD/88	51000	2,3	16,0	69
09/01/88	02/BAD/88	48700	6,7	21,0	27
16/01/88	03/BAD/88	45800	5,7	24,7	31
23/01/88	04/BAD/88	42000	6,2	23,5	44
30/01/88	05/BAD/88	40200	5,2	24,5	58
06/02/88	06/BAD/88	36700	6,3	24,6	50
13/02/88	07/BAD/88	34000	7,9	24,0	46
16/02/88	08/BAD/88	33500	7,0	23,1	46
20/02/88	09/BAD/88	33100	5,9	20,0	43
27/02/88	10/BAD/88	32900	4,2	25,0	67
05/03/88	11/BAD/88	32300	3,5	23,6	62
12/03/88	12/BAD/88	31900	3,9	25,0	73
16/03/88	13/BAD/88	32100	4,8	28,0	66
19/03/88	14/BAD/88	32100	6,4	22,2	47
26/03/88	15/BAD/88	34800	4,8	27,7	49

Rivière	CONGO	Fréquence:	FICHE DE PROGRAMMATION DE PRELEVEMENT ET DE TRAITEMENT DES ECHANTILLONS
Lieu-dit	BRAZZAVILLE AVAL DJOUE	HEBDOMADAIRE	
Code et numérotation	BAD 1à52 (n° semaine)+date	Jour recommandé:	Nature:Prélèvement au seau dans la zone brassée par les rapides et remplissage d'un jerrikan
		le samedi	



Rivière	CONGO	Fréquence :	FICHE DE PROGRAMMATION DE PRELEVEMENT ET DE TRAITEMENT DES ECHANTILLONS
Lieu-dit	Couloir amont BRAZZAVILLE MALUKU	MENSUELLE	
Code et numérotation	CNG 1 à n + date	Jour recommandé :	Nature: 2 prélèvements successifs d'échantillons de 20 Litres en 5 points d'une verticale réputée représentative (située à 600m de la R.D.) avec le préleveur BRICQUET + 5 mesures vitesses + 1 jerrikan fond
		15 du mois	



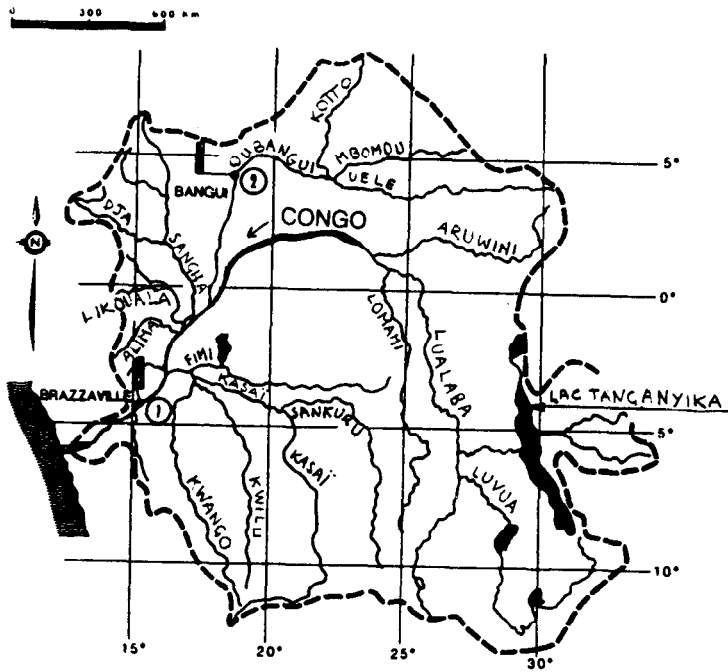


Fig. 1 Bassin versant du fleuve Congo.

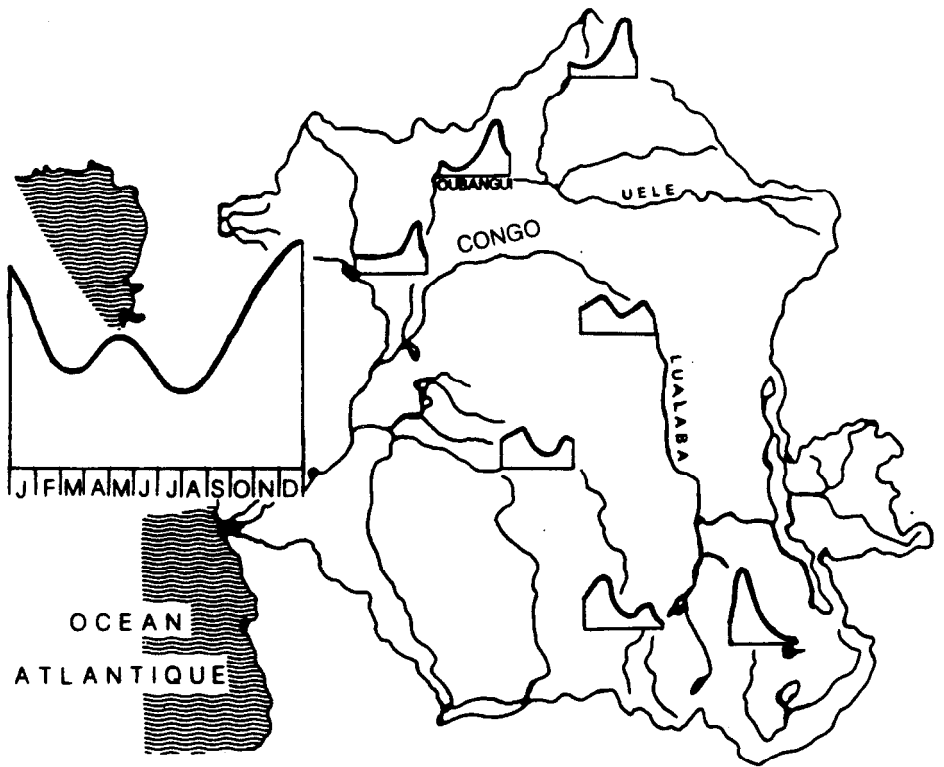


Fig. 2 - Les différents régimes hydrologiques du fleuve CONGO

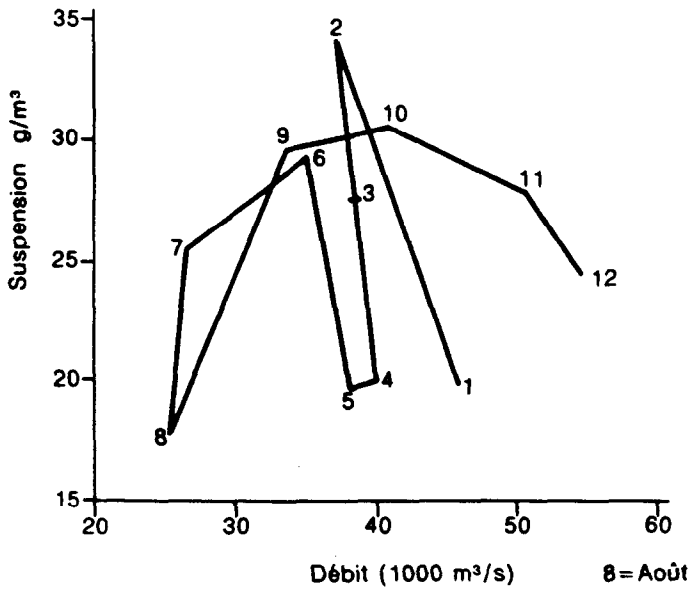


Fig. 3 CONCENTRATION DES MATIERES EN SUSPENSION
EN FONCTION DES DEBITS DU CONGO EN 1987

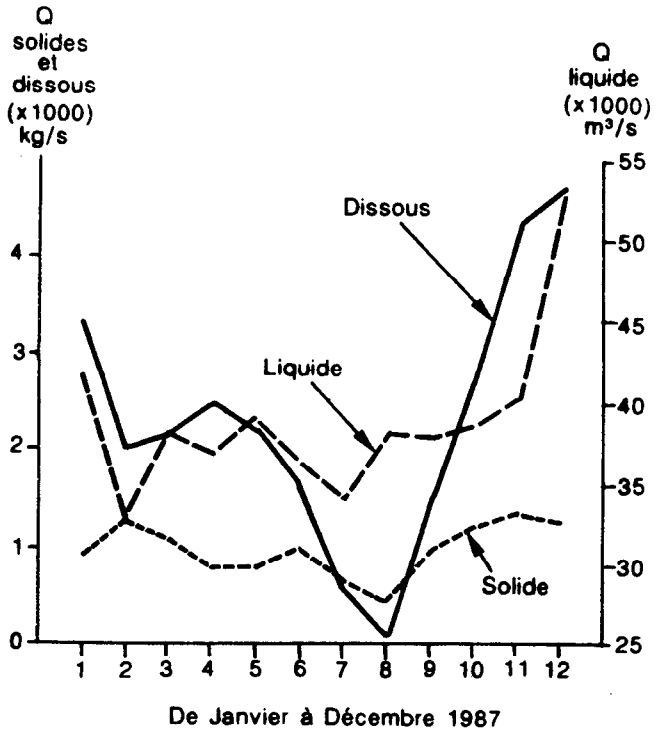


Fig. 4 VARIATION DES DEBITS LIQUIDES SOLIDES ET DISSOUS DU CONGO A BRAZZAVILLE EN 1987