PROGRAMME PEGI

LES EXPORTATIONS DE MATIERES

DU FLEUVE CONGO

(A.LARAQUE [1], J.P.BRICQUET [2], M.BERTHELOT [3], J.C.OLIVRY [4])

1 chercheur ORSTOM - BRAZZAVILLE - CONGO
2 chercheur ORSTOM - BAMAKO - MALI
3 technicien ORSTOM - BRAZZAVILLE - CONGO
4 directeur de recherche - ORSTOM - BAMAKO - MALI

BRAZZAVILLE JUIN 1993

PROGRAMME PEGI
BILAN DE SIX ANNEES D'ETUDE SUR LE FLEUVE CONGO

RESUME

Six années d'observations régulières et continues (1987-92) portant sur les transports solides et dissous du fleuve Congo, ont permis de les quantifier et de définir leurs natures.

Ce fleuve dont le module interannuel durant cette période d'étude est de 37 700 m^3/s a exporté en moyenne interannuelle 91,8 x 10^6 tonnes de matière, réparties en 7,9 x 10^6 tonnes de sables, 22,8 x 10^6 tonnes de matière en suspension (MES) et 61,1 x 10^6 tonnes de matière dissoute (MD).

6 % des MES sont constitués par de la matière organique particulaire (COP) et 29,46 % des MD proviennent de la matière organique dissoute (MOD). Les quotats restant correspondent respectivement a de la matière minérale particulaire (94% des MES) ou dissoute (70,54% des MD).

La concentration interannuelle moyenne de ces transports (76,2 mg/l) est faible par rapport à celle des grands fleuves de la planète.

Les variations saisonnières et interannuelles des concentrations de matière et des débits n'excèdent pas respectivement 14% et 28%, soulignant ainsi une grande régularité des régimes d'exportations solides et liquides.

Cependant l'étude plus fine des variations de chaque catégorie de matière transportée aide à mieux comprendre le fonctionnement de cet écosystème.

L'exportation spécifique de matière est de 26,3 tonnes/km^2/an (sans correction des apports atmosphériques).

INTRODUCTION

Le programme PEGI (Programme d'étude de l'environnement et de la géosphère intertropicale) a pour objectif d'étudier la dynamique des écosystèmes forestiers intertropicaux.

Il a pris en 1991 la suite du programme PIRAT - GBF (Programme Interdisciplinaire de Recherches de Biogéodynamique Tropicale Périatlantique - opération Grands Bassins Fluviaux), initié en décembre 1986 sur le bassin du fleuve CONGO et pour lesquels collaborent l'INSU-CNRS et l'ORSTOM.

Aujourd'hui, ce sont donc 6 années d'observations aux pas de temps mensuels et hebdomadaires sur les transports solides et dissous relevées quasiment à l'exutoire de ce fleuve, qui sont désormais disponibles.

Cet article se propose de faire la synthèse de ces données (bilans annuels, variations saisonnières et interannuelles des transports de matière) et d'en tirer les conclusions quant au fonctionnement de cet hydrosystème.

ASPECTS HYDROLOGIQUES

DU FLEUVE CONGO

(A.LARAQUE [1], J.P.BRICQUET [2], M.BERTHELOT [3], J.C.OLIVRY [4])

1 chercheur ORSTOM - BRAZZAVILLE - CONGO
2 chercheur ORSTOM - BAMAKO - MALI
3 technicien ORSTOM - BRAZZAVILLE - CONGO
4 directeur de recherche - ORSTOM - BAMAKO - MALI

1 PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DU CONGO ET HYDROLOGIE DU FLEUVE

1.1 BASSIN VERSANT DU CONGO

Avec une superficie de $3{,}6x10^6$ km^2, il est le deuxième bassin versant de la planète après celui de l'Amazone. Situé en zone intertropicale (9°N - 13°S, 31°E-11°E), l'équateur le traverse dans sa moitié septentrionale.

Sa forme compacte est constituée d'une vaste dépression centrale : la cuvette congolaise marécageuse (400 m d'altitude) bordée de reliefs (DEVROEY, 1941) allant de 800 m (au SW) à 4000 m (au NW) et de plateaux de 700 m d'altitude au nord et d'environ 2000 m dans la partie orientale limitée par les contreforts volcaniques du rift est africain.

Cette topographie provient de la pénéplanation du socle continental africain. Celui-ci, constitué de roches cristallines et cristallophylliennes surmontées de quelques dépôts sédimentaires (schisto-calcaires, dolomites, ...), affleure sur le pourtour de la cuvette centrale essentiellement composée de formations gréseuses, sablonneuses et d'argilites d'âge mésozoïque.
Ce sont des sols ferralitiques qui recouvrent l'ensemble (93%) de ce bassin (KINGA MOUZEO, 1986).

La topographie de ce bassin lui confère une végétation concentrique où la forêt humide (et en partie inondée en périodes de hautes eaux) qui couvre 50% du bassin dans la cuvette centrale est entourée de savanes plus ou moins arbustives sur les plateaux.

Le bassin est bien arrosé (1600 mm en moyenne - BULTOT.F, 1971) avec des précipitations plus élevées dans la cuvette (jusqu'à 2200 mm) tombant à différentes époques suivant la région considérée.
Ces saisons des pluies différées en fin d'année au nord de l'équateur et en début d'année au sud (Rapport MATEBA, 1985 (?)) influent directement sur les écoulements et expliquent la certaine régularité du régime du fleuve Congo par les apports complémentaires dans l'année de ses affluents austraux et septentrionaux.
D'autre part, la présence de nombreux élargissements du fleuve (plus de 15 km de large dans le Sandy Beach, ...), l'existence de lacs importants (lac Tumba, ...) jouxtant son cours et qui lui sont directement reliés, servent de réservoir régulant et atténuant les variations de son débit. Les cours d'eau issus des importants aquifères gréseux et sablonneux des plateaux Tékés (400 m d'épaisseur), comprenant la plupart des affluents de la rive droite congolaise, participent également à cette régulation grâce à leurs écoulements quasi constants tout au long de l'année. Ce gigantesque aquifère traversé sur plus de 200 km par le fleuve en amont de Brazzaville, intervient directement dans son alimentation ainsi que dans celle du cours inférieur de son principal affluent, le Kasaï, jusqu'à sa confluence avec le Congo.

1.2 PRINCIPALES CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES

Une *carte d'identité hydrologique* du fleuve Congo, a pu être établie à partir d'une chronique journalière de mesures hydrométriques étalée sur 90 ans (1903 à 1992) qui ont été enregistrées à la station de Brazzaville-Kinshasa. Celle-ci contrôle 97% de son bassin versant, soit 3,5 x 10^6 km^2 (cf fig 1.1).

LE FLEUVE CONGO

. 2ème fleuve du monde après l'Amazone,

. longueur ..... 4 700 km

. module interannuel calculé sur 90 ans (de 1903 à 1992) ..... 40 600 m^3/s

. valeurs extrêmes enregistrées ..... 22 000 m^3/s, le 20 juillet 1905

..... 76 500 m^3/s, le 27 décembre 1961

. étiage médian ..... 32 800 m^3/s (*)

. crue médiane ..... 57 200 m^3/s (*)

. débit spécifique ..... 11,6 $l/s/km^2$

. volume exporté par année moyenne ..... 1 280 milliards de m^3

. lame écoulée ..... 366 mm

. estimation lame précipitée moyenne sur le bassin ..... 1 526 mm

. déficit d'écoulement ..... 1 160 mm

. coefficient d'écoulement 24%

. variations interannuelles 1,64

(= module annuel maximum/module annuel minimum : 56 000 m^3/s en 1961-62 et 33 500 m^3/s en 1913-14)

. variations saisonnières 1,74

(= débit maximum mensuel/débit minimum mensuel : 57 200 m^3/s en décembre et 32 800 m^3/s en août).

L'année hydrologique va de septembre à août (la principale crue annuelle débute en général vers la mi août) et présente (cf fig 1.2) deux périodes de hautes eaux (avril-mai et octobre-janvier) et deux périodes de basses eaux (février-mars et juin-septembre).

1.2.1 Les écoulements :

Le coefficient d'écoulement faible (24%) est du à une évapotranspiration forte (1000 mm/an) sur le couvert forestier et à une infiltration élevée en particulier sur les formations très perméables des grés et sables qui recouvrent une grande partie du bassin.

Les variations saisonnières et interannuelles de ses modules sont faibles, respectivement 1,74 et 1,64.

---

* J.P BRICQUET, 1990

Cette régularité est due à la situation du bassin de part et d'autre de l'équateur qui reçoit alternativement les écoulements de l'hémisphère nord et ceux de l'hémisphère sud. L'hydrogramme moyen du fleuve (cf fig 1.2) fait état (OLIVRY et al - 1988) :

- d'une *grande crue* d'octobre à janvier correspondant aux apports de la partie septentrionale du bassin (bassin de l'Oubangui);
- d'un *petit étiage* de février-mars, du aux basses eaux de l'hémisphère nord, il est moins accusé que celui d'août du fait de l'arrivée des hautes eaux du Kasaï (1^{er} affluent du fleuve);
- d'une *petite crue* d'avril-mai, due aux hautes eaux de la partie méridionale du bassin (Kasaï et Haut-Zaïre);
- d'un *grand étiage* de juin-septembre correspondant aux basses eaux du régime équatorial et à la décrue du régime tropical austral.

L'évolution des modules du Congo (fig 1.3) montre une certaine stabilité depuis le début du siècle jusqu'à la décennie 60, où des écoulements excédentaires ont précédés une chute des débits qui se poursuit jusqu'à nos jours.

L'année 1992, a été ainsi marquée par un niveau particulièrement bas des eaux, avec un module annuel de 34 100 m^3/s (Cf tab 1.1), et un hydrogramme qui a oscillé entre février et mai, autour des minimas relevés sur toute la chronique d'observations.

Les débits journaliers extrêmes de la période d'étude ont été enregistrés le 27 juillet 1990 avec 22 700 m^3/s (valeur proche du minima de la série 1902-93, soit 22 000 m^3/s observés le 20 juillet 1905) et le 15 décembre 1988 avec 59 900 m^3/s.

1.2.2 Bilan hydrologique 1987-92 :

Les six premières années du déroulement du programme PIRAT-PEGI-GBF font état, avec un module moyen de 37 700 m^3/s, d'un déficit d'écoulement de près de 7% par rapport au module interannuel calculé sur les 90 dernières années.

Cette hydraulicité déficitaire depuis 1980 est l'incidence avec plusieurs années de retard, du cumul des faibles précipitations qui ont affectées l'Afrique intertropicale comme le souligne J.C.OLIVRY (1993).

L'hydrogramme moyen de cette période d'étude (cf fig 1.2) souligne bien cette tendance.

Par conséquent, la lame écoulée (338 mm), le débit spécifique moyen de cette période (10,7 $l/s/km^2$) et le volume exporté (1 183 milliards de m^3) sont plus faibles que les valeurs correspondantes de la chronique de 90 ans.

Si les variations interannuelles des débits de cette période d'étude, 1,16 (40 110 m^3/s en 1990-91 et 34 620 m^3/s en 1991-92), sont plus faibles que celles portant sur les 90 années enregistrées, 1,64 (55 260 m^3/s en 1961-62 et 33 640 m^3/s en 1958-59), en revanche les variations saisonnières sont un peu plus élevées : 1,90 contre 1,74 et sont dues à des étiages plus prononcés et proches des minimas observés sur les 90 dernières années, alors que chaque crue principale de cette période, correspond à peu près à la crue moyenne. Seul l'hydrogramme 1990-91 est proche de l'hydrogramme moyen du Congo.

L'amenuisement des réserves souterraines et leur tarissement accéléré durant cette dernière décennie, engendrent cette succession d'étiages très prononcés malgré un retour à la normale du régime pluviométrique qui devra être suffisamment long pour recharger les aquifères afin de rétablir le régime moyen du fleuve.

Ces variations interannuelles et saisonnières restent dans leur ensemble très faibles et soulignent la grande régularité du débit du Congo.

années	débits moyens annuels (m^3/s)	R (*)	débits (m^3/s) mensuels minimums	maximums
1987	38 700	2,09	25 500	53 400
1988	39 100	2,12	28 000	59 300
1989	37 900	2,17	25 600	55 600
1990	36 000	2,07	24 700	51 200
1991	40 500	1,54	32 900	50 700
1992	34 100	2,01	26 400	53 200
moyenne 1987-92	37 700	1,90	27 900	53 200
moyenne 1903-92	40 600	1,74	32 800	57 200

(*) R = variation saisonnière = débit maximum mensuel/débit minimum mensuel

TAB 1.1 : CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES DU CONGO ENTRE 1987 ET 1992

BIBLIOGRAPHIE

BRICQUET J.P, 1990, "Régimes et bilans hydrologiques de l'Afrique centrale. Les apports à l'océan, du golfe du Biafra à la Pointa do Dande", tiré de "Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique", par LANFRANCHI R et SCHWARTZ D, éd ORSTOM, coll Didactiques, Paris, 1990, 535 pa.

BULTOT.F, 1971, "Atlas climatique du bassin congolais", INEAC Brazzaville, 4 tomes.

DEVROEY E, 1941, "Le bassin hydrographique congolais, spécialement celui du bief maritime". Inst. Roy. Col. Belge, Sec. Sc. Tech. Mém. - Coll 8°, III (3) : 3 - 160.

KINGA MOUZEO, 1986, "Transport particulaire actuel du fleuve Congo et de quelques affluents; enregistrement quaternaire dans l'éventail détritique profond (sédimentologie, minéralogie et géochimie)" - Thèse de doctorat - Univ de Perpignan - 251 pa.

OLIVRY J.C, 1986, "Opération transport de matières sur le bassin du fleuve Congo". rapport ORSTOM, Brazzaville, 45 p, multigr.

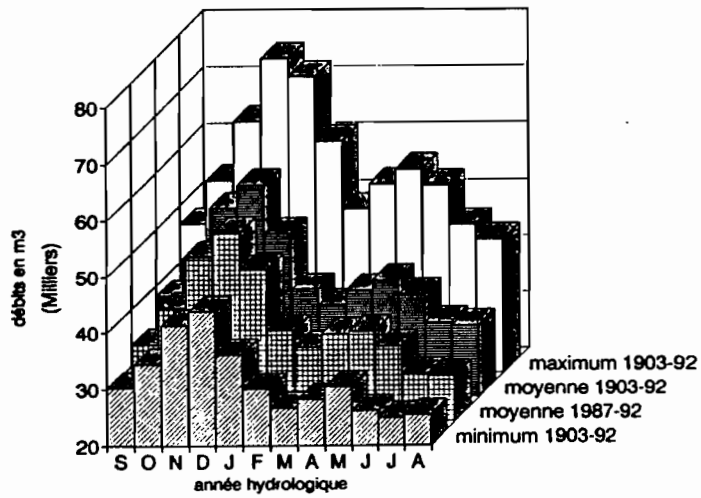
OLIVRY J.C, BRICQUET J.P, THIEBAUX J.P et al, 1988, "Transport de matières sur les grands fleuves des régions intertropicales. Les premiers résultats des mesures de flux particulaires sur le bassin du fleuve Congo", In sediment budgets, symp de Porto Alegre, décembre 1988, IAHS, publi n°174, pa 509-521.

OLIVRY J.C, BRICQUET J.P, MAHE G, 1993, "Vers un appauvrissement durable des ressources en eau de l'Afrique humide", Yokohama H3 symposium proceedings paper (Y13), july 1993, IAHS.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, publi n°174, pa 509-521.

Rapport MATEBA 22, (1985) ?, "Observations limnimétriques - Kinshasa, Matadi, Boma - inventaire 12903 - 1983", Laboratoire de recherches hydrauliques, Borgerhout, Anvers.

FIGURES

FIG 1.2 - HYDROGRAMMES CARACTERISTIQUES DU CONGO



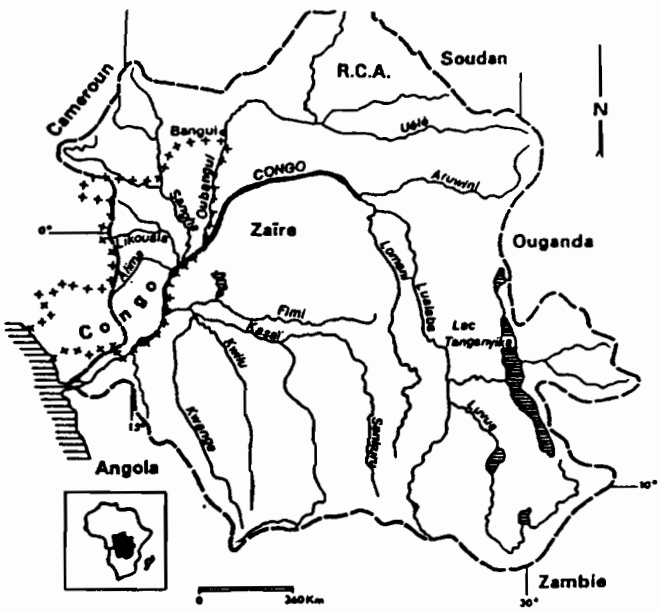
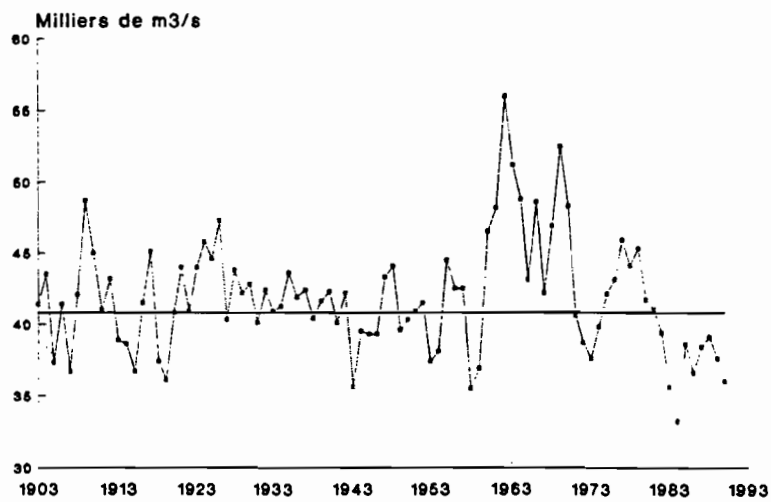


FIG 1.1 - — Bassin versant du fleuve Congo.

FIG 1.3 - Variation du Module annuel à Brazzaville
Depuis 1903



PROTOCOLES ET METHODOLOGIES DU PROGRAMME PEGI AU CONGO

(A.LARAQUE [1], J.P.BRICQUET [2], M.BERTHELOT [3], J.C.OLIVRY [4])

1 chercheur ORSTOM - BRAZZAVILLE - CONGO
2 chercheur ORSTOM - BAMAKO - MALI
3 technicien ORSTOM - BRAZZAVILLE - CONGO
4 directeur de recherche - ORSTOM - BAMAKO - MALI

2 PROTOCOLES ET METHODOLOGIES DU PROGRAMME PEGI AU CONGO

L'étude des variations (quantitatives et qualitatives) des matières transportées, s'effectue sur une chaîne d'opérations périodiques : "prélèvements - traitements - analyses - conditionnement - conservation" menée sur les échantillons et décrite ci-après :

2.1 PRELEVEMENTS ET ETUDES IN SITU

L'objectif est d'estimer le plus précisément possible les transports de matière du fleuve et d'étudier leurs fluctuations au cours du temps.

A cette fin, il est nécessaire d'effectuer sur une longue durée (plusieurs années) des prélèvements à différentes périodicités et en différents endroits pour évaluer d'une part leur représentativité spatio-temporelle et d'autre part pour enregistrer les éventuelles variations de leurs teneurs en matières transportées, afin de tenter de les expliquer dans le cadre du fonctionnement de cet écosystème forestier et aquatique.

Une estimation précise des débits solides revient à compléter un jaugeage classique, par des prélèvements d'eau en n points de x verticales de la section transversale du cours d'eau où sont mesurées les vitesses Vi du courant.

Connaissant les concentrations en matière transportée Ci de chaque prélèvement, une double intégration du produit $Ci.Vi$ (sur les verticales et sur la largeur de la section) permet d'évaluer le débit solide :

$$Qs = \int_0^L \int_0^P Ci \,.\, Vi \,.\, dl\,dp$$

l est l'abscisse, p la profondeur, L la largeur totale dans la section et P la profondeur totale d'une verticale donnée (BRICQUET, 1987).

A partir du débit liquide Q, on obtient la concentration moyenne Cm dans la section :

$$Cm = Qs / Q$$

Cependant, ces jaugeages complets (débits liquides et solides) sont des opérations de terrain et de laboratoire lourdes et longues pour un fleuve comme le Congo dont la section fait trois kilomètres de largeur avec des profondeurs pouvant dépasser 30 m, en crue.

D'autre part de telles opérations sont délicates à mener sur des fleuves frontaliers.

Comme MOLINIER (1979) avait montré qu'il n'y avait que peu de variations des transports de matière sur la largeur de la section en dehors de la proximité des berges, il a été décidé d'effectuer mensuellement des

prélèvements d'eau et des mesures de vitesses sur une verticale unique en amont de Brazzaville, jugée représentative de ce qui se passe dans la section.
A cette opération mensuelle, ont été rajoutés des prélèvements journaliers en surface au droit de cette même section ainsi que des prélèvements hebdomadaires en surface en aval de Brazzaville.

2.1.1 Opérations mensuelles :

La section choisie se trouve à 40 km en amont de Brazzaville à l'entrée du Stanley Pool, vaste dépression de 25 km de large sur 40 de long (photos 2.1) dans laquelle le Congo s'étale et se subdivise en de nombreux bras qui circulent autour d'îlots et de bancs de sables submersibles en périodes de crue. Cette section marque la sortie du "couloir" de Maluku long de 200 km, dans lequel le fleuve circule à plus grande vitesse et où les eaux sont bien brassées (Cf fig 2.1 et photo 2.2).
Sa largeur est de 3100 m pour des profondeurs atteignant 35 m en hautes eaux, son profil à cet endroit est dissymétrique marqué par une "fosse" d'une trentaine de mètre coté congolais et du coté zaïrois par un "plateau" d'environ 8 m de profondeur, occupant les deux tiers de la section (Cf fig 2.2).

Sur cinq points de la verticale choisie en 1986, située à 600 m de la rive droite, les opérations suivantes : prélèvements d'eau, mesures de vitesses, température, pH, conductivité électrique avec compensation de température à 25°C, dosage des bicarbonates (par titration potentiométrique à partir d'un pH-mètre et d'une solution HCl (0,02 N), les courbes de titration étant analysées par la méthode de Gran (BOURRIE, 1976), ont été réalisées.
Ces opérations s'effectuent à partir d'un navire baliseur de la SCEVN (Service Commun d'Entretien des Voies Navigables) que l'on ancre sur le fond du fleuve pour la durée des opérations après l'avoir positionné exactement par triangulation à l'aide d'un cercle hydrographique.

Les prélèvements d'eau sont effectués à partir d'un "saumon préleveur" d'une capacité de 25 litres (Cf photos 2.3). Une bouteille océanographique équipée de deux clapets a donc été adaptée horizontalement sur un saumon de 60 kg. On déclenche la fermeture des clapets depuis la surface par une commande à distance, à la profondeur voulue afin de prélever une "ligne" d'eau.
Deux fois vingt litres sont prélevés à chaque profondeur afin de comparer leurs concentrations en transports solides et d'en effectuer la moyenne pour un calcul plus précis de la charge transportée. 220 litres d'eau sont ainsi rapportés à chaque "sortie" mensuelle.
Les vitesses sont quant à elles mesurées à partir d'un moulinet OTT en bout de saumon de 25 kg, mis à l'eau sur l'autre bord du bateau.

Cette verticale "représentative", signifie que l'on peut assimiler sa concentration moyenne *Cm* mesurée à la concentration réelle de la section.

Le produit de cette concentration moyenne *Cm* par le débit liquide *Q* permet d'obtenir le débit solide *Qs*, *Q* étant calculé à partir de la relation hauteur-débit de la station du Beach de Brazzaville.

La concentration moyenne des transports 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) (fig 2.3):

$$Cm = 1/5 \sum_{1}^{5} K . Ci$$

ou par intégration de la parabole des *K* . *Ci*. La vitesse moyenne étant calculée par intégration de la parabole des vitesses mesurées sur la verticale (OLIVRY, 1986).

Dans cette étude, ces prélèvements sont désignés sous le code "CNG".

2.1.2 Opérations hebdomadaires :

Elles s'effectuent en aval de Brazzaville et donc à la sortie du Stanley Pool (Cf fig 2.1), après une zone de forts rapides (les rapides du Djoué) où l'intense brassage qui s'y produit est garant d'un bon mélange des eaux et de leurs matières transportées.

Il s'agit de prélèvements à un mètre de la rive dans une zone de fort courant, d'intenses remous et de tumultueux tourbillons. Des mesures in situ y sont effectuées : température, pH, conductivité électrique, dosage des bicarbonates.

Dans cette étude, ces prélèvements sont désignés sous le code "BAD".

Des comparaisons des données recueillies à différents pas de temps sont dès lors possibles, entre les prélèvements mensuels du couloir (CNG) et ceux hebdomadaires du BAD.

2.1.3 Opérations journalières :

Elles se limitent à des prélèvements d'un litre d'eau tous les deux jours, grâce à un échantillonneur d'eau automatique (ISCO 2700) alimenté en énergie par panneau solaire et contenant 24 flacons (autonomie de 48 jours). Ces flacons sont récupérés deux fois par mois.

Ces prélèvements ont lieu à 30 cm sous la surface en rive droite du fleuve au droit de la section d'étude, le préleveur étant fixé sur un rocher constamment immergé (Cf photos 2.4).

2.1.4 Opérations complémentaires

Durant l'année 1992, une étude complémentaire s'est déroulée sur deux autres verticales (à 300 et 1000 m de la rive droite), situées dans la même section que celle de la verticale unique étudiée mensuellement et de part et d'autre de cette dernière afin de s'assurer de sa représentativité.

En effet, il paraissait intéressant d'étudier les variations des transports solides au droit de la "fosse congolaise" là où les vitesses du courant sont les plus élevées, ainsi que d'avoir une idée de ces transports en bordure du "plan d'eau zaïrois" où les vitesses sont plus faibles.

Des profils en long ont également été effectués depuis la confluence de l'Oubangui jusqu'à Brazzaville lors des campagnes fluviales "Bangui-Brazzaville" de 1988-1989 et 1992. Tout le long de ce tronçon du fleuve, plusieurs profils en travers ont été réalisés.

Les résultats de ces opérations (profils en travers et en long du fleuve) seront commentés dans le paragraphe 2.3.

2.2 TRAITEMENTS DIVERS ET ANALYSES AU LABORATOIRE :

2.2.1 Séparation des phases solides

Un **tamisage à 50 um** sur chaque échantillon de 20 litres permet de séparer les sables et une **filtration à 0,45 um** sur un litre de chaque bidon isole les matières en suspension (MES). Ces fractions sont ensuite pesées (après séchage à l'étuve) avec une précision de 0,1 mg (balance Sartorius) avant d'être expédiées au Centre ORSTOM de Bondy et à l'IGBA(*) de Bordeaux, à des fins de déterminations granulométriques et minéralogiques (Cf fig 2.4).
Pour les échantillons mensuels, un litre du mélange des filtrats est alors passé à l'étuve à 105°C pour obtenir le résidu sec, celui-ci correspond à la totalité de la matière dissoute (MD) (soit matière organique et minérale dissoute : MOD + MMD = MD). Pour la MMD, nous garderons à l'avenir le sigle anglo-saxon TDS (total dissolved solids), plus répandu dans la littérature.

2.2.2 Préparation des échantillons - conditionnement

Ces traitements concernent les prélèvements mensuels du couloir qui constituent l'opération périodique de collecte d'échantillons et de mesures in situ la plus importante et la plus "lourde" du programme PEGI, menée sur le Congo.
Une **centrifugation à 0,1 um** de la totalité du reliquat des échantillons (après tamisage et prélèvements pour traitements divers), permet d'obtenir un culot concentré en matière organique que l'on congèle et/ou lyophilise avant envoie au LPCM(*) de Paris, afin d'y étudier quantitativement et qualitativement la matière organique (fig 2.4).

A partir d'un prélèvement de surface en bouteille de verre, une filtration sur filtres GFF de 0,2 um (prégrillés à 400°C pendant 8 heures), servira à la détermination du carbone organique particulaire (COP), et un conditionnement de 20 ml de chaque échantillon d'eau brute, additionnée de $HgCl_2$ (afin de bloquer

---

* IGBA = Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine
LPCM = Laboratoire de Physique et Chimie Marine
CSGS = Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface
LRSM = Laboratoire de Recherche en Sédimentologie Marine
LHGI = Laboratoire d'Hydrologie et Géochimie Isotopique

toute activité organique), servira au dosage ultérieur du carbone organique dissous (COD) au LRSM(*) de Perpignan.
Un autre flacon de 20 ml d'échantillon brut servira aux études isotopiques menées par le LHGI(*) d'Orsay.
100 ml du filtrat à 0,45 um est expédié au Centre ORSTOM de Bondy pour dosage des ions majeurs.

Et enfin deux échantillons mensuels d'un litre d'eau filtrée à 0,45 um du Congo sont gardés comme témoins en hydrothèque au laboratoire d'hydrologie du Centre ORSTOM de Brazzaville, l'un congelé à - 20°C, l'autre étant conservé à la température ambiante.

2.2.3 Déterminations ioniques

Les dosages des éléments minéraux dissous, sont réalisés par le laboratoire des formations superficielles de l'ORSTOM de Bondy, de la manière suivante :
Ca, Mg, Na, K par absorption atomique (limite de détection de 0,01 mg/l),
Cl, NO_3, SO_4 par chromatographie ionique (limite de détection de 0,1 mg/l),
$Si0_2$, Al_2O_3, Fe_2O_3 par spectrométrie d'émission de plasma (limite de détection de 0,02 mg/l),
et enfin, le TAC est déterminé par dosage potentiométrique (limite de détection de 0,5 mg/l).

2.3 ANALYSES SPATIO-TEMPORELLES DES PRELEVEMENTS

Ces études comparatives critiques ont pour but de relever les points forts et les faiblesses des opérations du programme PEGI sur le Congo, d'évaluer leurs représentativités, de justifier leur intérêt et également de tenter de mieux connaître et comprendre le fonctionnement intime du fleuve.

2.3.1 Double série des prélèvements mensuels

Ces corrélations concernant les deux séries de bidons (séries des numéros pairs et impairs) prélevées aux mêmes profondeurs à 10 minutes d'intervalle environ, lors des opérations mensuelles du couloir portent sur 120 couples de concentrations de sables et MES (données 1991-92).
Les sables : en valeur absolue, la moyenne des écarts entre ces deux séries (p et i) est de 1,7 mg/l, soit 25% de la valeur moyenne des sables (6,79 mg/l) (Cf tab 2.1).
Les MES : en valeur absolue, la moyenne des écarts entre ces deux séries est de 3,5 mg/l, soit 20% de la valeur moyenne des MES (17,5 mg/l) (Cf tab 2.1).

	Matières en suspension(mg/l				Sables (mg/l)			
	MESi	MESp	moyMES	MESi-MESp	SABi	SABp	moySAB	SABi-SABp
min	5,1	5,6	5,4	0,0	2,2	1,6	2,4	0,0
moy	17,7	17,2	17,5	3,5	6,7	6,9	6,8	1,7
max	31,5	30,1	30,4	16,1	14,9	15,0	11,9	7,0
std	5,3	4,7	4,5	3,0	2,5	2,6	2,2	1,6

TAB 2.1 - Comparaison des valeurs caractéristiques des transports "solides" des deux séries de prélèvements mensuels (paires et impaires)

Ces écarts peuvent exceptionnellement atteindre des valeurs élevées : maximum de 58% et 53% respectivement pour les sables et MES.

Les nuages de points (fig 2.5a et b) font état d'une certaine dispersion des concentrations, symétrique par rapport aux bissectrices, sur lesquelles devraient se situer les points dans le cas d'une homogénéité parfaite des eaux lors du prélèvement, les coefficients de corrélation sont faibles 0,58 et 0,56 (Cf annexe 2.1a).

Pour les sables ont constate une hétérogénéité augmentant avec les concentrations (éclatement du nuage à partir de 9 mg/l).

Les figures 2.5c et d permettent de visualiser ces écarts concernant les MES et sables de chaque série de bidons pour chaque prélèvement. Les points sont reliés par des tronçons de droite uniquement pour faciliter la lecture.

Si effectivement, on repère certains écarts en comparant deux prélèvements, on constate cependant en raisonnant sur l'ensemble des mesures une certaine correspondance. Les valeurs minimales, moyennes, maximales et les écarts types des deux séries de bidons sont quasiment identiques (tab 2.1).

Ces observations pourraient s'expliquer par l'écoulement turbulent du fleuve au débouché de ce couloir où "déboule" ses 40 000 m^3/s. Les vitesses du courant y sont élevées. Les remous nombreux, visibles en surface, se produisent dans toute la masse liquide traversant la section. S'ils engendrent une homogénéité des transports dissous, ils entraînent cependant une certaine hétérogénéité des transports en suspensions entre deux mesures, repérable par des "nuages" plus clairs ou plus sombres en fonction de leur charge en suspension, témoins d'un perpétuel brassage.

Il est donc important de continuer à raisonner sur une moyenne de deux prélèvements par points le long d'une verticale.

2.3.2 Concentrations moyennes sur une verticale et concentrations à 1 m de profondeur

- Les sables :

L'ensemble des points situés plutot sous la bissectrice de la fig 2.6a montre qu'en général les concentrations en sable de surface sont plus faibles que les moyennes des concentrations sur chaque verticale correspondante. La moyenne sur 21 opérations mensuelles (1991-92) est de 6,1 mg/l de sables pour les concentrations de surface contre 7 mg/l pour l'ensemble de la verticale (Cf Annexe 2.2).

- Les matières en suspension :

Par contre les concentrations en MES de surface (fig 2.6b) différentes des concentrations moyennes des verticales sont assez bien réparties de part et d'autre de la bissectrice.

Les sables sont donc moins abondant en surface, tandis que les MES sont réparties de manière plus homogène sur la colonne d'eau.

Les coefficients de corrélation entre chaque type de concentrations particulaires (sables et MES) de surface et leurs moyennes sur chaque verticale avoisinent 0,75 (Cf An 2.1b).

Ces coefficients et la répartition pas tout à fait symétrique de part et d'autre de la bissectrice des flux (figure 2.6c) tendent donc à préconiser dans la mesure du possible, d'effectuer une opération complète sur une verticale (avec deux prélèvements par points) plutôt que de prélever en surface.

La teneur moyenne en transports particulaires totaux (sables + MES, soit Cm en mg/l) sur toute la profondeur de la verticale, peut donc se déduire d'un prélèvement de surface de concentration C1m (en mg/l), à partir de la relation (Cf fig 2.6c) :

$$Cm = 0{,}52 \times C1m + 11{,}54 \quad \text{avec} \quad r = 0{,}80$$

2.3.3 Prélèvements mensuels et hebdomadaires - Rôle du Stanley Pool

58 séries de prélèvements effectués aux mêmes dates en amont (CNG) et aval (BAD) de Brazzaville, du 16/01/88 au 16/12/92, nous ont permis de tracer les graphiques de la figure 2.7 et de calculer les coefficients de régression entre ces deux lieux d'échantillonnage séparés d'une soixantaine de kilomètres afin de comparer leurs concentrations en sables, MES, dissous, pour détecter une éventuelle influence de la dépression du Stanley Pool sur ces transports. Les comparaisons se sont effectuées entre prélèvements réalisés aux deux endroits le même jour ou tout au plus avec deux jours d'écart (Cf An 2.1).

Avec respectivement des coefficients de corrélation de 0,006; 0,68 et 0,82, nous constatons que seule la concentration en matière dissoute est relativement bien correlée entre les deux endroits (Cf An 2.1c).

En raisonnant sur des flux, les corrélations sont bien meilleures, compte tenu de l'importance des débits qui atténuent l'influence des variations de concentration. Nous obtenons ainsi entre flux mensuels et

hebdomadaires des coefficients de corrélations de 0,88 pour les flux solides (sables + MES) et 0,96 pour les flux dissous (Cf fig 2.7a et b). Les équations de l'annexe 2.1d sont semblables à celles déjà présentées dans le rapport PIRAT n°3 - 1989.

Les graphes 2.7c et d, montrent qu'en reliant les points des concentrations des dissous et des transports solides mensuels, on obtiendrait des courbes lissant les fluctuations hebdomadaires.

Les quantités moyennes de matière sortant du Stanley Pool, sont équivalentes à celles y entrant, puisque pour des débits identiques, les concentrations moyennes sont semblables (Cf fig 2.8 et tab 2.2). **La dynamique des transports au sein de cette dépresslon est donc en équilibre sur une année** et ce "Pool" ne joue pas le rôle de piège à sédiments qu'on lui a longtemps suspecté.

	BAD						CNG				
	DEBIT jour	Sab	MeS	MeSTota mg/l	MD	TOTAL	Sab mg/l	Mes mg/l	Mesto mg/l	Dis mg/l	Total mg/l
moy	37452	6,3	19,0	25,3	49,2	74,5	6,6	18,7	25,5	49,0	74,5
min	24000	2,6	10,4	16,6	26,0	57,6	3,1	10,3	16,6	33,1	56,0
max	59900	13	32,9	37,1	72,3	89,3	12,01	35,2	41,2	72,3	92,6

TAB 2.2 - Comparaison des concentrations entre aval (BAD) et amont (CNG) du Stanley Pool (à partir de 58 couples de valeurs)

Les sables devraient logiquement se déposer à l'entrée du Pool lors de la baisse de vitesse du fleuve due à son étalement, les bancs de sables du lit du Pool se déplaceraient alors lentement vers l'aval poussés par le courant, où ils seraient enfin repris pour être évacués dans l'entonnoir des rapides du Djoué (Cf photo 2.5) à la sortie de cette dépression.

Une étude des concentrations particulaires au milieu du Pool, vient de débuter en août 1993. Si les concentrations en sables et en suspension y seront effectivement plus faibles qu'en amont et qu'en aval du Pool, cela confirmerait l'interprétation précédente, se résumant en une suite de phases de sédimentation, charriage et transport de fond puis reprise en suspension ayant lieu respectivement à l'entrée, au milieu et à la sortie du Stanley Pool.

Détailler le rôle saisonnier du Pool sur les transports solides semble difficile, car les différences de concentrations entre amont et aval sont souvent plus faibles que les erreurs de mesures et que les fluctuations entre deux prélèvements (Cf variations en dents de scie des teneurs en matière de la fig 2.9) et par conséquent sont difficilement identifiables comme témoin par exemple d'une sédimentation dominante à son entrée en étiage ou comme résultant d'une reprise en suspension plus importante à sa sortie, en période de crue.

2.3.4 Variations des transports dans la section transversale du couloir

L'étude menée en 1992, porte sur la répartition des transports sur trois verticales situées sur le tiers droit (le plus accidenté) de la section du fleuve, à 300, 600 et 1000 m de la rive droite (fig 2.10a,b,c,d).
La "fosse" qui longe cette rive droite constitue un chenal préférentiel pour le transport ou l'évacuation des sables.
En effet nous constatons sur le graphe "a", qu'en général ces concentrations décroissent de la rive droite vers le milieu du fleuve en même temps que les vitesses moyennes des différentes verticales (V300 : 1,28, V600 : 1,21 et V1000 : 1,04 m/s). Cette tendance disparaît avec les MES et dissous (fig 2.10b et c) et illustre leur meilleure répartition dans la section.
Comme les concentrations en sables sont faibles vis à vis de celles des MES (1/3), elles affectent peu les transports solides.
Les moyennes annuelles des concentrations en sables, MES sur les trois verticales sont respectivement semblables (fig 2.10d), bien que les dissous soient légèrement plus élevés sur la troisième verticale que sur les deux premières.
Néanmoins, la verticale choisie (à 600 m de la rive droite) peut être considérée comme représentative de la section.
Une inconnue persiste au sujet de ce qui se passe au droit du "plateau" qui marque les 2/3 de la section en rive gauche, coté Zaïre.
Dès que son accès sera possible une mesure complète des débits solides dans toute la section devra être envisagée.

2.3.5 Profils en long

Lors de la campagne Bangui-Brazzaville effectuée en décembre 92 pendant la principale crue du Congo, des prélèvements d'eau ont été effectués environ tous les 50 km sur une verticale (1 prélèvement en surface, au milieu et au fond). Cette opération était complétée tous les 100 km de la même manière sur deux autres verticales (une coté rive droite et l'autre coté gauche) dans les sections transversales étudiées depuis la confluence avec l'Oubangui (PK 610(*)) jusqu'au PK 50 avant Brazzaville.
Si pour chacune des 17 verticales étudiées, prises une à une, on peut observer des variations dans les concentrations des différents transports solides en fonction des points de prélèvement (surface, milieu, fond), on constate une bonne répartition des sables et MES sur la verticale théorique issue de leur moyenne (fig 2.11a et b).
Il est à noter une répartition de chaque type de transports, différente lors de cette campagne avec la répartition moyenne des transports du Congo, calculée sur 6 années d'observations (Cf fig 2.12a et b). Sur le profil en long du Congo du PK 610 au PK 50, les MES sont minoritaires par rapport aux sables

---

* PK = poste kilométrique sur les cartes de navigation fluviale. Sur un cours d'eau, le kilométrage se calcule en général de l'aval vers l'amont, donc à partir d'une embouchure ou d'une confluence ou d'un point important à partir duquel la navigation est possible.

contrairement à la moyenne interanuelle. C'est par contre le contraire pour les dissous qui totalisent 75,6% des transports totaux sur la moyenne des échantillons du profil et 66,5% sur la moyenne interannuelle (1987-92) des prélèvements effectués sur la verticale V600 au PK 50.

L'influence du Kasaï (1er tributaire du Congo) débouchant au PK 200 pourrait être à l'origine de tels écarts en apportant des eaux plus chargées en MES qu'en sables. Ces concentrations plus élevées en sables, peuvent également mettre en relief la compétence plus importante du fleuve à cette époque où les transports sont privilégiés.

La répartition des transports pour une verticale moyenne (14% de sables, 10% de MES, 76% de dissous) est la même sur toute la verticale entre surface, milieu et fond.

La comparaison des trois campagnes "Bangui - Brazzaville" effectuées en 1988, 1989 et 1992, montre qu'en 1988, la concentration moyenne de solides pour l'ensemble des verticales étudiées (21,77 mg/l) était plus élevée que celles des campagnes 1989 (18,36 mg/l) et 1992 (17,21 mg/l) (rapport PIRAT n°2, 1988 et THIEBEAUX, 1989).

Cela pourrait s'expliquer par un débit moyen lors de la campagne de novembre 1988 (52 800 m^3/s) supérieur à celui de la campagne de novembre 1989 (avec 45 250 m^3/s) et par le fait que la campagne 1988 se réalisa avant le pic de crue alors que celle de décembre 1992 lui correspondait parfaitement.

Cette dernière campagne avec un débit de 53 530 m^3/s, équivalent à celui de la campagne 88, présentait en fait des charges en transports solides plus faibles car elle ne bénéficiait plus ou bénéficiait moins du phénomène de "chasse" ou reprise en suspension, fréquement observé en début de crue. Il s'agit là, d'un phénomène purement érosif provoqué par l'augmentation rapide de la compétence du cours d'eau.

2.3.6 Conclusions

Pour un fleuve important et turbulent comme le Congo dans la zone d'étude choisie, il est important de raisonner sur des moyennes de prélèvements plutôt que sur chaque événement isolé.

En effet, les faibles concentrations en matière de ses eaux, font qu'elles sont d'autant plus sensibles, d'une part à leurs propres fluctuations d'un instant à l'autre ou d'un lieu à l'autre en raison d'une certaine hétérogénéité des transports solides due à un brassage perpétuel et d'autre part ces faibles valeurs de concentrations sont par conséquent très sensibles aux erreurs de mesures qui les affectent.

Cette hétérogénéité ponctuelle que l'on constate sur l'étude de chaque verticale dans la répartition des transports solides à différentes profondeurs ou suivant l'emplacement des verticales dans la section transversalle ou en comparant celles étudiées dans des profils en long, est en fait trompeuse et relative. Paradoxalement, elle occulte une homogénéité des eaux à plus grande échelle, dès que l'on raisonne sur des séries de mesures plus amples.

BIBLIOGRAPHIE

BOURRIE.G, 1976, "Relations entre le pH, l'alcalinité, le pouvoir tampon et les équilibres de CO2 dans les eaux naturelles", Sciences du sol - bulletin de l'A.F.E.S n°3, pa 141-157.

BRICQUET J.P, 1987, "Mesure des matières en suspension : le Congo à Brazzaville. Rapport ORSTOM, Brazzaville, 13 pa, multigr.

MOLINIER.M, 1979, "Note sur les débits et la qualité des eaux du Congo à Brazzaville", cah ORSTOM, série hydrol, XVI, 1, pa 55-66.

OLIVRY.J.C, 1986, "Opération transport de matières sur le bassin du fleuve Congo". rapport ORSTOM, Brazzaville, 45 p, multigr.

OLIVRY J.C, BRICQUET 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, publi n°174, pa 509-521.

Rapport PIRAT n°2, nov 1988. "Opération grands bassins fluviaux - campagne Oubangui - Congo - novembre 1988", note d'information n°2, PIRAT - INSU/ORSTOM.

Rapport PIRAT n°3, sept 1989. "Opération grands bassins fluviaux - premiers résultats (années 1987 à 1989)", note d'information n°3, PIRAT - INSU/ORSTOM.

THIEBEAUX J.P, 1989. "Opération grands bassins fluviaux - premiers résultats (années 1987 à 1989)", Rapport de mission, PIRAT - INSU/ORSTOM.

FIGURES

FIG 2.2 - PROFIL EN TRAVERS DU CONGO
STATION DE PRELEVEMENT EN
AMONT DU STANLEY-POOL

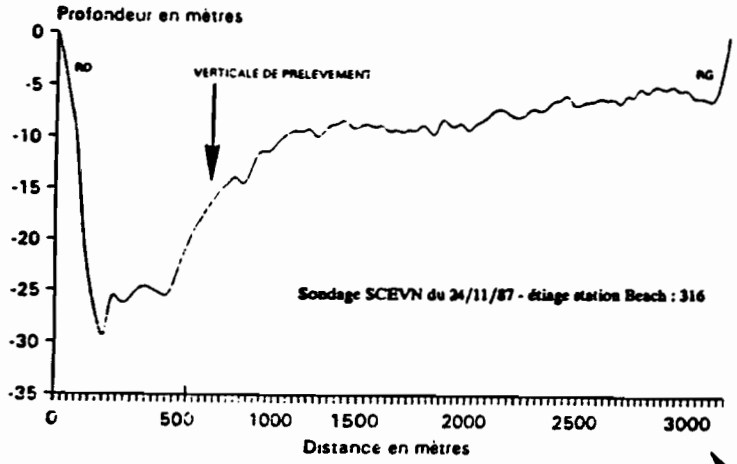
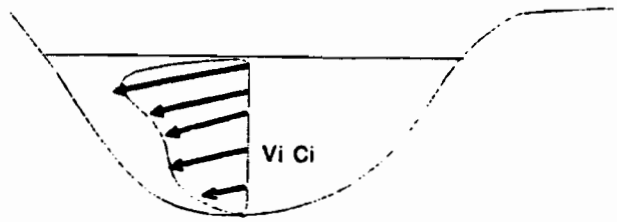


FIG 2.3 -

METHODE D'ECHANTILLONAGE

1 VERTICALE
5 POINTS



$$Cm = \frac{1}{5} \sum_{5}^{1} k\ Ci$$

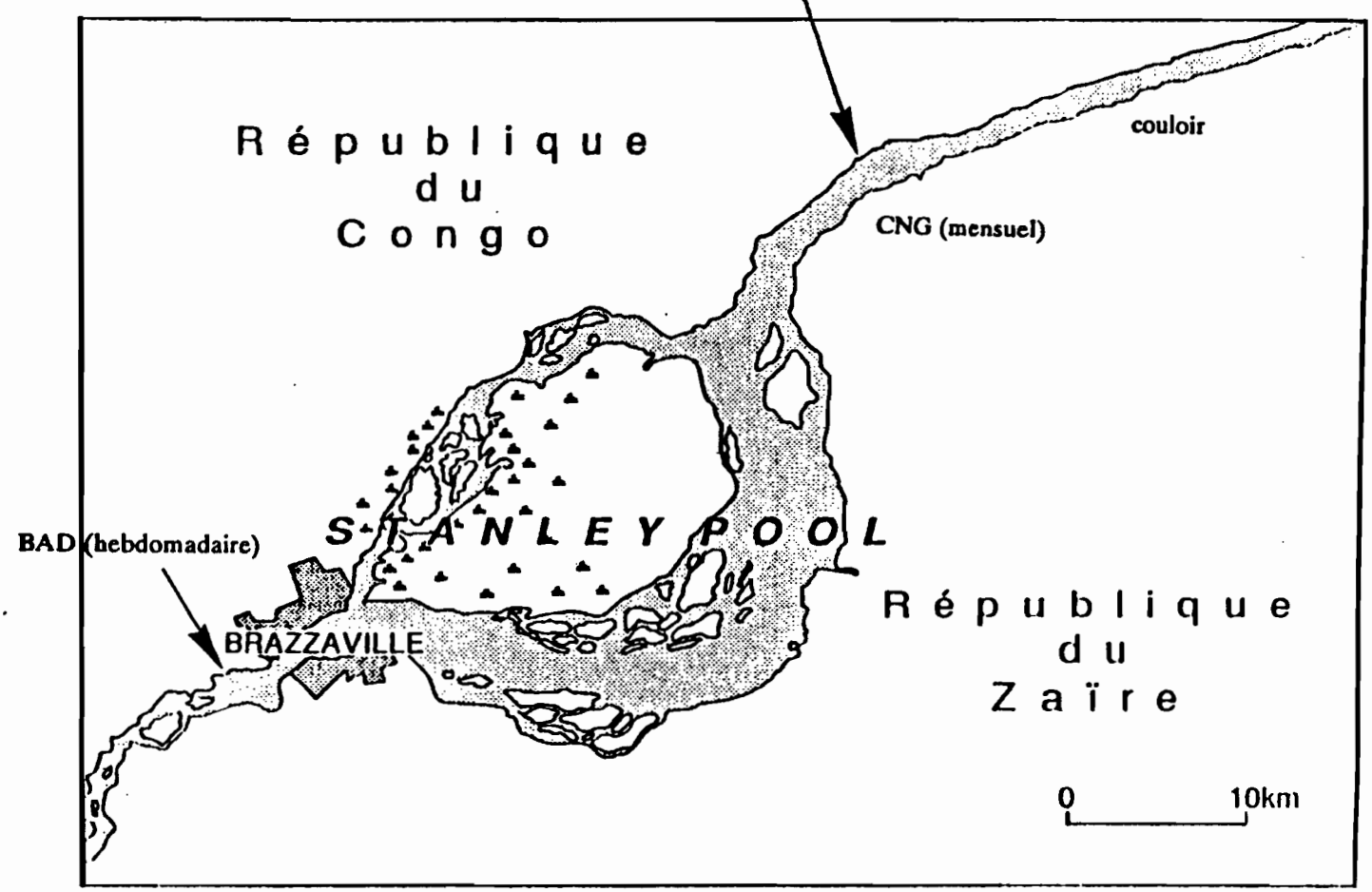


FIG 2.1 - Situation de la zone d'étude et des lieux de prélèvements périodiques d'échantillons d'eau du Congo autour de Brazzaville

Fig 2.4 - PEGI : ORGANIGRAMME DES OPERATIONS MENSUELLES SUR LE CONGO

- chaine de prélèvements et traitements des échantillons d'eau -

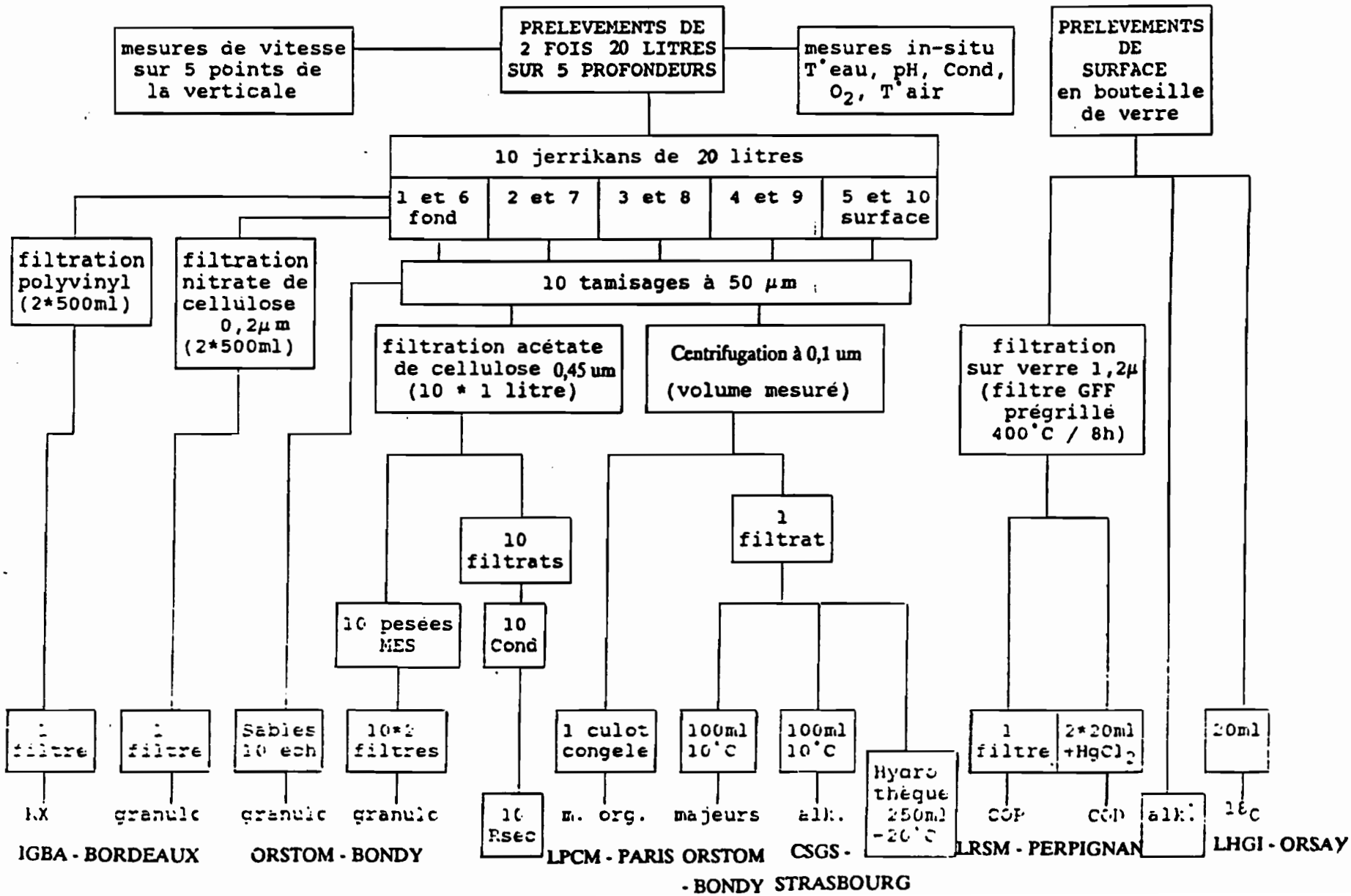
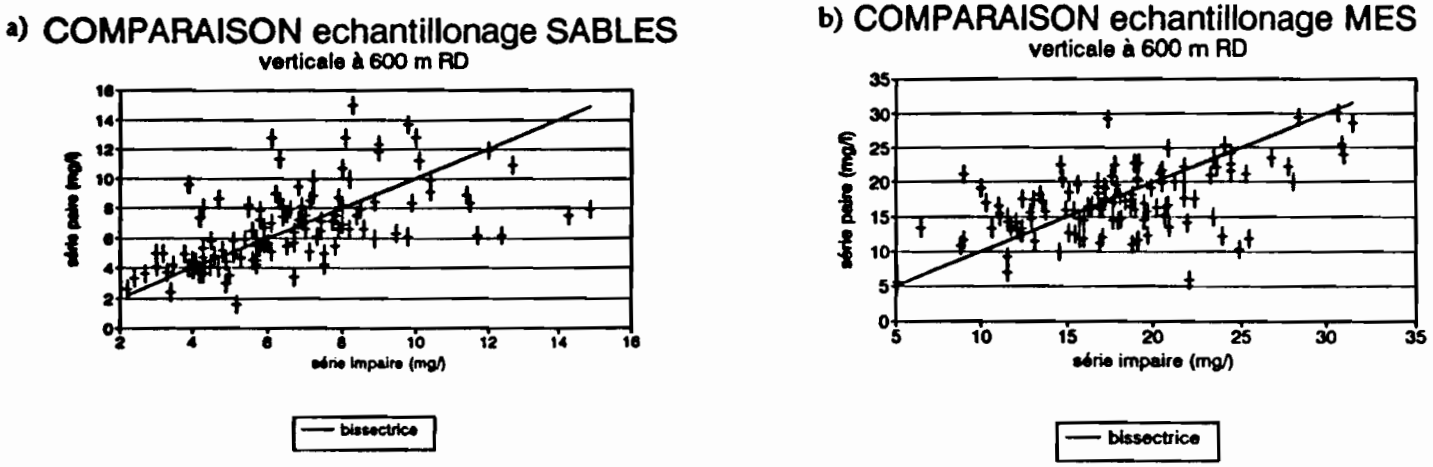


FIG 2.5 - Comparaison des séries doubles de prélèvements mensuels sur la verticale V600m



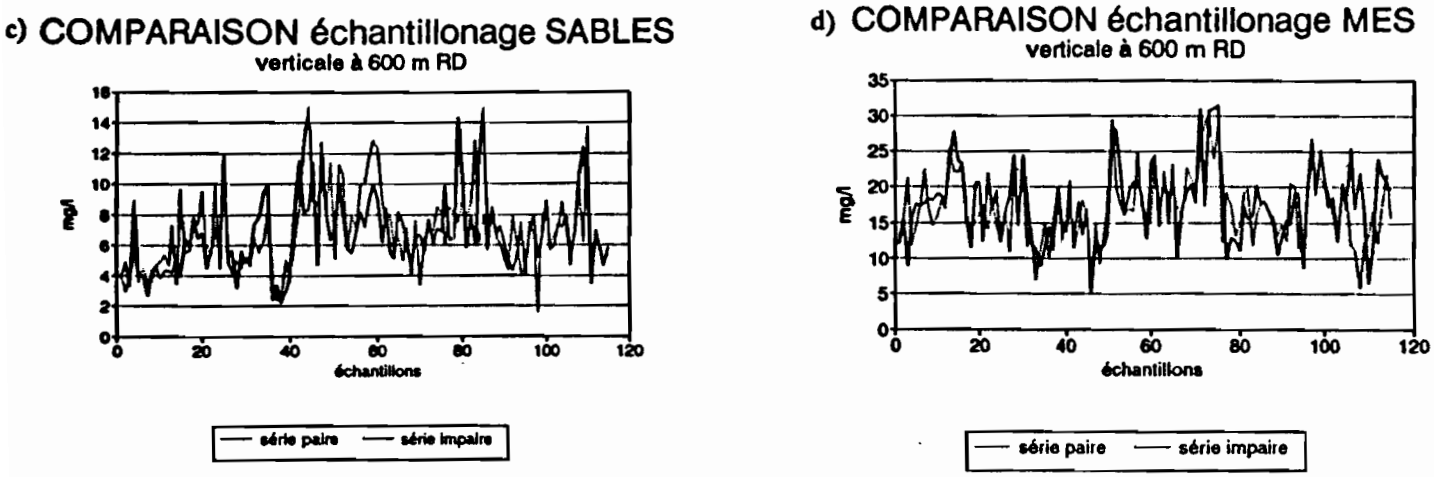
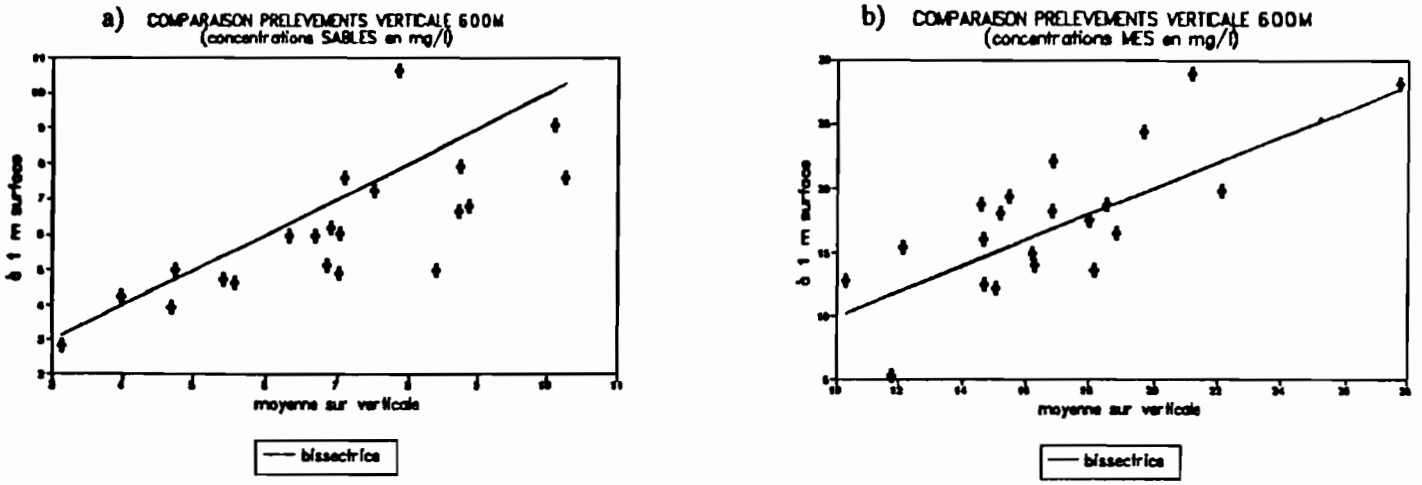


FIG 2.6 - Comparaison des prélèvements de surface avec moyenne des prélèvements sur la verticale V600



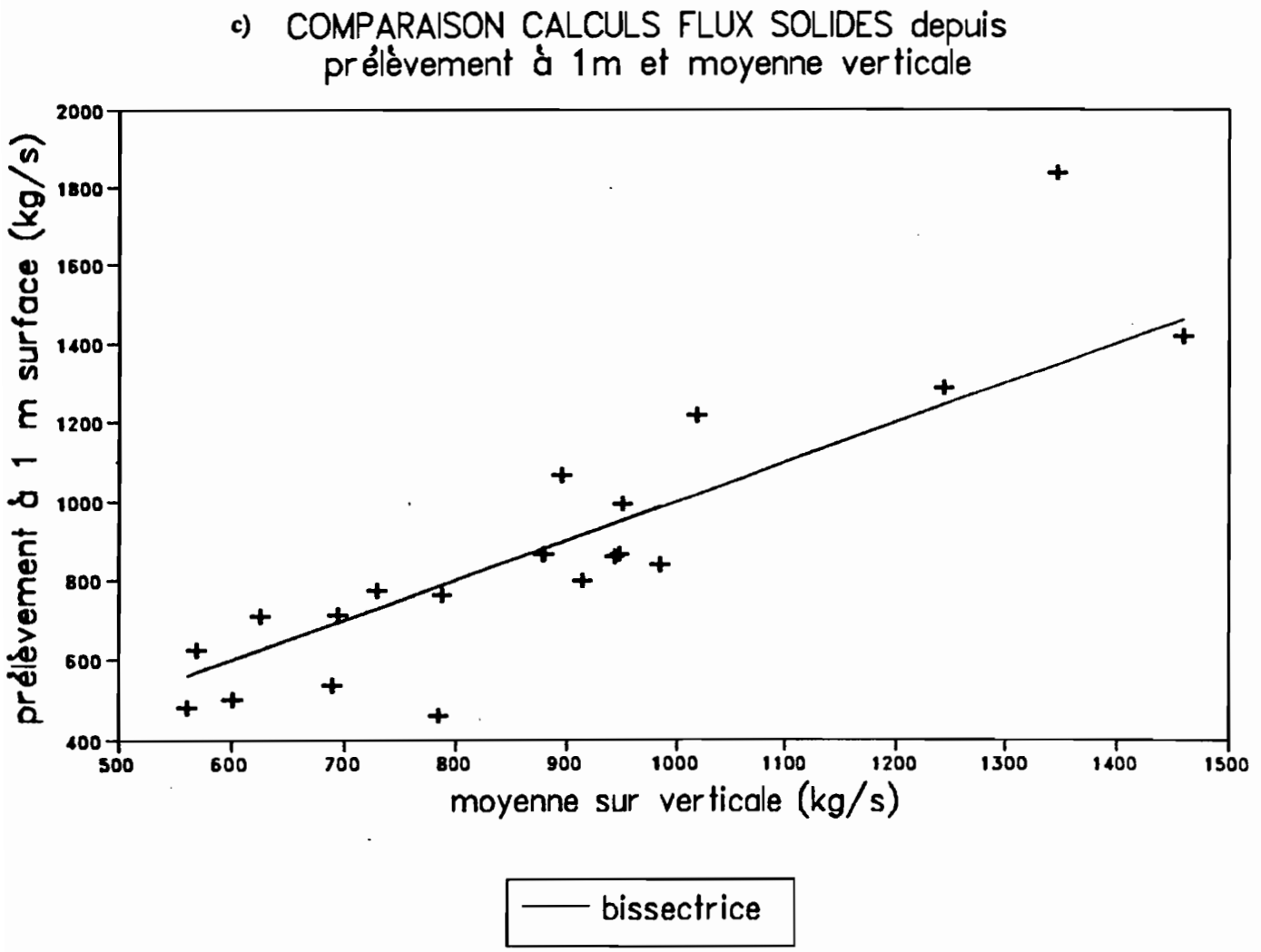


FIG 2.7 - Comparaison flux de matières à l'amont et à l'aval du Stanley Pool

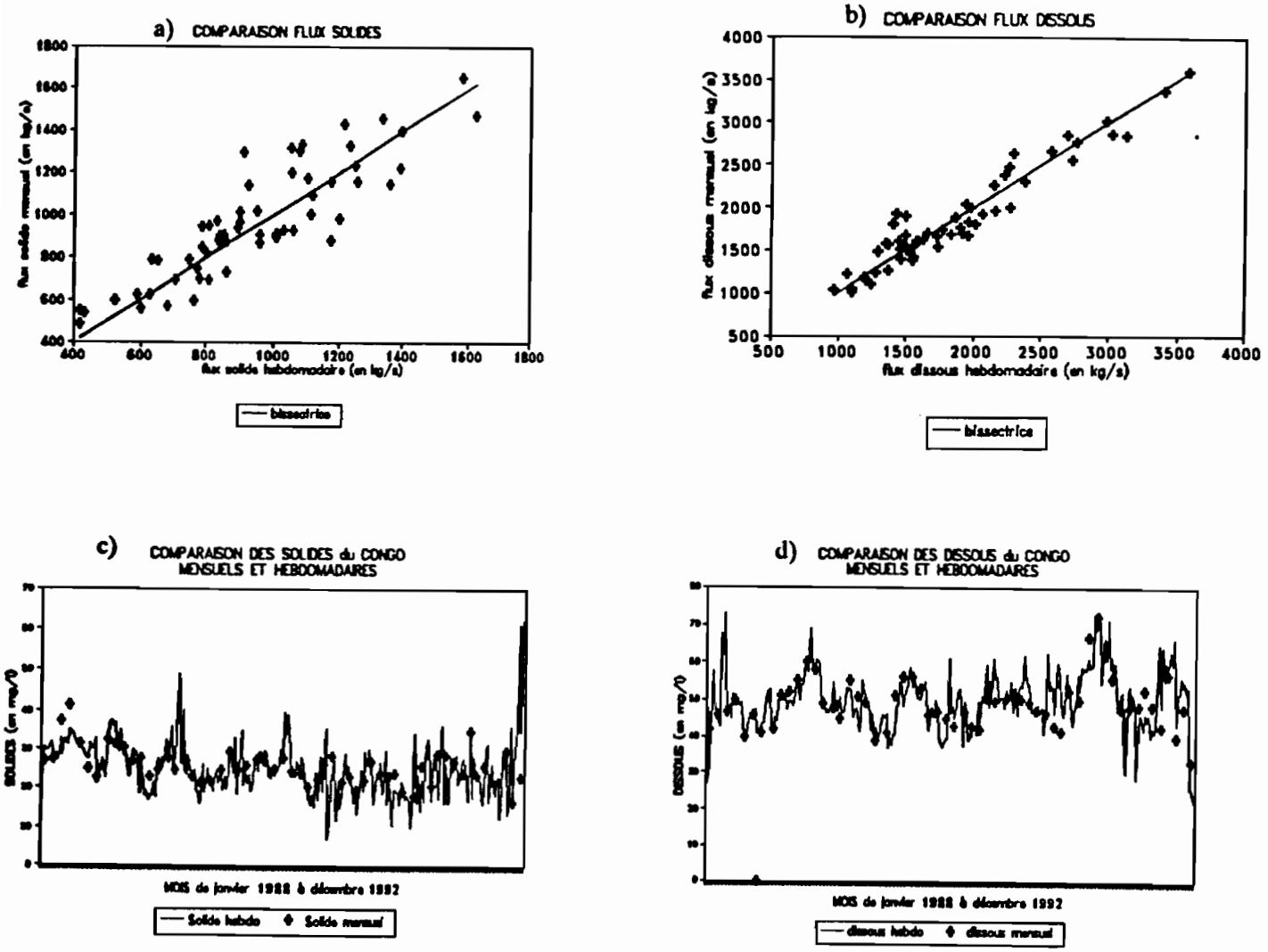


FIG 2.8 - COMPARAISON FLUX TOTAUX

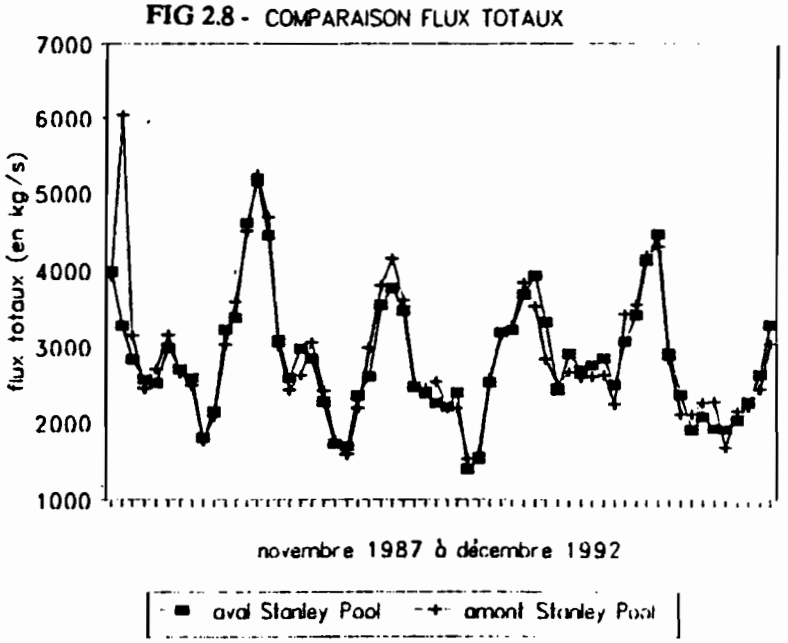
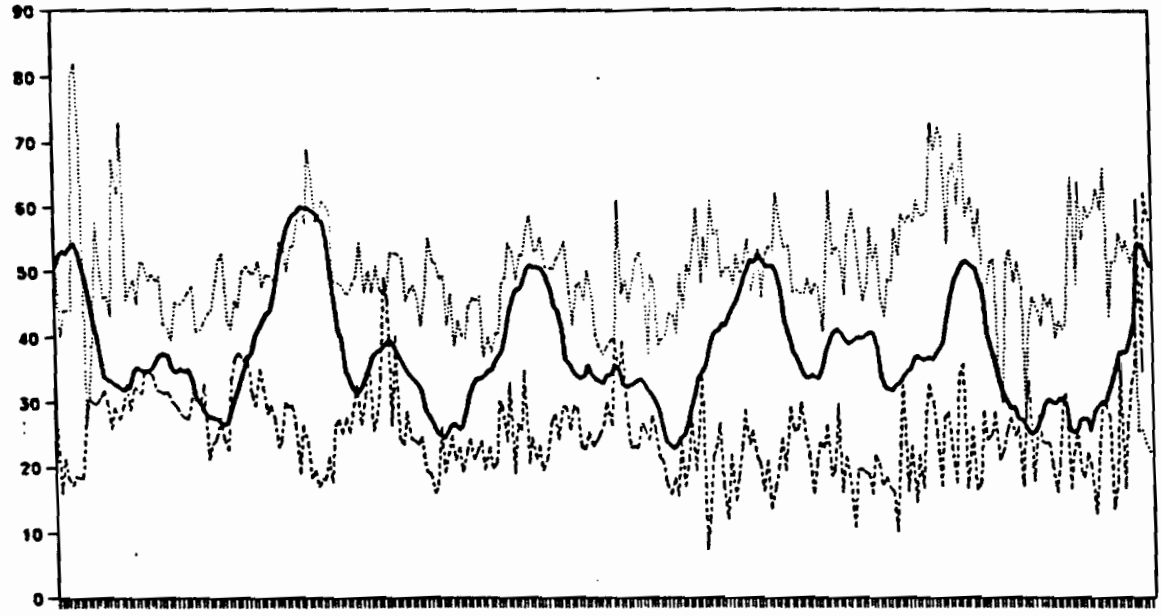


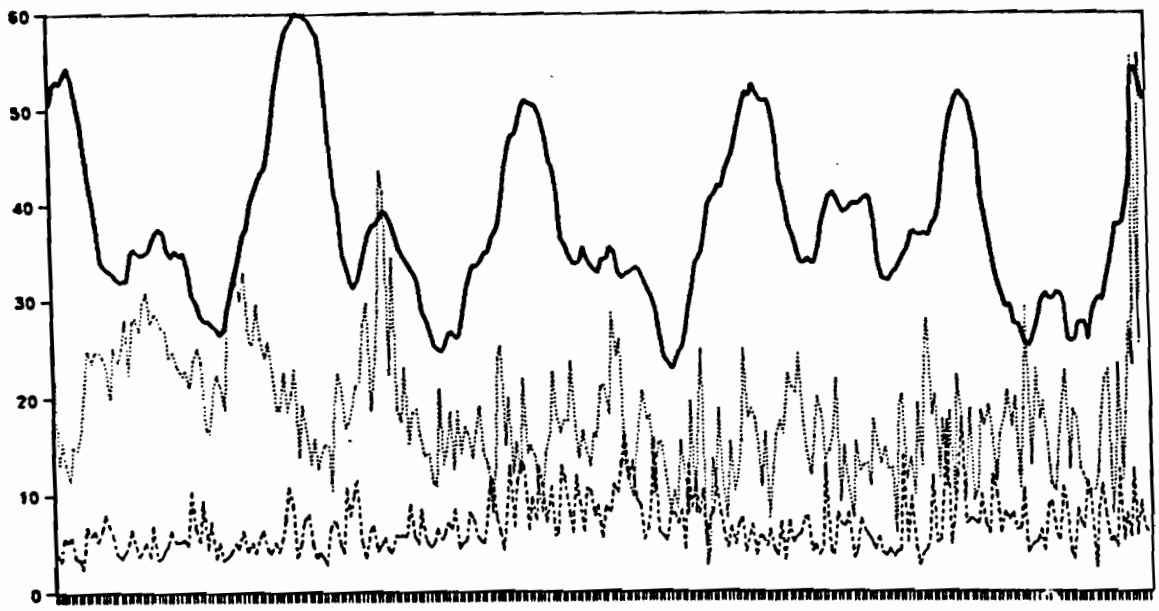
FIG 2.9 a) VARIATIONS HEBDOMADAIRES DU DEBIT ET CONCENTRATIONS DU CONGO A BRAZZAVILLE



MOIS de novembre 1987 à décembre 1992

débits (x10^3m3/s) ····· solides (mg/l) ····· dissous (mg/l)

FIG 2.9 b) VARIATIONS HEBDOMADAIRES DU DEBIT ET CONCENTRATIONS DU CONGO A BRAZZAVILLE

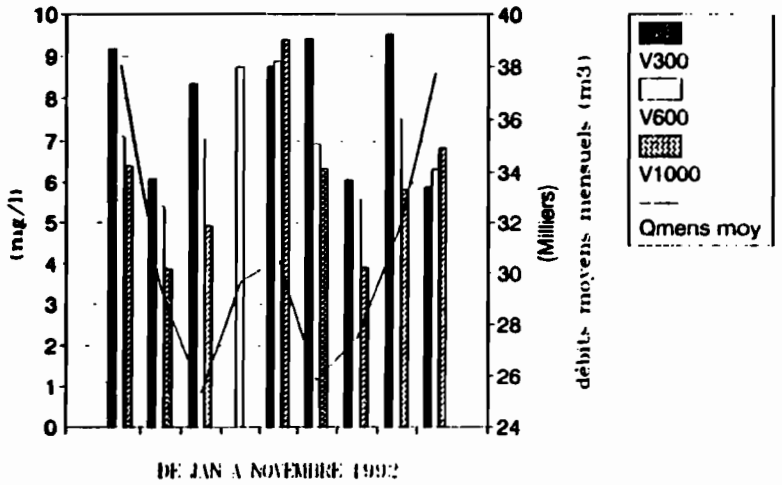


MOIS de novembre 1987 à décembre 1992

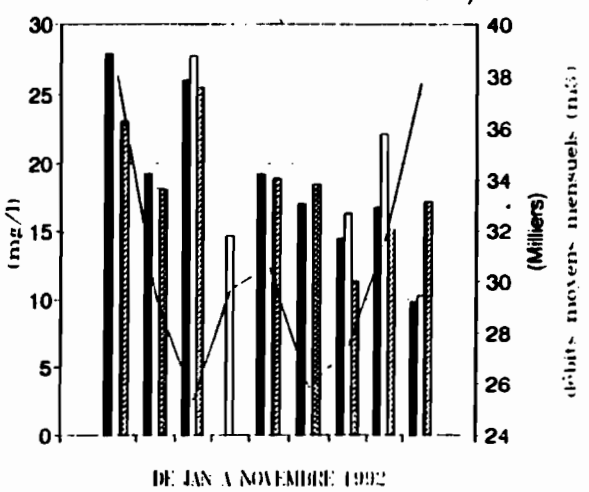
débits (x10^3m3/s) ····· sables (mg/l) ····· MES (mg/l)

FIG 2.10 -

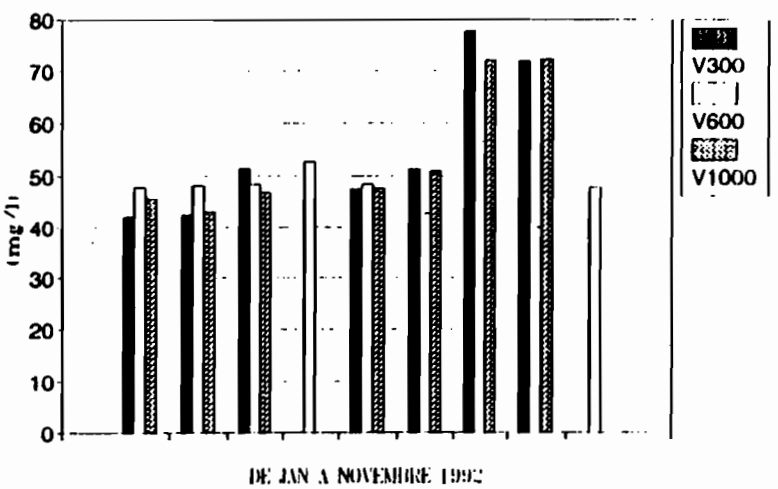
a) COMPARAISON CONCENTRATIONS SABLES
suivant 3 verticales / RD



b) COMPARAISON CONCENTRATIONS MES
suivant 3 verticales / RD



c) COMPARAISON CONCENTRATIONS DESSOUS
suivant 3 verticales / RD



d) CONCENTRATIONS SABLES MES DESSOUS
suivant 3 verticales / RD

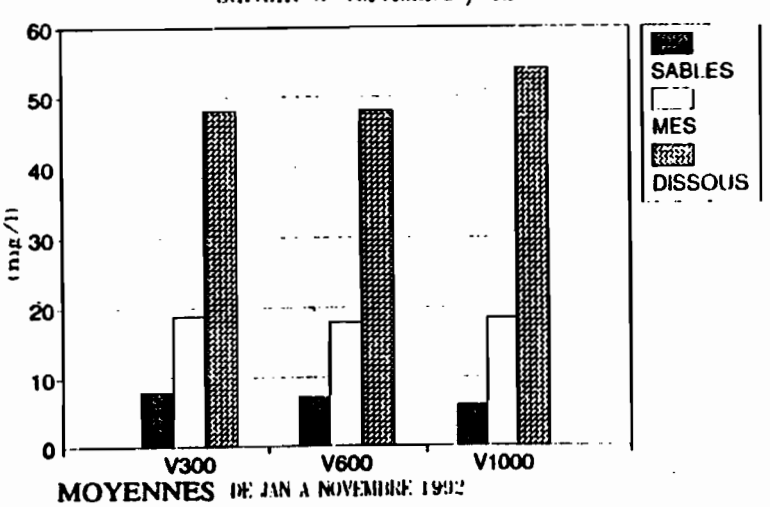


FIG 2.11 a - VARIATION SABLES CONGO PK 610 – 50
sur verticale moyenne en mg/l

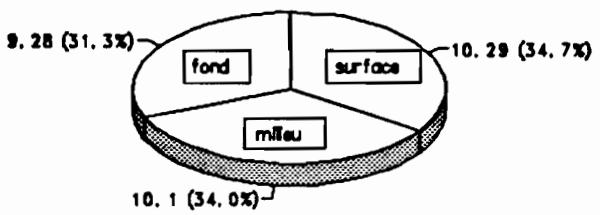


FIG 2.11 b - VARIATION MES CONGO PK 610 – 50
sur verticale moyenne en mg/l

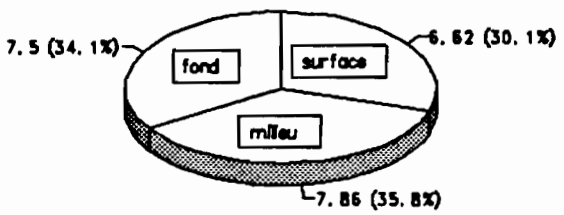


FIG 2.12 a - MOYENNE TRANSPORTS SOLIDES ET DISSOUS
CONGO PK 610 – 50

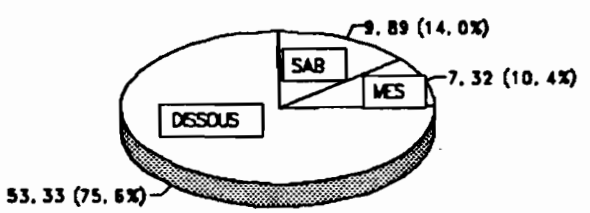
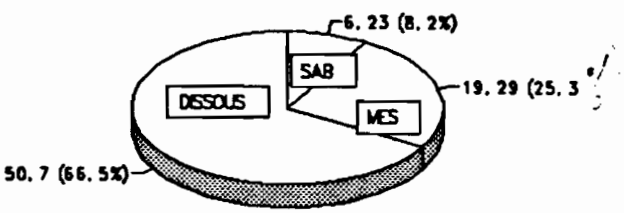


FIG 2.12 b - MOYENNE TRANSPORTS SOLIDES ET DISSOUS
SUR VERTICALE 600 m – CONGO 1987–92



ANNEXES

Annexe 2.1 - CORRELATIONS des TRANSPORTS DU CONGO A BRAZZAVILLE

CORRELATIONS	R	ET	nombre couples	
SABp = 0,62 x SABi + 2,66	0,58		120	(A
MESp = 0,62 x MESi + 7,28	0,56		120	
SABm = 0,787 x SAB1 + 2,14	0,75		21	(B
MESm = 0,524 x MES1 + 7,68	0,74		21	
MESTm= 0,519 x MEST1 + 11,54	0,80		21	
SABcng et SABbad	0,006		58	(C
MEScng = 0,58 x MESbad + 7,69	0,68	3,37	58	
MESTcng = 0,64 x MESTbad + 9,31	0,71	3,18	58	
DIScng = 0,74 x DISbad + 12,3	0,82	3,90	58	
TOTcng = 0,84 x TOTbad +11,67	0,75	5,36	58	
FMESTcng = 0,89 x FMESTbad + 129	0,88		120	(D
FDIScng = 0,94 x FDISbad + 99	0,96		120	

Légende :

SAB, MES, MEST= concentrations en sables, matière en suspension et solides totaux (sables + MES) en mg/l.
FMEST, FDIS = flux solides et dissous en kg/s.
m, 1 = concentration moyenne sur la verticale (600m) et concentration à 1 m de profondeur (en mg/l).
cng, bad = lieux de prélèvements en amont et aval du Stanley Pool.
i, p = concentrations moyennes des séries paires et impaires des prélèvements mensuels sur la verticale (600m) du couloir (en mg/l).
R = coefficient de correlation
ET = écart type

Annexe 2.2 - Concentrations au BAD et au CNG (à 1m de profondeur et valeurs moyennes sur verticale V 600)

- étude menée en 1991 et 1992 -

	BAD					CNG					CNG 1 m				
	DATE	DEBIT jour	Sab	MeS	MeSTota mg/l	Mesto kg/s		date jj/mm/aa	Sab mg/l	Mes mg/l	Mesto mg/l	Mesto kg/s	Sab mg/l	Mes mg/l	Mesto mg/l	Mesto kg/s
	16-Jan-91	50800	6,2	17,4	23,6	1199	*	16/01/91	4,7	14,7	19,4	986	4,0	12,6	16,5	838
	15-Fév-91	39900	7,1	22,3	29,4	1173		15/02/91	4,0	18,0	22,0	879	4,3	17,5	21,7	866
	17-Avr-91	38000	13,0	13,5	26,5	1007		17/04/91	6,7	16,9	23,6	896	6,0	22,1	28,1	1068
	16-Mai-91	39600	6,6	15,0	21,6	855		20/05/91	6,9	16,3	23,1	915	5,2	15,0	20,1	796
	13-Jun-91	40000	7,3	12,4	19,7	788		13/06/91	4,8	18,8	23,6	944	5,0	16,5	21,5	860
	13-Jui-91	38000	5,5	15,0	20,5	779		15/07/91	7,0	12,1	19,2	728	5,0	15,5	20,4	775
	19-Aou-91	33000	4,1	19,0	23,1	762		19/08/91	3,1	15,1	18,2	601	2,9	12,3	15,1	498
	18-Sep-91	37000	2,6	19,3	21,9	810		18/09/91	10,3	15,5	25,7	952	7,6	19,3	26,9	993
	21-Oct-91	38200	5,3	11,7	17,0	649		21/10/91	8,7	11,8	20,5	784	6,7	5,4	12,0	458
	18-Nov-91	46400	4,7	18,6	23,3	1081		15/11/91	7,8	21,2	29,0	1346	10,7	28,9	39,6	1835
	19-Dec-91	51000	7,4	18,8	26,2	1336		19/12/91	10,1	18,5	28,6	1460	9,1	18,8	27,9	1420
	18/01/92	38100	5,9	19,1	25,0	953	*	20/01/92	7,1	19,6	26,7	1018	7,6	24,4	32,0	1217
	22/02/92	29200	7,2	20,5	27,7	809		20/02/92	5,4	18,2	23,6	689	4,8	13,7	18,4	537
	25/03/92	25300	4,0	29,2	33,2	840		26/03/92	7,1	27,7	34,8	880	6,1	28,2	34,3	867
	22/04/92	29700	4,1	19,6	23,7	704		22/04/92	8,7	14,6	23,4	694	8,0	16,0	24,0	711
	20/05/92	30600	5,3	15,4	20,7	633		20/05/92	8,9	16,9	25,8	788	6,8	18,2	25,0	765
	15/07/92	25800	8,4	17,9	26,3	679		15/07/92	6,9	15,2	22,1	570	6,2	18,0	24,2	624
	13/08/92	25700	10,0	10,4	20,4	524		13/08/92	5,6	16,3	21,9	562	4,7	14,0	18,7	479
	18/09/92	32000	5,2	22,7	27,9	893		17/09/92	7,5	22,2	29,7	950	7,3	19,6	27,1	866
	15/10/92	37700	5,2	11,4	16,6	626		16/10/92	6,3	10,3	16,6	626	6,0	12,6	18,6	709
	16/12/92	54300	9,3	25,4	34,7	1884		16/12/92	8,4	14,6	22,9	1248	5,0	18,7	23,7	1287
	moy	37157	6,4	17,8	24,2	904		moy	7,0	16,9	23,8	882	6,1	17,5	23,6	880
	min	25300	2,6	10,4	16,6	524		min	3,1	10,3	16,6	562	2,9	5,4	12,0	458
	max	54300	13,0	29,2	34,7	1884		max	10,3	27,7	34,8	1460	10,7	28,9	39,6	1835

Légende :

SAB = sables

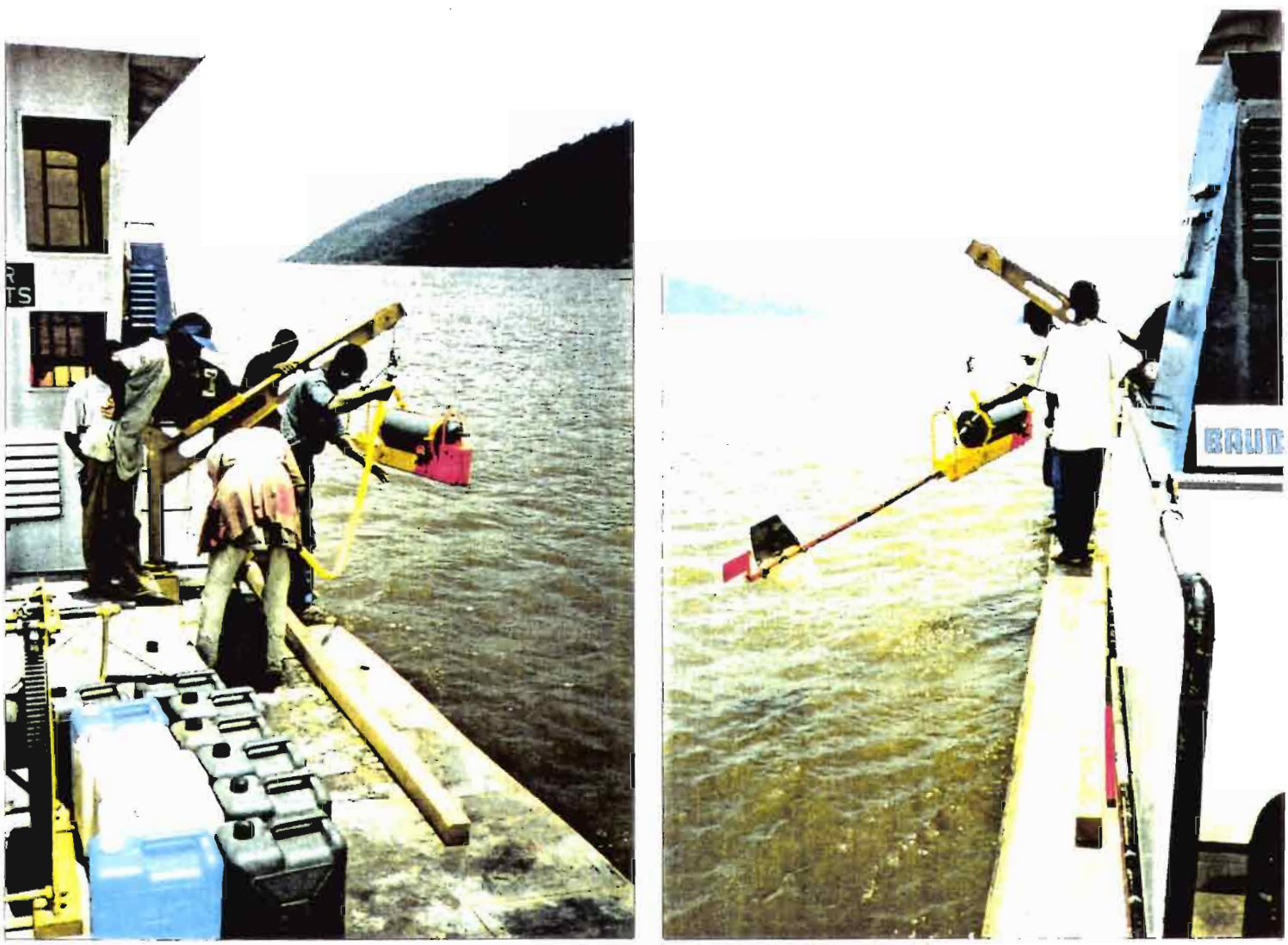
MES = matière en suspension

MEST = MES + SAB

PHOTOS

Photos 2.1 - Vues panoramiques d'une partie du Stanley Pool en hautes eaux et basses eaux (noter les bancs de sables).

Photo 2.2 - Vue du couloir du Congo en amont du Stanley Pool où ont lieu les opérations mensuelles PEGI.



Photos 2.3 - Vues 3/4 avant et 3/4 arrière du saumon préleveur utilisé sur le Congo

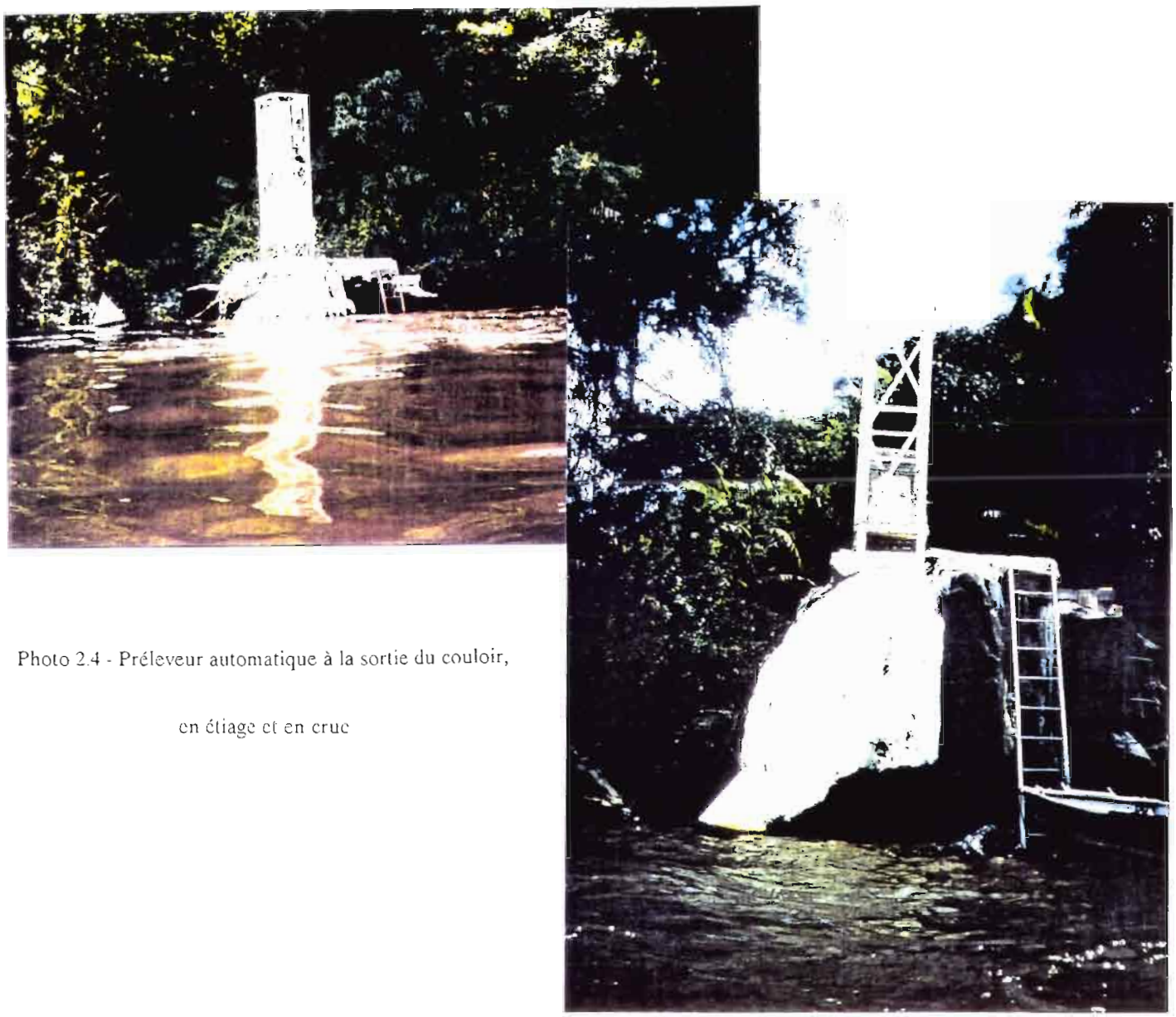


Photo 2.4 - Préleveur automatique à la sortie du couloir,

en étiage et en crue

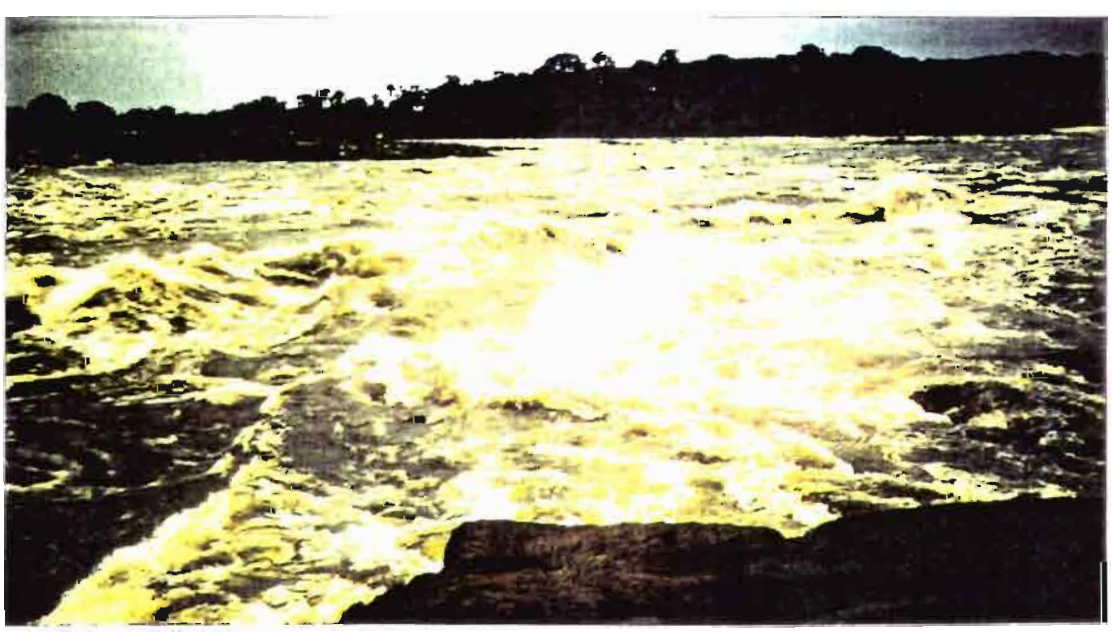


Photo 2.5 - Les rapides du Djoué sur le Congo, en aval du Stanley Pool

LES TRANSPORTS DE MATIERES

DU FLEUVE CONGO

(A.LARAQUE [1], J.P.BRICQUET [2], M.BERTHELOT [3], J.C.OLIVRY [4])

1 chercheur ORSTOM - BRAZZAVILLE - CONGO
2 chercheur ORSTOM - BAMAKO - MALI
3 technicien ORSTOM - BRAZZAVILLE - CONGO
4 directeur de recherche - ORSTOM - BAMAKO - MALI

3 LES TRANSPORTS

Les travaux effectués antérieurement pour tenter d'évaluer les transports de matière du fleuve Congo ont été réalisés, pour la plupart, sur la base de quelques mesures ponctuelles à partir d'échantillons de surface prélevés sans périodicité régulière. Les résultats publiés sont ainsi assez disparates. La plus longue série de mesures effectuées par GIRESSE (NKOUNKOU, 1985) couvre néanmoins trois cycles hydrologiques entre 1974 et 1976 au pas de temps mensuel, mais avec cependant des lacunes d'observations.
La chronique de données obtenue sur le Congo dans le cadre du programme PEGI est la première en son genre du point de vue de sa régularité, périodicité, durée et précision.
Entre 1987 et 1992, ce sont 73 opérations de mesures in situ, prélèvements, traitements et dosages d'échantillons au pas de temps mensuel couvrant ces 6 années, soit 5 cycles hydrologiques complets, qui ont été effectuées.

Pour la période d'étude concernée (1987-92), les tableaux 3.1 présentent les moyennes annuelles des concentrations, les bilans et les flux annuels ainsi que les exportations spécifiques pour les différentes composantes des transports de matière. Les données de base à partir desquelles ces moyennes ont été calculées, se trouvent dans l'annexe 3.1.
Nous privilégerons ici le raisonnement par cycles hydrologiques plutôt que par année calendaire. De toute façon ces deux types d'approche donnent des résultats très semblables.
Pour ces cinq cycles, les variations saisonnières et interannuelles de ces différents transports ont été également calculées.

3.1 CONCENTRATIONS, FLUX ET BILANS ANNUELS DES EXPORTATIONS (1987-92) :

3.1.1 - Les concentrations :

La totalité de ces transports (moyenne interannuelle de 76,2 mg/l) se répartit en 34% de transports particulaires (25,8 mg/l) et 66% de transports dissous (50,4 mg/l).
Les **transports solides** contiennent 6,54 mg/l de sables et 19,27 mg/l de matière en suspension proprement dites (ou MES) qui correspondent aux fractions comprises entre 50 et 0,45 um (fig 3.1).
Les concentrations en MES sont proches de celles trouvées par GIBBS (1967) et MOLINIER (1979) et par contre, différent des autres auteurs, comme VAN MIERLO (1926), DEVROEY (1941), NEDECO (1959), HOLEMAN (1968) et VAN DER LIDEN (1975), parfois du simple au double (Cf annexe 3.3).
Les différentes méthodes de collecte et de traitement des échantillons, le choix des normes de séparation des fractions solides et les approximations dans les évaluations annuelles souvent réalisées à partir de quelques données ne couvrant pas plusieurs cycles hydrologiques ou alors que des fractions de cycles, sont à l'origine de tels écarts. Encore faut-il bien distinguer chez chaque auteur, les matières en suspension totales

(> 0,45 um) incluant les sables, des MES au sens strict comprenant uniquement les fractions silteuses et argileuses, avant d'entamer toute comparaison.

Les résultats de dosages effectués en 1987 et 1992 (8 pour chaque année - Cf annexe 3.2), permettent d'évaluer à environ 6%, la proportion de carbone organique particulaire (COP) parmi les MES. Ce pourcentage faible concorde avec les 7% calculés par NKOUNKOU (1985) à partir des données de KINGA MOUZEO (1982). CADEE (1982) estime pour sa part, ce pourcentage à 4,66%.
Les concentrations en COP sont ainsi très faibles (moyennes de 1,33 mg/l en 1987 et 1,63 mg/l en 1992), elles entrent dans la gamme des valeurs (1,1 à 2,5 mg/l), présentées par KINGA MOUZEO (1986) à partir des échantillons prélevés sur le Congo en 1976 et 1983.

Les 50,4 mg/l de **matière dissoute** moyenne (MD), contiennent 72% de matière minérale (ou *total dissolved solids* : TDS soit 36,35 mg/l) et 28% (soit 14,13 mg/l) de matière organique (MOD). L'essentiel de la matière organique est donc sous forme dissoute.
Cette MOD a été calculée pour chaque échantillon d'eau, par différence entre la matière dissoute totale (MD) qui correspond au résidu sec à 105°C et la matière minérale dissoute (TDS).
Cette dernière, quant à elle, est composée de 73,7% d'éléments dissous ionisés (CTD = sommes des cations et anions dosés au laboratoire). Le reste, soit 26,1% est composé d'oxydes minéraux neutres en solution où la silice (9,49 mg/l de SiO_2) domine exclusivement sur des quantités négligeables de Fe_2O_3 et Al_2O_3.

3.1.2 - Les flux :

En terme de flux, nous obtenons un débit total de 2914 kg/s de matière, répartie respectivement en 975,2 et 1938,7 kg/s de transports solides et dissous (Cf tab 3.1c).
Les solides se décomposent en 250,6 et 724,6 kg/s de sables et MES, tandis que les dissous se subdivisent en 1327,7 et 611 kg/s de matière minérale et de matière organique.
Solidogrammes et hydrogrammes du Congo sont semblables. Les faibles valeurs des concentrations en solides et dissous et leurs faibles variations saisonnières, pas toujours synchrones avec celles des débits sont en fait controlées et occultées par les très fortes valeurs des débits du fleuve (fig 3.8 a et b).

3.1.3 - Les bilans :

Les $91,8 \times 10^6$ tonnes de matière exportées annuellement sont constituées de 33,5% de solides soit $30,7 \times 10^6$ tonnes dont $7,9 \times 10^6$ tonnes de sables (SAB) et $22,8 \times 10^6$ tonnes de matière en suspension (MES), ainsi que de 66,5% de matière dissoute (MD), soit $61,1 \times 10^6$ tonnes réparties en $42,1 \times 10^6$ tonnes de minéraux dissous (TDS) et 18×10^6 tonnes de matière organique dissoute (MOD) (Cf tab 3.1b).
Ces valeurs de transports solides sont en accord avec les $31,2 \times 10^6$ t/an de GIBBS (1967), les autres auteurs trouvant des résultats toujours plus élevés (Cf annexe 3.3).

Ainsi, en moyenne par année hydrologique, si le fleuve Congo vient en deuxième position pour son exportation liquide, (1188 x 10^9 m^3), il ne se trouve qu'en neuvième place pour ses exportations totales de matière (91,8 x 10^6 tonnes), comparé aux douze autres grands fleuves de la planète (tab 3.2).
Durant cette période d'étude, il a donc exporté 544 x 10^6 tonnes de matière dont 181 x 10^6 de solides et 363 x 10^6 de dissous, pour un volume liquide de 7100 milliards de m^3.

3.2 VARIATIONS SAISONNIERES ET INTERANNUELLES

Si les variations interannuelles des débits de cette période d'étude (1,16) sont plus faibles que celles portant sur les 90 années enregistrées (1,65), en revanche les variations saisonnières sont un peu plus élevées pour cette période : moyenne de 1,90 contre 1,74. Ces dernières sont dues à des étiages plus prononcés et proches des minimas observés sur les 90 années précédentes alors que chaque crue principale correspond à peu près à la crue moyenne interannuelle.
Il en est ainsi des variations des autres paramètres dont les rapports des moyennes extrêmes intercycles annuels sont plus faibles que les rapports saisonniers (moyenne mensuelle maximum/moyenne mensuelle minimum) : 1,13 contre 1,86 pour les concentrations totales, 1,19 contre 2,51 pour les flux totaux et par conséquent pour les bilans de matières transportées (fig 3.2 et tab 3.1b).

Au sein des **transports solides**, ce sont les **sables** qui, relativement, varient le plus. Les variations extrêmes de leurs concentrations durant une année hydrologique sont de l'ordre de grandeur de leurs concentrations moyennes durant ce même cycle. Par exemple en 1989-90 : l'écart des concentrations a atteint 8,28 mg/l pour une concentration moyenne de 7,50 mg/l !, avec un rapport saisonnier de 3,22 (Cf tab 3.1e).
Un écart similaire (16 mg/l) par rapport à la moyenne de l'année hydrologique 1991-92 (17,76 mg/l) a été noté pour les **MES**, mais ce n'est pas l'apanage des autres années pour lesquelles les écarts sont bien plus faibles que les moyennes cycliques.

Les résultats des dosages du **carbone organique particulaire** (COP) sur les années 1987 et 92 (Cf annexe 3.2), ainsi que ceux présentés par KINGA MOUZEO (1986) pour l'année 1976 montrent que ses proportions ne subissent pratiquement pas de variations saisonnières et interannuelles, les pourcentages moyens annuels des MES étant de 6,47% en 1987 et de 6,15% en 1992.

Nous retiendrons pour la période 1987-92, une variation des concentrations particulaires allant de 18,2 à 41,19 mg/l autour d'une moyenne interannuelle de 25,80 mg/l.
Pour les dissous, cette variation s'étend de 39 à 87 mg/l (moyenne : 50,4 mg/l).
Enfin pour les transports totaux, les valeurs varient entre 60,66 et 110,83 mg/l (moyenne 76,2 mg/l).

Pour obtenir une vision générale des processus de transports du fleuve, il est important d'intégrer les observations sur plusieurs années. Ainsi, nous constatons que les sables constituent en moyenne 25,7% des

tonnages de particules exportées sur ces 6 années d'étude, soit le double des 13% relevés pour l'année 1987 (OLIVRY et al, 1988), année particulièrement peu prodigue en sables avec seulement 4 millions de tonnes exportées, presque deux fois moins que la moyenne interannuelle et cela sans raison apparente.

En accord avec le régime hydrologique régulier de ce fleuve, ces rapports saisonniers ou intercycles annuels restent dans l'ensemble faibles (Cf An 3.1b) et caractérisent un régime de transport également régulier qui résulte de la combinaison de différents apports complémentaires provenant de terrains drainés variés, eux mêmes soumis à différents régimes hydrologiques suivant leurs positions australes ou boréales dans cet immense bassin versant.

Cependant, les fluctuations de quelques concentrations durant les cycles hydrologiques renseignent sur certains aspects du fonctionnement de cet immense écosystème forestier tropical.

Ainsi, l'on constate une évolution synchrone entre la courbe des concentrations en **matière organique dissoute** et la courbe des débits (fig 3.3), cette dernière étant par contre opposée à l'évolution de la matière minérale dissoute.
Les plus importantes fluctuations saisonnières (rapports mensuels extrêmes par cycle, allant de 1 à 32 !) sont rencontrées pour la MOD dont les concentrations maximums (aux alentours de 30 mg/l), s'observent en général en décembre et janvier à la principale crue de chaque cycle et les minimums en juillet-août (étiage principal), où les concentrations sont très faibles (< 5 mg/l). De telles fluctuations et ordres de grandeurs des concentrations organiques, ont déjà été enregistrées pour des affluents de rive gauche du fleuve par CLERFAYT (1956).
En période de crue, la cuvette congolaise alors inondée, libère dans le Congo une grande quantité de matière organique. Le fleuve est ainsi couvert de jacinthes d'eau et d'ilots végétaux flottants arrachés aux rives par un niveau d'eau plus haut et un courant plus fort, qui explique un tel enrichissement des eaux en matière organique. Cela est par contre accompagné d'une dilution de la **matière minérale dissoute** par l'augmentation de la masse liquide.

En effet, pour les concentrations en TDS, c'est le phénomène contraire qui se produit avec des tendances inversées par rapport à la courbe du débit (fig 3.3). On a ainsi, suivant les années hydrologiques concernées 1,33 à 1,87 fois moins de TDS en crue qu'en étiage. Dilution et concentration de la matière minérale dissoute sont donc engendrées par les alternances de crue et étiage.

Si des variations saisonnières significatives sont à noter pour les dissous, il y a par contre peu de variations interannuelles dans la répartition des différents transports (fig 3.4) et leurs variations saisonnières se reproduisent bien d'une année sur l'autre.

3.3 CORRELATIONS

Il n'y a pas de relations entre les débits et les transports solides (coefficients de corrélations inférieurs à 0,3), cependant,les débits ont pu être reliés aux transports dissous (Cf tab 3.3), avec des coefficients de corrélations assez bons ($r > 0,75$).

La relation **"concentrations en TDS - débits"** (fig 3.5) est une fonction linéaire décroissante semblable à celles de DERONDE et SYMOENS (1980), KINGA MOUZEO (1986), NKOUNKOU et PROBST (1987) :

TDS (mg/l) = $- 4,9 \times 10^{-4} \times Q$ (m^3/s) + 54,42 avec r = 0,80.

Une fonction puissance ($TDS = 4,77 \times 10^3 \times Q^{-0,46}$), très proche de la droite précédente et comparable aux régressions de NKOUNKOU et al (1990), PROBST et al (1992), peut également convenir pour ce nuage de points (Cf tab 3.3).

La CTD étant proportionnelle à la conductivité électrique, la relation **"CE - débits"** est donc similaire.

Nous pouvons dès lors estimer les débits à partir de mesures de conductivité à partir de simples sondes portables, d'après la relation : $Q = 221,33 \times 10^4 \times CE^{-1,13}$ avec r = 0,87,

où les débits sont exprimés en m^3/s et la conductivité électrique en uS/cm à 25°C.

Quant à la CTD (en mg/l), elle peut être également directement évaluée à partir d'une mesure de conductivité électrique (en uS/cm à 25°C) grâce à la formule : $CTD = 0,56 \times CE^{1,05}$ avec r = 0,86.

Cette conductivité électrique correspond à des eaux très peu minéralisées (elle varie entre 23,5 et 48,8 autour d'une moyenne de 38 uS/cm à 25°C !).

En fait, les fonctions *réciproque* et les fonctions *puissance* conviennent également avec des coefficients de corrélation semblables pour plusieurs corrélations du tableau 3.3. Il suffit de sélectionner la fonction qui épouse le mieux les formes parfois légèrement courbes des nuages de points.

Les évolutions de différentes concentrations avec les débits ne montrent pas de cycles bien définis, tels qu'on en trouve pour les rivières tropicales unimodales comme l'Oubangui (OLIVRY et al, 1988) et n'ont pas toujours des comportements bien similaires d'un cycle à l'autre.

Pour cet affluent, les transports solides augmentent en précédant la crue ce qui traduit une érosion du bassin pendant la montée des eaux et ils diminuent en même temps que les débits, ce qui correspond à l'arrêt du processus érosif avec des concentrations de décrue très faibles. L'écart entre concentrations de crue et de décrue est en général très important.

Pour le Congo, ces écarts sont relativement très faibles, et les courbes sont d'interprétation délicate pour les transports globaux en suspension et dissous.

Prenons comme exemple, l'année hydrologique 1988-89 (fig 3.6a) avec des variations de 9,9 mg/l pour les solides (moyenne annuelle 25,8 mg/l) et de 21 mg/l pour les dissous (moyenne annuelle 51 mg/l).

Les plus fortes concentrations de matières totales en suspension (septembre-octobre) précèdent le pic de crue de décembre, puis les concentrations restent stables lors de la décrue importante de février, augmentent quelque peu et curieusement à l'étiage de mars, pour enfin chuter avec le débit pendant le grand étiage de juillet-août.
Les variations très faibles (rapport des extrêmes = 1,46) et quelque peu anachroniques de ces concentrations (courbes en dent de scie serrées et plus nombreuses que celles des débits - fig 3.7) au cours des années hydrologiques, soulignent la contribution permanente au régime d'exportation du fleuve, des apports d'une région ou d'une autre du bassin versant qui se trouve en pleine activité érosive. La figure 3.7, montre en effet qu'à chaque période de montée des eaux, est associé un pic, plus ou moins important de MES qui précède le pic de crue, mais ces augmentations ne sont pas proportionnelles à l'importance des crues.

Cependant la décomposition des transports dissous (fig 3.6b) permet de dégager certaines tendances et montre que celle-ci est surtout contrôlée par les solides totaux dissous (TDS) dont les concentrations moyennes sont deux fois plus importantes que celles de la MOD.
TDS et MOD ont des comportements inverses durant l'année hydrologique. La première (fig 3.6d) diminue en crue (dilution) et augmente en étiage (concentration). Cela est très marqué pour le mode principal et plus discret pour le mode secondaire où l'on constate juste une atténuation de l'augmentation de concentration en TDS lors de la petite crue de mai. En août une baisse de la concentration va de pair avec un début précoce de la crue principale du cycle hydrologique.
La MOD (fig 3.6c) quant à elle, augmente en crue sous l'effet d'un lessivage plus intense du couvert forestier et diminue fortement pour parfois s'annuler en étiage (rapport des extrêmes = 15,87).

Quant aux variations saisonnières des concentrations en transports solides, elles sont faibles et indépendantes des débits, ce qui confirme l'origine de sources multiples et l'association complexe de régimes hydrologiques et de transports particulaires différents et complémentaires.

3.4 EXTRAPOLATIONS

En raison des faibles concentrations rencontrées, les flux et exportations de matière restent contrôlés par les puissants débits du fleuve et par conséquent évoluent parallèlement (fig 3.8 a et b). La figure 3.9 montre une relation parfaite entre tonnages de matière et volumes liquides exportés : $Y = 0,13 \times X - 64,29$ avec $r = 0,92$. Pour la série étudiée, c'est l'année 1992 qui a été la moins "active" par rapport aux "fortes" années 1987 - 1988 - 1991.

Ces observations effectuées sur cinq cycles hydrologiques complets, nous permettent d'ores et déjà de calculer des moyennes interannuelles sur les 90 années pour lesquelles le débit du fleuve est connu.

Son module interannuel de 40 600 m^3/s (soit 1280 x 10^9 m^3/an), permet, en appliquant la relation précédente, d'évaluer à 102 x 10^6 tonnes de matière l'exportation annuelle moyenne du fleuve. Cela correspond à un flux total de 3240 kg/s et donc à une exportation spécifique de 29,14 $t/km^2/an$.
Les flux particulaires en représentent 33,4% et les dissous 66,6%.
A partir des chroniques de débits, il parait dès lors possible de reconstituer des chroniques de flux de matière.

3.5 DEGRADATIONS SPECIFIQUES

L'exportation spécifique totale de matière avec une moyenne de 26,3 $tonnes/km^2/an$ est stable d'une année à l'autre avec une variation interannuelle de 1,20. Les variations interannuelles des exportations solides et dissoutes sont identiques (Cf annexe 3.1c).
C'est l'**altération chimique**, constante d'une année à l'autre (rapport des extrêmes = 1,14) qui domine donc avec 12,1 $t/km^2/an$ d'éléments mis en solution sur l'érosion mécanique. Viennent ensuite les **exportations de matière organique** avec 5,39 $t/km^2/an$ qui varient un peu plus d'une année sur l'autre (rapport des extrêmes = 1,55).
Avec une **érosion mécanique** de 8,8 $t/km^2/an$ (valeur proche de celle de GIBBS, 1967), le fleuve Congo vient en trente troisième position parmi les quarante grands fleuves de la planète (de bassin versant > 400 000 km^2 et de module > 5 000 m^3/s), qui ont des valeurs bien plus élevées : Fleuve Jaune (2150), Brahmaputre (1370), Colorado (870), Ganges (537), Mékong (435), Amazone (79), etc ...(MEYBECK, 1976 et 1984). Au sein du continent africain, il devance seulement le Sénégal (tab 3.2).
Son altération biogéochimique de 17,5 $t/km^2/an$, le place en trentième position mondiale et en première position pour l'Afrique juste avant le Zambèze.
Ces comparaisons sont indicatives et méritent d'être réévaluées, les modes opératoires et les méthodes de calculs différent d'un auteur à l'autre et d'une époque à l'autre et ne concernent pas toujours des moyennes interannuelles, qui de plus n'ont pas été établies aux mêmes périodes.
D'autre part, les exportations spécifiques calculées ici, ne sont pas corrigées par les apports atmosphériques, dont l'influence relative est d'autant plus importante que les eaux sont peu chargées.
Pour les matières dissoutes, NKOUNKOU et PROBST (1987) estiment cet apport à 34% de leurs tonnages. Les valeurs d'érosion intrinsèque du bassin versant seront donc plus faibles.

CONCLUSION

Les grandes régularités saisonnières et interannuelles des régimes des transports solides et dissous tout comme celles des régimes hydrologiques du fleuve Congo sont le résultat complexe des interactions complémentaires dans un cycle hydrologique des différentes dynamiques fluviales de ses principaux

affluents, drainant des sous bassins aux phyto-géomorphologies différentes situées de part et d'autre de l'équateur.

Face à un important module hydrologique (40 600 m^3/s), le régime des matières transportées est faible (91,8 tonnes/an soit un flux de 2914 kg/s) et est très régulier d'une année à l'autre. Il est surtout marqué par les transports en solution (66%). La proportion de matière organique dissoute (18,5%) est importante.

Cela illustre une dynamique érosive en phase terminale (26,3 tonnes/km^2/an - *"sans correction des apports atmosphériques"*), où un grand bassin versant dont le relief pénéplané (profil du fleuve inférieur à 10 cm/km et de l'ordre de 3 cm/km dans la cuvette équatoriale), couvert sur plus de la moitié de sa surface d'une forêt équatoriale, est soumis à un lessivage intense sous l'influence d'un climat humide.

Ce bassin aplani, protégé par son dense couvert forestier, n'est plus sujet à une érosion mécanique intense (33,5% de l'exportation spécifique globale) et fait par contre plutôt l'objet d'une altération biogéochimique (66,5%). C'est l'altération chimique (46%) qui domine "relativement" (car elle reste faible, les sols ayant déjà libérés la plus grande partie leurs éléments solubles), avec une part significative de matière organique dissoute (20,5% de l'exportation spécifique) qui provient de la forêt.

Cette dynamique est à rapprocher de celle du Rio Négro, principal affluent de l'Amazone qui circule essentiellement dans le bassin forestier amazonien. Cependant le fonctionnement du Congo, diffère de celui de l'Amazone dont les eaux charrient de grandes quantités de matière (4 à 5 fois plus de MES), provenant essentiellement de l'érosion intensive du flanc oriental des Andes.

Son érosion mécanique spécifique (79 t/km^2/an), 9 fois plus élevée que celle du Congo, trouve son origine principalement dans cette cordillère jeune et en surrection continue.

Il n'en reste pas moins que la contribution du fleuve Congo est importante, elle totalise la moitié des apports africains en eau douce à l'océan Atlantique. Pour tout le continent, ses exportations hydriques représentent 38%, ses apports dissous 40% et ses apports en suspension seulement 7%.

BIBLIOGRAPHIE

CADEE G.C, 1982, "Organic carbon and phytoplankton in Zaïre river, estuary and plume". In : Transport of carbon and minerals in major world rivers, Part I, ed E.T DEGENS, pa 429-432.

CLERFAYT A, 1956, "Composition des eaux de rivières du Congo - Influence des facteurs géologiques et climatiques". Centre belge d'étude et de documentation des eaux, v.31, n° 31, pa 26-31.

DERONDE.L et SYMOENS.J.J, 1980, "L'exportation des éléments dominants du bassin du fleuve Zaïre : une réévaluation". Annls Limnol. 16(2) : 183 - 188.

DEVROEY.E, 1941, "Le bassin hydrographique congolais, spécialement celui du bief maritime". Inst. Roy. Col. Belge, Sec. Sc. Techn. Mém. - Coll. 8°, III (3) : 3-160.

GAC.Y, 1980, "Géochimie du bassin du lac Tchad" - Travaux et documents de l'ORSTOM, 123, 251 p.

GIBBS.R, 1967, "The geochemistry of the Amazon river system. Part 1 : the factors that control the salinity and the concentration of suspended solids", Geol Soc of Amer. Bull., 78, pa 1203-1232.

HOLEMAN J.N, 1968, "The sediment yield of major rivers of the world. Wat. Resour. Res., 4(4) : pa 737-747.

KINGA MOUZEO, 1982, "Les suspensions organiques et minérales du fleuve Congo. Première approche d'un bilan. Rapport DEA, Univ de Perpignan, 54 p.

KINGA MOUZEO, 1986, "Transport particulaire actuel du fleuve Congo et de quelques affluents; enregistrement quaternaire dans l'éventail détritique profond (sédimentologie, minéralogie et géochimie)" - Thèse de doctorat - Université de Perpignan - 251 p.

MEYBECK.M, 1976 "Total mineral dissolved transport by world major rivers" - Hydrological Sciences - Bulletin des Sciences Hydrologiques, XXI, 2 6/1976.

MEYBECK.M, 1984 "Les fleuves et le cycle géochimique des éléments" - Thèse de doctorat d'état n° 84-85, Univ Pierre et Marie Curie, Paris VI.

MOLINIER.M, 1979, "Note sur les débits et la qualité des eaux du Congo à Brazzaville", cah ORSTOM, série hydrol, XVI, 1, pa 55-66.

NEDECO, 1959, "River studies, Niger and Benue. North Holland Publ. C., Amsterdam 1-1000.

NKOUNKOU.R.R, 1985, "Transports dissous et particulaires par le fleuve Congo - Bilans de l'altération et de l'érosion d'un grand bassin forestier tropical" - rapport de DEA de l'ULP de Strasbourg, 42 p.

NKOUNKOU.R.R et PROBST.J.L, 1987, "Hydrology and geochemistry of the Congo River System" - Mitt Geol. - Palaont. Inst Univ. Hambourg, pa 483-508.

NKOUNKOU.R.R, KREMPP G, PROBST J.L, 1990, "Géochimie et hydrologie des eaux de surface : exemple du bassin du fleuve Congo" - journées laboratoires ORSTOM BONDY, 18-20 sept 1990, coll ORSTOM : colloques et séminaires, 12 pa.

OLIVRY J.C, 1986, "Opération transport de matières sur le bassin du fleuve Congo". rapport ORSTOM, Brazzaville, 45 p, multigr.

OLIVRY J.C, BRICQUET 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, publi n°174, pa 509-521.

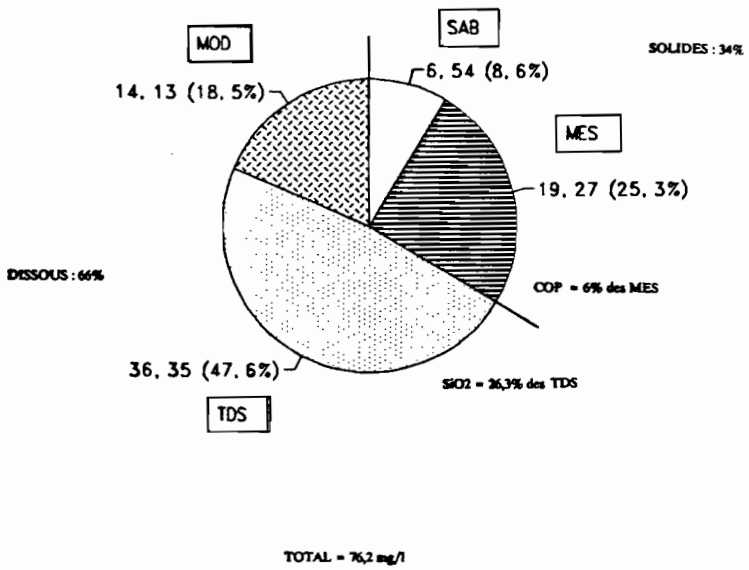
PROBST J.L, NKOUNKOU.R.R, KREMPP G et al, 1992 - "Dissolved major elements exported by the Congo and the Ubangui rivers during the period 1987-89", Journal of Hydrology.

VAN DER LIDEN.M.J.H, 1975 - "Reactions between acids and leaf liter". Premier colloque Int. Biodegradation et humification. Thèse de doctorat - université de Nancy.

VAN MIERLO J.G, 1926 - "Le mécanisme des alluvions du Congo". Annuls. ass. ingrs Ec. Gand (5), 16(3), p 349-354.

FIGURES

FIG 3.1 - REPARTITION DES TRANSPORTS DE MATIERE
/années hydrologiques - moyenne 87-92



TOTAL = 76,2 mg/l

FIG 3.2 - EXPORTATIONS DISSOUS SOLIDES LIQUIDES
MOYENNES ANNUELLES EN 10^6 t et 10^10m3

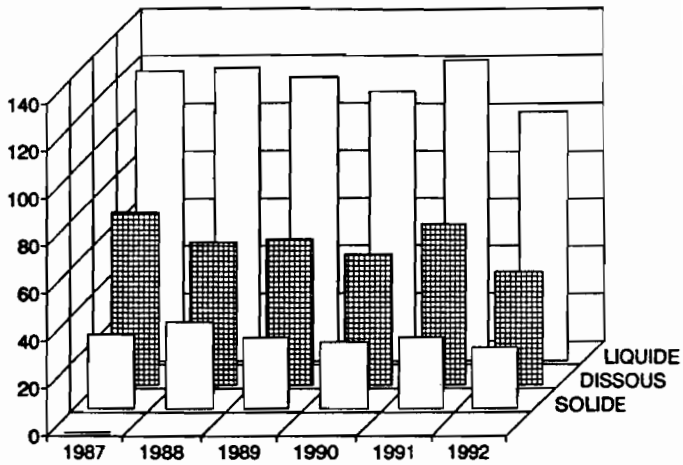


FIG 3.3 - VARIATIONS CONCENTRATIONS ET DEBITS
DU CONGO A BRAZZAVILLE

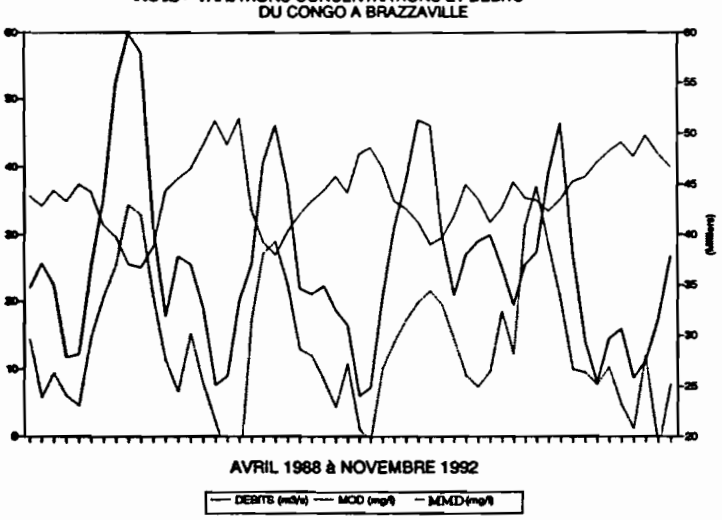


FIG 3.5 - CORRELATION MATIERE MINERALE DISSOUTE
ET DEBITS

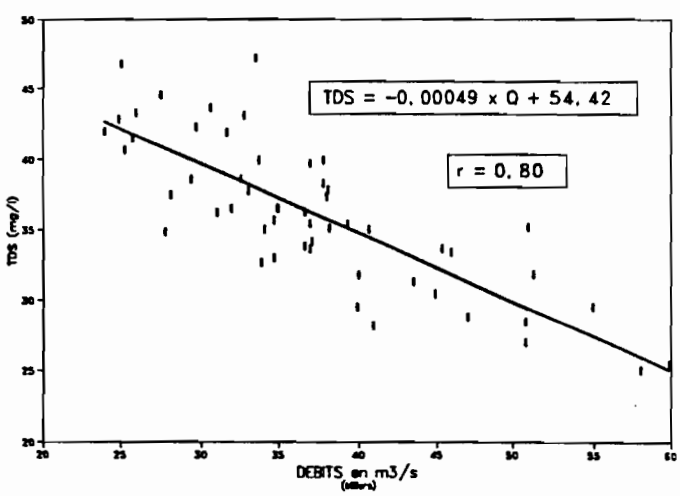
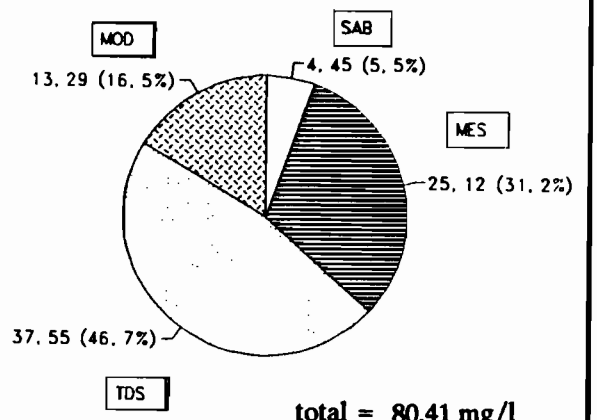


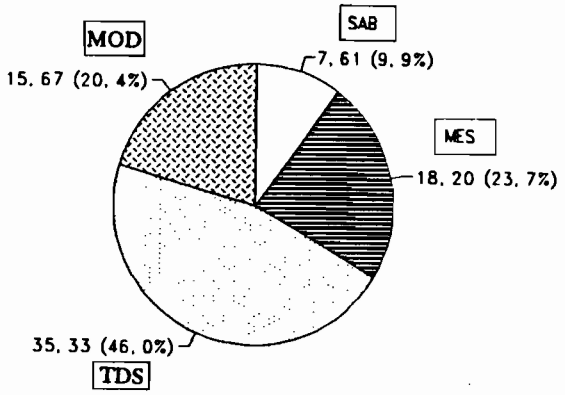
FIG 3.4 - Répartition des transports de matières du Congo à Brazzaville par années hydrologiques (en mg/l et %)

1987 - 88



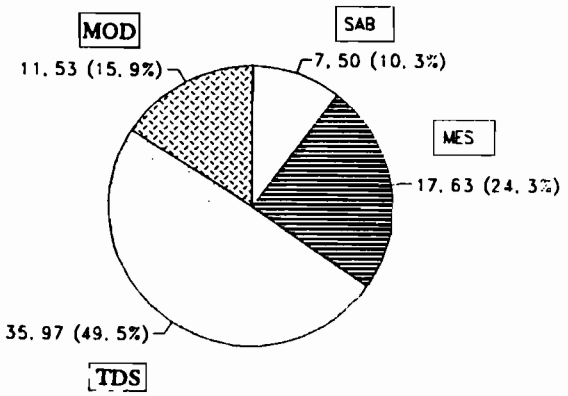
total = 80,41 mg/l

1988 - 89



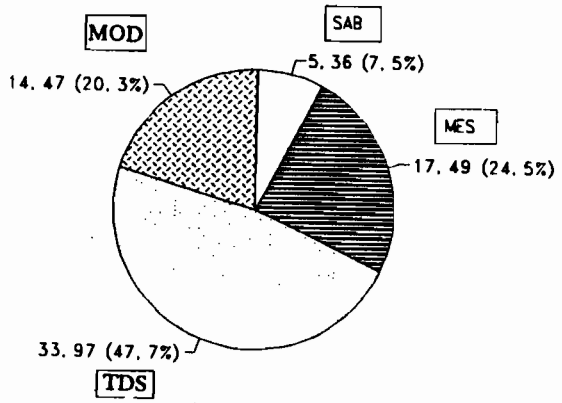
total = 76,81 mg/l

1989 - 90



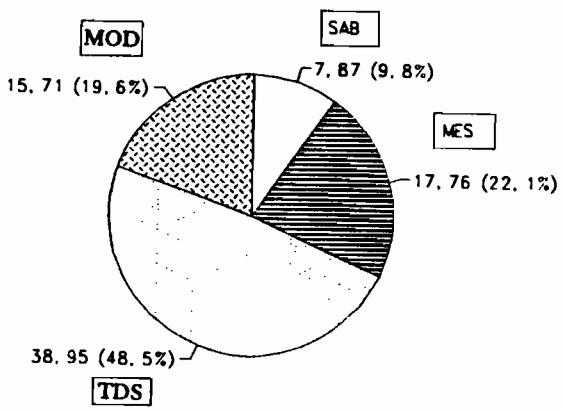
total = 72,63 mg/l

1990 - 91



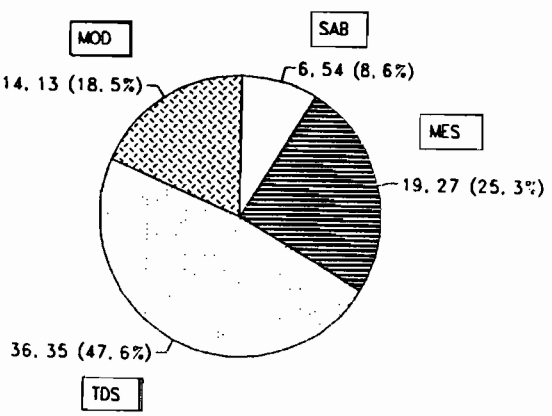
total = 71,29 mg/l

1991 - 92



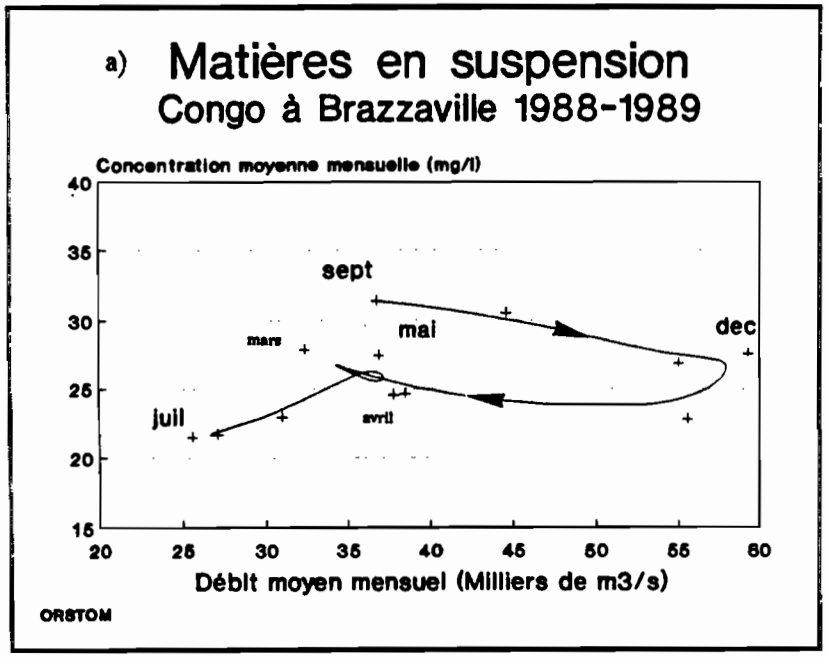
total = 80,29 mg/l

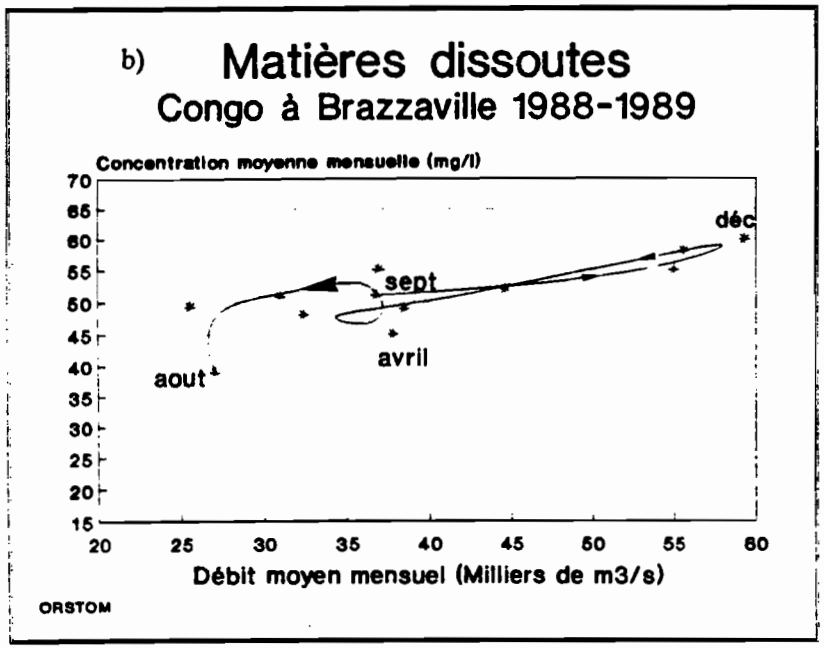
MOYENNE 1987 - 92

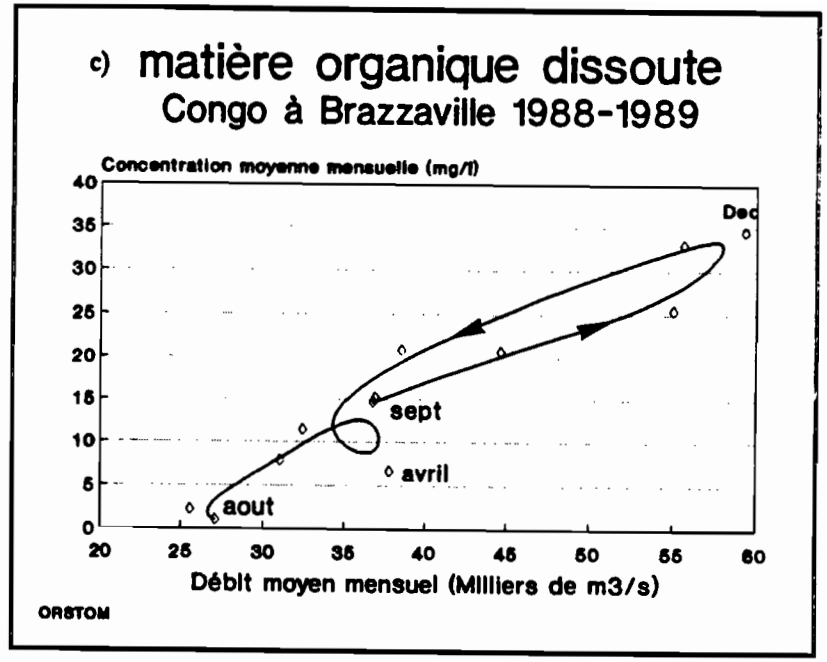


total = 76,29 mg/l

FIG 3.6 -


a) Matières en suspension
Congo à Brazzaville 1988-1989
Concentration moyenne mensuelle (mg/l)
sept
mai
dec
mars
juil
avril
Débit moyen mensuel (Milliers de m3/s)
ORSTOM


b) Matières dissoutes
Congo à Brazzaville 1988-1989
Concentration moyenne mensuelle (mg/l)
déc
sept
avril
aout
Débit moyen mensuel (Milliers de m3/s)
ORSTOM


c) matière organique dissoute
Congo à Brazzaville 1988-1989
Concentration moyenne mensuelle (mg/l)
Dec
sept
avril
aout
Débit moyen mensuel (Milliers de m3/s)
ORSTOM

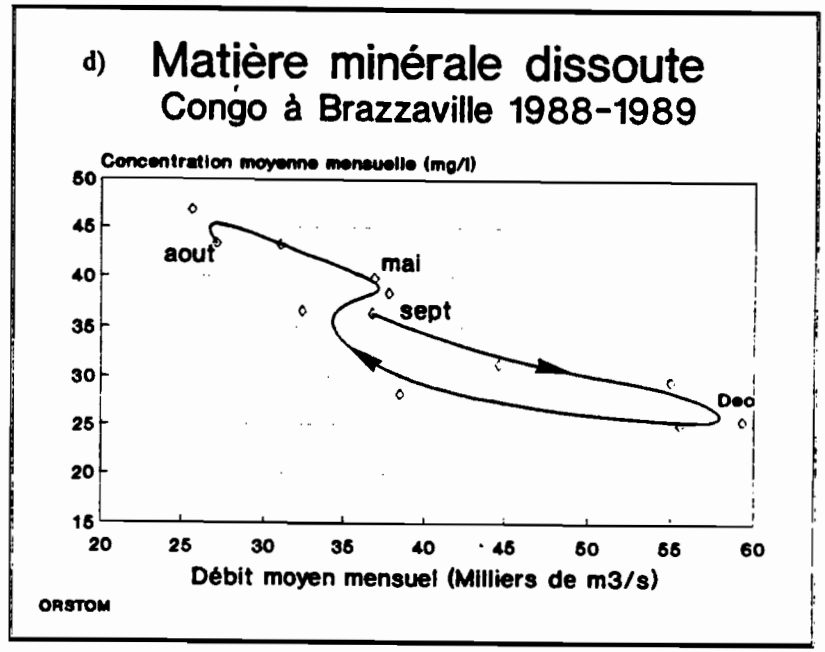

d) Matière minérale dissoute
Congo à Brazzaville 1988-1989
Concentration moyenne mensuelle (mg/l)
aout
mai
sept
Dec
Débit moyen mensuel (Milliers de m3/s)
ORSTOM

FIG 3.7 - VARIATIONS CONCENTRATIONS SABLES, MES et DEBITS DU CONGO A BRAZZAVILLE

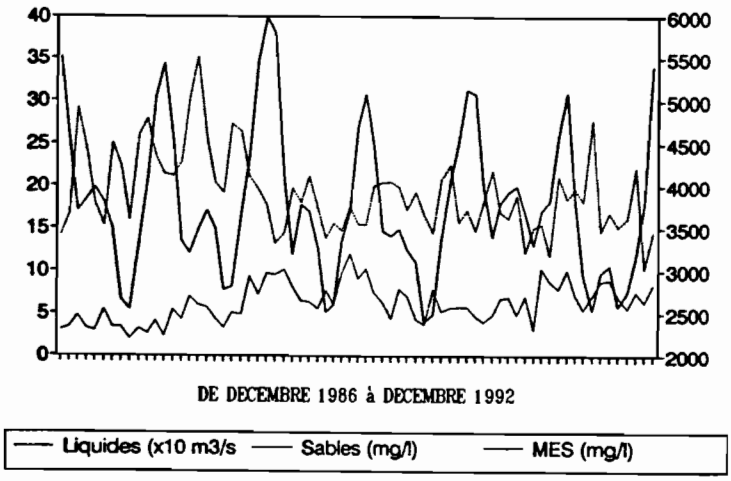


FIG 3.8 a - DEBITS SOLIDES, DISSOUS, LIQUIDES DU CONGO A BRAZZAVILLE

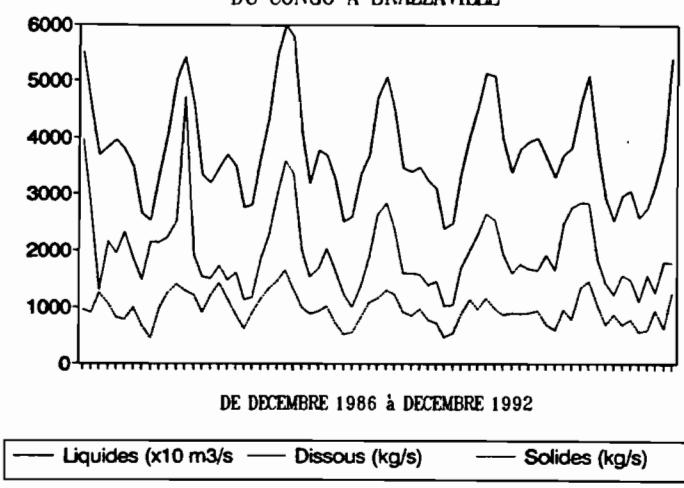


FIG 3.9 - EXPORTATIONS ANNUELLES DE 1987 à 1992
(Y = 0.13 x X - 64.29 r = 0.92)

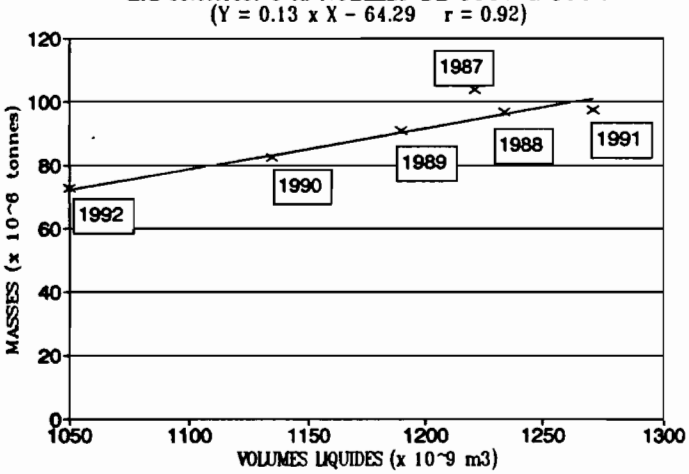
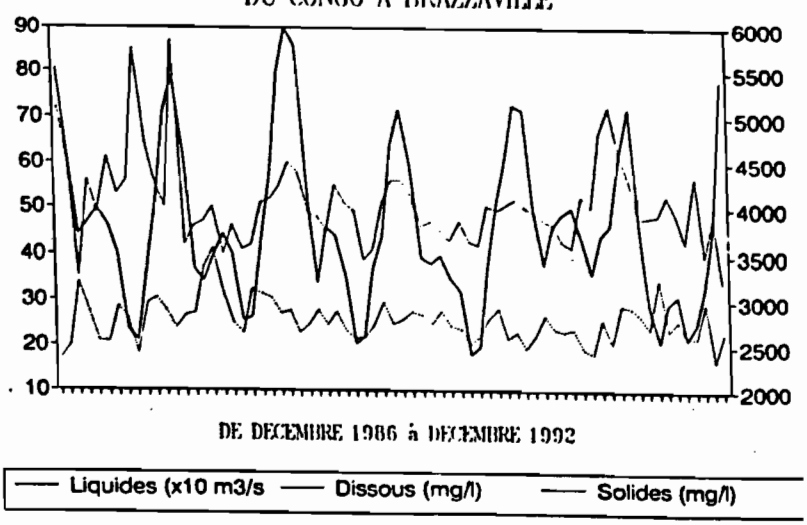


FIG 3.8 b VARIATIONS CONCENTRATIONS ET DEBITS DU CONGO A BRAZZAVILLE



TABLEAUX

TABLEAU 3.1 LES TRANSPORTS DU CONGO A BRAZZAVILLE (par annees hydrologiques)
(valeurs moyennes annuelles)

annees / transports	1987-88	1988-89	1989-90	1990-91	1991-92	moyenne	R1	R2	
SOLIDES	29,57	25,80	25,14	22,85	25,64	25,80	1,43	1,29	
sables	4,45	7,61	7,50	5,36	7,87	6,54	1,61	1,77	
MES	25,12	18,20	17,63	17,49	17,76	19,27	1,56	1,44	
									A) - LES CONCENTRATIONS (mg/l)
DISSOUS	50,80	51,00	47,50	48,50	54,70	50,40	1,35	1,15	
TDS	37,55	35,33	35,97	33,97	38,95	36,35	1,30	1,15	
MOD	13,29	15,67	11,53	14,47	15,71	14,13	5,17	1,36	
TOTAL	80,40	76,80	72,60	71,30	80,30	76,20	1,86	1,13	
LIQUIDES (x10^9 m3)	1188,00	1263,00	1133,00	1265,00	1092,00	1188,00	1,90	1,16	
SOLIDES	34,80	33,20	28,70	28,90	28,00	30,70	2,35	1,24	
sables	5,20	10,00	8,80	6,80	8,80	7,90	2,73	1,94	
MES	29,60	23,10	19,90	22,00	19,20	22,80	2,28	1,54	
									B) - LES BILANS (x 10^6 tonnes)
DISSOUS	62,40	66,50	54,70	61,60	60,40	61,10	2,59	1,21	
TDS	44,94	42,72	39,42	42,70	41,53	42,10	1,57	1,14	
MOD	17,46	23,76	15,31	18,88	18,90	18,00	9,34	1,23	
TOTAL	97,20	99,60	83,40	90,50	88,50	91,80	2,51	1,19	
LIQUIDES (m3/s)	37680	40050	35930	40110	34620	37680	1,90	1,16	
SOLIDES	1103,50	1051,50	909,90	915,50	888,50	975,20	2,35	1,24	
sables	164,10	317,70	278,80	216,50	278,20	250,60	2,73	1,94	C) - LES FLUX (kg/s)
MES	939,40	733,80	691,00	699,00	610,30	724,60	2,28	1,54	
DISSOUS	1978,80	2107,90	1735,40	1953,50	1916,20	1938,70	2,59	1,21	
TDS	1417,23	1347,22	1243,15	1346,59	1309,69	1327,67	1,57		
MOD	561,57	760,68	492,25	606,91	606,51	611,03	9,34		
TOTAL	3082,90	3159,50	2645,20	2868,90	2804,80	2913,90	2,51	1,19	
SOLIDES	9,90	9,50	8,20	8,20	8,00	8,80		1,24	
DISSOUS	17,80	19,00	15,60	17,60	17,30	17,50		1,22	D) - EXPORTATIONS SPECIFIQUES
TDS	12,84	12,20	11,26	12,20	11,86	12,07		1,14	(tonnes/km2/an)
MOD	4,99	6,79	4,37	5,39	5,40	5,39		1,55	
TOTAL	27,80	28,50	23,80	25,80	25,30	26,20		1,20	
LIQUIDES	1,91	2,31	2,06	1,57	1,92	1,95	1,90	1,16	
SOLIDES	1,82	1,46	1,45	1,55	1,69	1,59	1,43	1,29	E) - VARIATIONS SAISONNIERES
sables	3,06	2,07	3,22	2,23	1,90	2,50	1,61	1,77	ET INTERANNUELLES
MES	1,83	2,00	1,42	1,85	2,35	1,89	1,56	1,44	DES CONCENTRATIONS
DISSOUS	2,17	1,54	1,36	1,26	1,69	1,60	1,35	1,15	
TDS	1,40	1,87	1,75	1,40	1,33	1,55	1,30	1,15	
MOD	7,74	15,74	28,13	2,91	31,74	17,25	5,17	1,36	
TOTAL	1,74	1,44	1,29	1,19	1,43	1,42	1,86	1,13	

LEGENDE : MES = matière en suspension
TDS = total dissolved solids
MOD = matière organique dissoute

R1 = moyenne mensuelle maximum / moyenne mensuelle minimum pour la période 1987-92 = variations saisonnières

R2 = moyenne annuelle maximum / moyenne annuelle minimum sur la période 1987-92 = variations interannuelles

TAB 3.2 - COMPARAISON DES TRANSPORTS DES PRINCIPAUX FLEUVES DU MONDE

(tiré de GAC - 1980)

a) Transport en suspension.

	Longueur	Surface $\times 10^6 km^2$	Débit $\times 10^9 m^3$	Tonnages susp. $\times 10^6$	Erosion $t/km^2/an$	Conc. Moyenne
Grandes rivières*						
Amazone	7.025	6,30	5.519	490	78,0	88,8
Congo	4.700	3,88	1.200	50	12,9	42,3
Orénoque	2.600	0,88	946	80	91,0	84,5
La Plata	-	3,10	725	137	44,2	189,0
Yang Tsé Kiang	5.980	1,95	693	955	174,4	1.380,0
Bhramapourre	-	0,58	608	795	1.435,0	1.310,0
Missipi-Mis.	6.800	3,27	580	307	94,0	530,0
Mékong	4.023	0,80	577	345	430,0	600,0
Ienissei	-	2,60	542	13,2	5,0	24,0
Léna	-	2,43	514	15,4	6,2	29,0
Ob	-	2,50	390	16,8	6,4	41,0
Gange	2.700	0,97	366	520	536,0	1.420,0
Rivières Africaines*						
Congo	4.700	3,88	1.200	50,0	12,9	42,0
Zambèze	2.575	1,34	131	42,0	31,3	324,0
Niger	4.184	1,13	195	28,0	24,7	127,0
Nil	6.700	2,87	89	67,0	23,3	755,0
Orange	1.600	0,80	9,1	15,0	18,7	1.680,0
Sénégal	1.800	0,27	24	1,4	5,2	58,0
Bandama	1.050	0,10	12,6	1,1	11,3	87,3
Sanaga **	-	0,077	37,2	2,2	28,0	59,0
Mbam **	-	0,042	22,4	3,6	85,0	160,0
Bassin Amont RCA	-	0,33	40,05	3,5	10,5	87,0
Rivières Européennes*						
Volga	3.700	1,38	252	27,0	19,6	105,0
Danube	2.800	0,82	198	67,5	82,3	341,0
Rhin	1.300	0,224	69	0,45	2,0	6,5
Rhône	812	0,099	54	31,5	318,0	583,0
Loire	1.012	0,115	28	4,0	35,0	145,0
Seine	776	0,079	12,6	-	-	-
Garonne	647	0,085	21,6	5,8	(68,2)	268,0

b) Transport en solution.

	Longueur km	Surface $\times 10^6 km^2$	Débit $\times 10^9 m^3$	Tonnages solution $\times 10^6$	Erosion $T/km^2/an$	Conc.moyenne mg/l	Références
Grandes rivières							
Amazone	7.025	6,30	5.519	290	46,0	52,9	(8,15,16,19,23,31,3-
Congo	4.700	3,88	1.200	37	9,5	31,0	(2, 11, 17, -8)
Orenoque	2.600	0,88	946	50	56,8	52,0	(11, 23, 29)
Yang Tsé Kiang	5.980	1,95	1.104	-	-	-	(9, 42)
Bhramapoutre	-	0,58	608	75	130,2	124,0	(44, 46)
Missipi-Mis.	6.800	3,27	580	130	39,7	223,0	(3, 5, 32, 42)
Mékong	4.023	0,80	577	60	75,0	105,0	(9, 12, 42)
La Plata	-	3,10	725	64	20,6	88,2	(11, 22, 25)
Iénissei	-	2,60	542	73	28,1	135,0	
Léna	-	2,43	514	87	35,8	165,0	(8, 13, 14, -3)
Ob	-	2,50	390	50	20,0	130,0	
Gange	2.700	0,97	488	76	78,4	208,0	(42, 44)
Rivières Africaines							
Congo	4.700	3,88	1.200	37	9,5	31,0	(2, 32, 38, -8)
Zambèze	2.575	1,34	131	19,5	14,6	149,0	(9, 38, 48)
Niger	4.184	1,13	195	9,4	8,3	48,2	(4, 17, 35, -3, -8)
Nil	6.700	2,87	89	18,0	6,3	200,0	(3, 18, 33, 38, -7)
Orange	1.600	0,80	9	1,2	1,5	133,0	(38, -2, 48)
Sénégal	1.800	0,27	24	1,0	8,6	42,0	(6, 28, 35, -8)
Bandama	1.050	0,10	12,6	0,8	6,0	87,3	(36, 37, 39, -0)
Bassin Amont RCA	-	0,33	40,05	2,35	7,1	59,0	(cette étude)
Rivières Européennes							
Volga	3.700	1,38	252	115,0	83,3	456,0	(1, 1-)
Danube	2.800	0,82	198	--,5	3-,0	225,0	(3, 21, 27, 38, 41)
Rhin	1.300	0,224	69	15,0	6-,0	217,0	(7, 24, 38)
Rhône	812	0,079	54	12,5	157,0	231,0	(3, 11, 36, -2)
Loire	1.012	0,115	28	4,9	-3,0	215,0	(11, 2-, 3-)
Seine	776	0,079	12,6	-,5	56,0	357,0	(11)
Garonne	647	0,085	11,0	2,0	44,0	182,0	(13, 26, 38)

TAB 3.3 - CORRELATIONS SIGNIFICATIVES des TRANSPORTS DU CONGO A BRAZZAVILLE (d'après 62 couples de données)

CORRELATIONS	R	ET
$TDS = -4,90 \times 10^{-4} \times Q + 54,42$	0,80	2,13
$TDS = -4,77 \times 10^{-3} \times Q^{-0,46}$	0,81	1,86
$CTD = 3,90 \times 10^{4} \times Q^{-0,69}$	0,84	2,31
$MOD = 7,90 \times 10^{-4} \times Q - 16,60$	0,68	4,29
$TT = 9,47 \times 10^{-3} \times Q^{1,19}$	0,92	1,95
$CE = 4,48 \times 10^{4} \times Q^{-0,67}$	0,87	1,70
$TDS = 2,63 \times CE^{0,71}$	0,83	1,26
$CTD = 0,56 \times CE^{1,05}$	0,86	1,36
$MOD = -1,15 \times CE + 56,66$	0,74	5,36
$TT = 34,45 \times 10^{4} \times CE^{-1,34}$	0,87	1,58
$Q = 221,33 \times 10^{4} \times CE^{-1,13}$	0,87	1,36

Légende :

TDS = matière minérale dissoute en mg/l
CTD = charge totale dissoute en mg/l
MOD = matière organique dissoute en mg/l
CE = conductivité électrique en uS/cm à 25°C
TT = transports totaux de matière en kg/s
Q = débits en m3/s
R = coefficient de correlation
ET = écart type

ANNEXES

		HYDROLOGIE				CONCENTRATIONS					FLUX				
ref	date jj/mm/aa	prof m	V moy m/s	Q jour m3/s	Q men m3/s	C Sab mg/l	C Mes mg/l	MESTo mg/l	Dis mg/l	Total mg/l	Sab Kg/s	MES Kg/s	Solide Kg/s	Dissous Kg/s	Total Kg/s
1/CNG	02/12/86	18.50	1.58	55200	55100	3.00	14.21	17.21	72.0	89.2	165.4	784.4	949.8	3974.4	4924.2
2/CNG	14/01/87	17.00	1.54	45700	45100	3.30	16.59	19.89	60.0	79.9	150.8	758.1	908.9	2742.0	3650.9
3/CNG	13/02/87	21.00	1.26	37000	36900	4.70	29.15	33.85	35.0	68.8	173.8	1078.5	1252.3	1295.0	2547.3
4/CNG	14/03/87	20.50	1.09	38400	38100	3.19	24.36	27.55	56.0	83.6	122.6	935.5	1058.1	2150.4	3208.5
5/CNG	14/04/87	17.50	1.14	39800	39600	2.90	17.95	20.85	49.0	69.9	115.5	714.4	829.9	1950.2	2780.1
6/CNG	16/05/87	23.50	1.28	38100	38100	5.39	15.33	20.72	61.0	81.7	205.4	583.9	789.3	2324.1	3113.4
7/CNG	16/06/87	21.00	1.13	35000	34400	3.40	25.14	28.54	53.0	81.5	118.9	879.9	998.8	1855.0	2853.8
8/CNG	27/07/87	13.00	0.98	26600	28400	3.41	22.33	25.74	56.0	81.7	90.6	594.1	684.7	1489.6	2174.3
9/CNG	20/08/87	9.00	0.64	25400	25500	1.99	15.92	17.92	85.0	102.9	50.6	404.5	455.1	2159.0	2614.1
10/CNG	15/09/87	12.20	0.91	33400	32900	3.20	26.07	29.26	64.0	93.3	106.8	870.6	977.3	2137.6	3114.9
11/CNG	15/10/87	15.00	1.03	40600	41200	2.59	27.95	30.55	55.0	85.5	105.4	1134.8	1240.2	2233.0	3473.2
12/CNG	13/11/87	19.00	1.56	50400	51000	4.10	23.66	27.76	50.0	77.8	206.6	1192.4	1399.0	2520.0	3919.0
13/CNG	15/12/87	19.00	1.59	54400	53400	2.29	21.54	23.83	87.0	110.8	124.8	1171.6	1296.4	4732.8	6029.2
14/CNG	16/01/88	16.50	1.46	45800	45400	5.41	21.27	26.69	42.0	68.7	247.9	974.3	1222.2	1923.6	3145.8
15/CNG	16/02/88	17.00	1.40	33500	34500	4.30	22.92	27.22	46.0	73.2	144.2	767.7	911.9	1541.0	2452.9
16/CNG	16/03/88	12.00	1.23	32100	33000	7.02	30.38	37.40	47.0	84.4	225.4	975.3	1200.6	1508.7	2709.3
17/CNG	15/04/88	19.50	1.25	34700	35200	6.02	35.18	41.19	50.0	91.2	208.8	1220.6	1429.3	1735.0	3164.3
18/CNG	16/05/88	20.30	1.27	37100	36100	5.66	25.58	31.24	40.0	71.2	209.8	949.2	1159.0	1484.0	2643.0
19/CNG	14/06/88	12.50	1.09	35000	33200	4.41	20.46	24.87	46.0	70.9	154.4	716.2	870.5	1610.0	2480.5
20/CNG	15/07/88	10.50	1.09	27800	28000	3.30	19.21	22.51	41.0	63.5	91.7	534.0	625.7	1139.8	1765.5
21/CNG	18/08/88	11.50	0.85	28100	28300	5.09	27.26	32.36	42.0	74.4	143.1	766.1	909.2	1180.2	2089.4
22/CNG	15/09/88	12.50	1.20	36700	36800	4.91	26.46	31.37	51.0	82.4	180.3	971.1	1151.4	1871.7	3023.1
23/CNG	14/10/88	22.00	1.30	43500	44600	9.38	21.14	30.52	52.0	82.5	408.2	919.6	1327.7	2262.0	3589.7
24/CNG	15/11/88	21.00	1.67	54900	55000	7.29	19.61	26.90	55.0	81.9	400.3	1076.4	1476.6	3019.5	4496.1
25/CNG	15/12/88	20.00	1.62	59900	59300	9.75	17.85	27.60	60.0	87.6	584.1	1068.9	1653.0	3594.0	5247.0
26/CNG	13/01/89	19.50	1.49	58000	55600	9.55	13.21	22.76	58.0	80.8	553.9	766.2	1320.1	3364.0	4684.1
27/CNG	10/02/89	17.50	1.36	40900	38500	10.17	14.43	24.60	49.0	73.6	416.0	590.2	1006.1	2004.1	3010.2
28/CNG	17/03/89	17.70	1.26	31900	32400	8.17	19.70	27.87	48.0	75.9	260.6	628.4	889.1	1531.2	2420.3
29/CNG	14/04/89	17.00	1.28	37800	37800	6.45	18.08	24.53	45.0	69.5	243.8	683.4	927.2	1701.0	2628.2
30/CNG	16/05/89	17.00	1.31	37000	36900	6.34	21.12	27.46	55.0	82.5	234.6	781.4	1016.0	2035.0	3051.0
31/CNG	14/06/89	16.00	1.20	32700	31000	5.54	17.37	22.91	50.8	73.7	181.2	568.0	749.2	1661.2	2410.3
32/CNG	13/07/89	14.50	0.97	25100	25600	7.66	13.81	21.47	49.3	70.8	192.3	346.6	538.9	1237.4	1776.3
33/CNG	17/08/89	12.50	0.95	26000	27100	6.06	15.60	21.66	39.0	60.7	157.6	405.6	563.2	1014.0	1577.2
34/CNG	18/09/89	18.50	1.27	33500	33200	9.75	14.76	24.51	41.0	65.5	326.6	494.5	821.1	1373.5	2194.6
35/CNG	17/10/89	21.00	1.41	37000	37300	12.01	17.55	29.56	51.0	80.6	444.4	649.4	1093.7	1887.0	2980.7
36/CNG	17/11/89	19.20	1.65	47100	46700	9.09	15.52	24.61	56.0	80.6	428.1	731.0	1159.1	2637.6	3796.7
37/CNG	15/12/89	21.00	1.36	50800	50800	10.24	15.41	25.65	56.0	81.7	520.2	782.8	1303.0	2844.8	4147.8
38/CNG	18/01/90	20.00	1.58	44900	45400	7.49	19.98	27.47	53.0	80.5	336.3	897.1	1233.4	2379.7	3613.1
39/CNG	14/02/90	19.50	1.27	34700	34900	6.29	20.45	26.74	46.0	72.7	218.3	709.6	927.9	1596.2	2524.1
40/CNG	17/03/90	21.00	1.29	34100	34000	4.45	20.49	24.94	47.0	71.9	151.7	698.7	850.5	1602.7	2453.2
41/CNG	17/04/90	19.60	1.15	34900	34500	7.83	19.89	27.72	45.0	72.7	273.3	694.2	967.4	1570.5	2537.9
42/CNG	16/05/90	16.40	0.93	32500	32900	7.08	17.17	24.25	43.0	67.3	230.1	558.0	788.1	1397.5	2185.6
43/CNG	19/06/90	16.70	1.11	31000	31600	4.34	19.33	23.67	47.0	70.7	134.5	599.2	733.8	1457.0	2190.8
44/CNG	16/07/90	16.00	0.87	24000	24700	3.73	16.59	20.32	43.0	63.3	89.5	398.2	487.7	1032.0	1519.7
45/CNG	17/08/90	14.50	0.88	24900	25200	7.74	14.45	22.19	42.0	64.2	192.7	359.8	552.5	1045.8	1598.3
46/CNG	20/09/90	14.50	1.09	33700	32500	5.20	20.80	26.00	50.4	76.4	175.2	701.0	876.2	1698.5	2574.7
47/CNG	18/10/90	18.50	1.38	40600	39700	5.68	22.54	28.22	49.4	77.6	230.6	915.1	1145.7	2005.6	3151.4
48/CNG	17/11/90	17.00	1.30	45400	45100	5.74	15.69	21.43	50.6	72.0	260.6	712.3	972.9	2297.2	3270.2
49/CNG	19/12/90	13.20	1.19	51300	51200	5.76	17.08	22.84	51.8	74.6	295.5	876.2	1171.7	2657.3	3829.0
50/CNG	16/01/91	19.60	1.58	50800	50700	4.70	14.70	19.40	50.1	69.5	238.8	746.8	985.5	2545.1	3530.6
51/CNG	15/02/91	17.50	1.21	39900	40900	3.99	18.03	22.02	49.1	71.1	159.2	719.4	878.6	1959.1	2837.7
52/CNG	15/03/91	18.00	1.18	33900	34600	4.77	21.87	26.64	47.1	73.7	161.7	741.4	903.1	1596.7	2499.8
53/CNG	17/04/91	26.00	1.37	38000	37200	6.71	16.86	23.57	46.5	70.1	255.0	640.7	895.7	1767.0	2662.7
54/CNG	20/05/91	18.50	1.27	39300	40000	6.86	16.25	23.11	42.8	65.9	269.6	638.6	908.2	1682.0	2590.3
55/CNG	13/06/91	15.50	1.34	40000	40100	4.76	18.84	23.60	41.5	65.1	190.4	753.6	944.0	1660.0	2604.0
56/CNG	15/07/91	19.50	1.25	36700	36400	7.02	12.14	19.16	52.4	71.6	257.6	445.5	703.2	1923.1	2626.3
57/CNG	19/08/91	14.50	1.04	33000	32900	3.14	15.06	18.20	50.0	68.2	103.6	497.0	600.6	1650.0	2250.6
58/CNG	18/09/91	17.00	1.23	37000	36200	10.27	15.46	25.73	66.7	92.4	380.0	572.0	952.0	2467.9	3419.9
59/CNG	21/10/91	20.00	1.30	38200	37900	8.72	11.80	20.52	72.3	92.8	333.1	450.8	783.9	2761.9	3545.7
60/CNG	15/11/91	23.00	1.31	46000	46000	7.84	21.16	29.00	62.0	91.0	360.6	973.4	1334.0	2852.0	4186.0
61/CNG	19/12/91	23.50	1.55	51000	50700	10.10	18.53	28.63	55.6	84.2	515.1	945.0	1460.1	2835.6	4295.7
62/CNG	20/01/92	23.00	1.33	38100	39800	7.10	19.63	26.73	47.8	74.5	270.5	747.9	1018.4	1821.2	2839.6
63/CNG	20/02/92	21.00	0.99	29400	30500	5.41	18.17	23.58	48.1	71.7	159.1	534.2	693.3	1414.1	2107.4
64/CNG	26/03/92	21.00	1.11	25300	26500	7.05	27.73	34.78	48.4	83.2	178.4	701.6	879.9	1224.5	2104.5
65/CNG	22/04/92	18.30	1.36	29700	28100	8.74	14.63	23.37	52.6	76.0	259.6	434.5	694.1	1562.2	2256.3
66/CNG	20/05/92	24.00	1.16	30600	30300	8.88	16.87	25.75	48.4	74.2	271.7	516.2	788.0	1481.0	2269.0
68/CNG	15/07/92	17.70	1.13	25800	26400	6.93	15.17	22.10	42.7	64.8	178.8	391.4	570.2	1101.7	1671.8
69/CNG	13/08/92	20.00	1.13	27500	28400	5.57	16.25	21.82	56.6	78.4	153.2	446.9	600.1	1556.5	2156.6
70/CNG	17/09/92	18.30	1.40	31600	31700	7.51	22.17	29.68	39.9	69.6	237.3	700.6	937.9	1260.8	2198.7
71/CNG	16/10/92	22.50	1.26	37800	38100	6.32	10.28	16.60	47.7	64.3	238.9	388.6	627.5	1803.1	2430.5
73/CNG	16/12/92	23.00	1.22	54100	53200	8.38	14.56	22.94	33.1	56.0	453.4	787.7	1241.1	1790.7	3031.8

LEGENDE :

V = vitesse Q = débits C = concentrations

ANNEXE 3.1 -

PROGRAMME PEGI

BANQUE DE DONNEES

FLEUVE CONGO A

BRAZZAVILLE

A)

ANNEES HYDROLOGIQUES

ref	date jj/mm/aa	prof m	V moy m/s	Q jour m3/s	Q men m3/s	C Sab mg/l	C Mes mg/l	Mes mg/l	Dis mg/l	Total mg/l	Sab Kg/s	MES Kg/s	Solide Kg/s	Dissous Kg/s	Total Kg/s
VALEURS MENSUELLES CARACTERISTIQUES/ ANNEE						CONCENTRATIONS							FLUX		
moy	1987-88	15.42	1.23	37742	37683	4.45	25.12	29.57	50.8	80.4	164.1	939.4	1103.5	1978.8	3082.3
min		10.50	0.85	27800	28000	2.29	19.21	22.51	40.0	63.5	91.7	534.0	625.7	1139.8	1765.5
max		20.30	1.59	54400	53400	7.02	35.18	41.19	87.0	110.8	247.9	1220.6	1429.3	4732.8	6029.2
STD		3.42	0.23	8106	7968	1.38	4.41	5.24	12.7	12.7	50.9	207.4	232.5	920.4	1055.1
moy	1988-89	17.27	1.30	40367	40050	7.61	18.20	25.80	51.0	76.8	317.7	733.8	1051.5	2107.9	3159.5
min		12.50	0.95	25100	25600	4.91	13.21	21.47	39.0	60.7	157.6	346.6	538.9	1014.0	1577.2
max		22.00	1.67	59900	59300	10.17	26.46	31.37	60.0	87.6	584.1	1076.4	1653.0	3594.0	5247.0
STD		2.94	0.21	11236	10807	1.72	3.60	3.18	5.5	7.2	143.2	231.5	334.0	783.4	1099.7
moy	1989-90	18.62	1.23	35783	35933	7.50	17.63	25.14	47.5	72.6	278.8	631.0	909.9	1735.4	2645.2
min		14.50	0.87	24000	24700	3.73	14.45	20.32	41.0	63.3	89.5	359.8	487.7	1032.0	1519.7
max		21.00	1.65	50800	50800	12.01	20.49	29.56	56.0	81.7	520.2	897.1	1303.0	2844.8	4147.8
STD		2.11	0.24	7848	7703	2.43	2.21	2.42	5.1	6.5	129.0	150.5	245.3	565.7	800.0
moy	1990-91	17.69	1.27	40217	40108	5.36	17.49	22.85	48.5	71.3	216.5	699.0	915.5	1953.5	2868.9
min		13.20	1.04	33000	32500	3.14	12.14	18.20	41.5	65.1	103.6	445.5	600.6	1596.7	2250.6
max		26.00	1.58	51300	51200	7.02	22.54	28.22	52.4	77.6	295.5	915.1	1171.7	2657.3	3829.0
STD		3.20	0.14	5878	5939	1.13	2.96	2.95	3.3	3.7	55.0	128.4	151.5	347.2	452.4
moy	1991-92	20.77	1.24	34418	34618	7.87	17.76	25.64	54.7	80.3	278.2	610.3	888.5	1916.2	2804.8
min		17.00	0.99	25300	26400	5.41	11.80	20.52	42.7	64.8	153.2	391.4	570.2	1101.7	1671.8
max		24.00	1.55	51000	50700	10.27	27.73	34.78	72.3	92.8	515.1	973.4	1460.1	2852.0	4295.7
STD		2.31	0.15	8039	7854	1.56	4.00	3.90	8.7	8.8	107.2	195.0	274.3	645.8	870.1
moy	1987-88	17.91	1.25	37761	37731	6.54	19.27	25.80	50.4	76.2	250.6	724.6	975.2	1938.7	2913.9
min		10.50	0.85	24000	24700	2.29	11.80	18.20	39.00	60.66	89.52	346.63	487.68	1014.00	1519.68
max	à	26.00	1.67	59900	59300	12.01	35.18	41.19	87.00	110.83	584.08	1220.59	1652.99	4732.80	6029.22
STD	1991-92	3.33	0.20	8725	8492	2.20	4.60	4.27	8.14	9.14	117.56	220.11	268.61	692.22	905.92
r extrèmes mensuels					1,90	1,61	1,56	1,43	1,35	1,86	2,73	2,28	2,35	2,59	2,51
r extrèmes annuels		1.38	1.05	1.17	1.16	1.77	1.44	1.29	1.15	1.13	1.94	1.54	1.24	1.21	1.19

en 91-92 calculs établis sur 11 mois manque 06/92

B)

en 91-92 calculs établis sur 11 mois

manque 06/92

HYDROLOGIE

TONNAGES

BILAN MOYEN ANNUEL		Q 10^3m3/j	10^10 M3	LIQUIDE 10^9 m3	Q spécifi l/s/Km2	LAME ECOULEE mm	Coef écoulement %	SAB 10^6T	MES 10^6T	SOLIDE 10^6T	DISSOUS 10^6T	Total 10^6T	EXPORTATION SPECIFIQU tonnes/Km2/an solide	dissous	total
MOY	1987-88	37,68	119	1188	10,77	340		5,2	29,6	34,8	62,4	97,2	9,9	17,8	27,8
MOY	1988-89	40,05	126	1263	11,44	361		10,0	23,1	33,2	66,5	99,6	9,5	19,0	28,5
MOY	1989-90	35,93	113	1133	10,26	324		6,8	19,9	28,7	54,7	83,4	6,2	15,6	23,8
MOY	1990-91	40,11	126	1265	11,46	361		8,8	22,0	28,9	81,6	90,5	8,2	17,6	25,8
MOY	1991-92	34,62	109	1092	9,89	312		8,8	19,2	28,0	60,4	88,5	8,0	17,3	25,3
r extrèmes annuels		1,16						1,92	1,54	1,24	1,21	1,19	1,24	1,22	1,20
EXPORTATIONS ANNUELLES - VALEURS CARACTERISTIQUES															
MIN	1987-88	28,00		883				2,9	16,8	19,7	35,9	55,7			
MIN	1988-89	25,60		807				5,0	10,9	17,0	32,0	49,7			
MIN	1989-90	24,70		779				2,8	11,3	15,4	32,5	47,9			
MIN	1990-91	32,50		1025				3,3	14,1	18,9	50,4	71,0			
MIN	1991-92	26,40		833				4,8	12,3	18,0	34,7	52,7			
MAX	1987-88	53,40		1684				7,8	38,5	45,1	149,3	190,1			
MAX	1988-89	59,30		1870				18,4	33,9	52,1	113,3	165,5			
MAX	1989-90	50,80		1602				16,4	28,3	41,1	89,7	130,8			
MAX	1990-91	51,20		1615				9,3	28,9	37,0	83,8	120,8			
MAX	1991-92	50,70		1599				16,2	30,7	46,0	89,9	135,5			
r extrèmes mensuels		1,90						6,57	3,53	3,38	4,66	3,97			
MOY	1987-88	37,68		1188	10,76	339,5		7,9	22,8	30,7	61,1	91,8	8,8	17,5	26,2
MIN		34,62		1092	9,89	311,9		5,2	19,2	28,0	54,7	83,4	8,0	15,6	23,8
MAX	à	40,11		1265	11,46	361,4		10,0	29,6	34,8	66,5	99,6	9,9	19,0	28,5
STD	1991-92	2,19		69	0,63	19,7		1,7	3,7	2,7	3,8	5,9	0,8	1,1	1,7
EXPORTATIONS TOTALES ANNUELLES CUMULEES															
1987-88				1221				5,2	29,8	34,8	62,4	97,2			
1988-89				2484				15,2	52,7	68,0	128,9	196,8			
1989-90				3617				24,0	72,6	96,7	183,6	280,3			
1990-91				4882				30,6	94,7	125,5	245,2	370,7			
1991-92				5974				39,6	113,9	153,5	305,6	459,2			

C)

Laraque Alain, Bricquet Jean-Pierre, Berthelot Marc, Olivry Jean-Claude

Programme PEGI : les exportations de matières du fleuve Congo

Brazzaville : ORSTOM, 1993, 60 p. multigr.