

## Transport de matière sur les grands fleuves des régions intertropicales: les premiers résultats des mesures de flux particulières sur le bassin du fleuve Congo

J. CLAUDE OLIVRY, J. PIERRE BRICQUET,  
J. PIERRE THIEBAUX & NKAMDJOU SIGHA

ORSTOM UR 107, 2051 Avenue du Val de Montferrand, F-34032  
Montpellier Cédex. France

**Résumé** Avec un module avoisinant  $41\ 000\ \text{m}^3\ \text{s}^{-1}$  pour un bassin de  $3.7 \times 10^6\ \text{km}^2$ , le Congo est le deuxième fleuve du monde après l'Amazone. Un grand programme scientifique étudie les variations des flux de matières particulières et dissoutes du bassin du Congo à dominante forestière équatoriale et cherche à caractériser son hydrologie et l'érosion mécanique et biogéochimique. Les mesures actuelles portent sur le Congo à Brazzaville et l'Oubangui à Bangui. Les suspensions sont évaluées sur un échantillonnage représentatif dans la section et dans le temps. Les observations 1987 aboutissent à un bilan de  $31 \times 10^6\ \text{t}\ \text{an}^{-1}$  pour le Congo,  $2.9 \times 10^6\ \text{t}\ \text{an}^{-1}$  pour l'Oubangui représentant respectivement 30 et 43% du total de matières exportées, une dégradation spécifique de 8.9 et 6  $\text{t}\ \text{km}^{-2}\ \text{an}^{-1}$ , des concentrations allant de 15 à 30  $\text{mg}\ \text{l}^{-1}$  et de 3 à 55  $\text{mg}\ \text{l}^{-1}$ . Ces valeurs sont inférieures à celles précédemment publiées pour le Congo et beaucoup plus faibles que celles de l'Amazone (rapport de 0.11 pour la dégradation spécifique, 0.05 pour le débit solide).

**Transport of suspended and dissolved matter in large rivers in intertropical regions: preliminary results in the basin of the River Congo**

**Abstract** The Congo is the second largest major river in the world after the Amazon (mean discharge:  $41\ 000\ \text{m}^3\ \text{s}^{-1}$ , area  $3.7 \times 10^6\ \text{km}^2$ ). A large scientific programme in the Congo basin follows the fluctuations of the suspended and dissolved matter fluxes and would characterize the mechanical and biogeochemical erosion with hydroclimatological regimes in the equatorial ecosystems. Measurements are made on the Congo at Brazzaville and Ubangui at Bangui (major northern tributary). The estimate of the suspended load is based on a large and representative sampling. The first measurement (1987) give a sediment discharge of  $31 \times 10^6\ \text{t}\ \text{year}^{-1}$  for the Congo,  $2.9 \times 10^6\ \text{t}\ \text{year}^{-1}$  for the Ubangui (respectively 30 and 43% of matter transport). Mechanical erosion rate is respectively 8.9 and 6  $\text{t}\ \text{km}^{-2}\ \text{year}^{-1}$ .

Concentrations are between 15 and 30 mg l<sup>-1</sup> for the Congo, 3 and 55 mg l<sup>-1</sup> for the Ubangui. These values are lower than previously published results for the Congo and very small compared with figures for the Amazon (11% for erosion rate, 5% for sediment discharge).

## INTRODUCTION

Depuis 1986, l'ORSTOM et l'INSU ont entrepris le développement de la mesure systématique des exportations de matières particulaires et dissoutes sur le bassin du fleuve Congo (ou Zaïre) dans le cadre de l'Opération "Grands Bassins Fluviaux" d'un grand programme périatlantique (PIRAT) associant, côté américain, des équipes brésiliennes et boliviennes pour le bassin de l'Amazone.

L'objectif est d'expliquer et quantifier les phénomènes actuels et en particulier, le fonctionnement des grands systèmes forestiers intertropicaux afin de mieux comprendre le "passé" et la sédimentation dans l'Océan Atlantique. Il consiste dans un suivi des fluctuations hydroclimatiques et des flux particulaires et dissous. A travers la détermination des processus climatiques, des cycles biogéodynamiques et géochimiques à l'échelle continentale, on souhaite approcher d'une mesure de ce que l'on pourrait appeler "la respiration" de la forêt équatoriale.

L'originalité du programme tient d'une part dans le protocole de mesures — et les équipements mis en oeuvre — permettant une approche plus rigoureuse des concentrations de matières en suspension par rapport aux prélèvements antérieurs, d'autre part, dans un suivi de la variabilité saisonnière et interannuelle suffisamment long pour corrélérer le régime des transports solides aux régimes hydrologiques.

Les premiers résultats présentés ici portent sur les flux particulaires mesurés sur le Congo à Brazzaville et son affluent principal dans l'hémisphère nord, l'Oubangui à Bangui.

## GENERALITES SUR LE BASSIN DU CONGO ET SON HYDROLOGIE

Avec une superficie de  $3.7 \times 10^6$  km<sup>2</sup>, le bassin du Congo est le second bassin mondial après celui de l'Amazone; le fleuve occupe également le deuxième rang après l'Amazone pour l'importance de ses apports à l'océan. Le Congo-Zaïre-Lubwaba a une longueur de 4700 km. Il draine une des plus grandes forêts intertropicales, située de part et d'autre de l'Equateur (Fig. 1). La forêt dense et humide occupe environ 50% du bassin tandis que les bordures nord et la partie sud laissent la place à des forêts plus claires, savanes boisées et forêts galeries. Le substratum est en majeure partie constitué par le socle précambrien avec cependant vers l'est une part non négligeable de massifs volcaniques et vers l'ouest les séries gréseuses du Kasai et des plateaux Batékés (mésozoïque). Les sols sont essentiellement ferrallitiques avec des zones de cuirassement particulièrement vastes (en Centrafrique notamment). Le bassin du fleuve Congo intéresse les pays

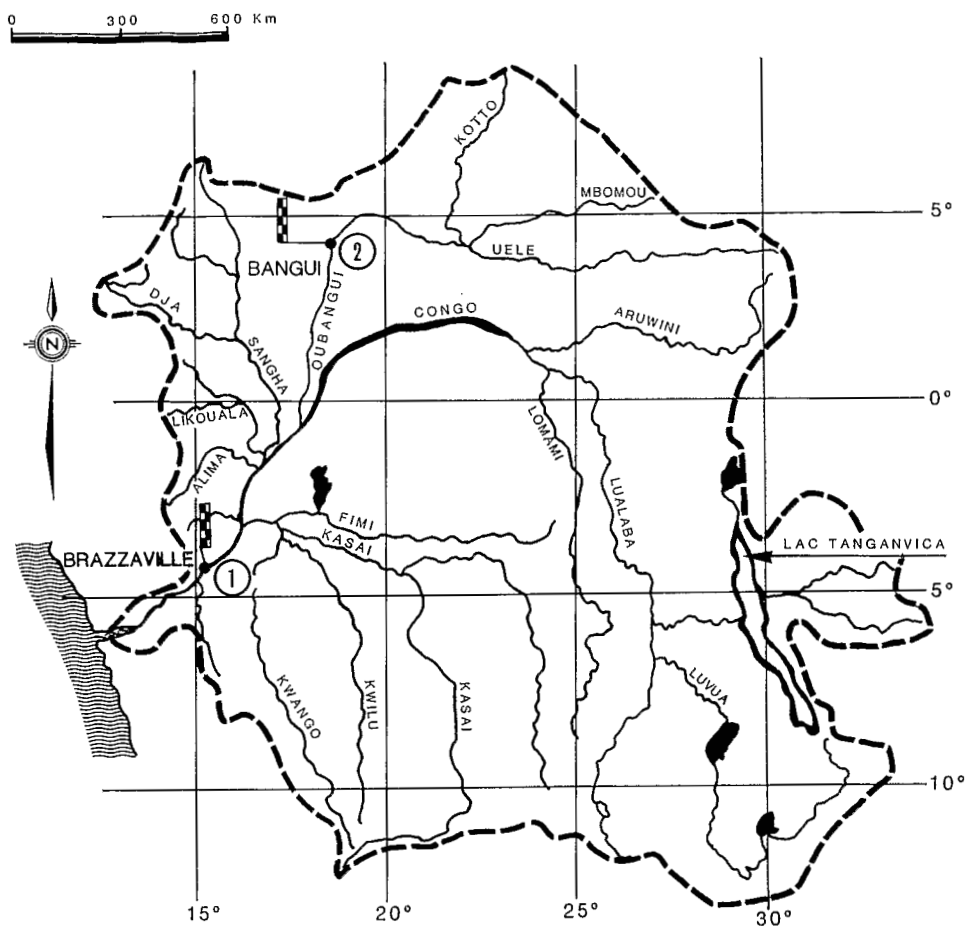


Fig. 1 Bassin versant du fleuve Congo.

suyvants: Zaïre, Congo, Cameroun, Centrafrique, Rwanda, Burundi, Tanzanie, Zambie et Angola.

La station hydrologique la mieux connue est celle de Brazzaville-Kinshasa; elle contrôle un bassin de  $3.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ .

Calculé sur 84 ans, le module interannuel est de  $40\,900 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (1903 à 1986), soit un débit spécifique de  $11.7 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  et un volume exporté en année moyenne de 1290 milliards de  $\text{m}^3$ . La lame écoulee est de 370 mm; la lame précipitée moyenne sur le bassin est estimée à 1600 mm ce qui donne un déficit d'écoulement de 1230 mm correspondant à l'évapotranspiration interannuelle du bassin. Le coefficient d'écoulement est de 23%. Les variations interannuelles sont faibles; le rapport entre les modules extrêmes ( $56\,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1961-1962 et  $33\,500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1913-1914) n'est que de 1.67.

La Fig. 2 montre l'évolution des modules du Congo depuis le début du siècle: une très faible variabilité pendant 60 ans avec une tendance faible à la

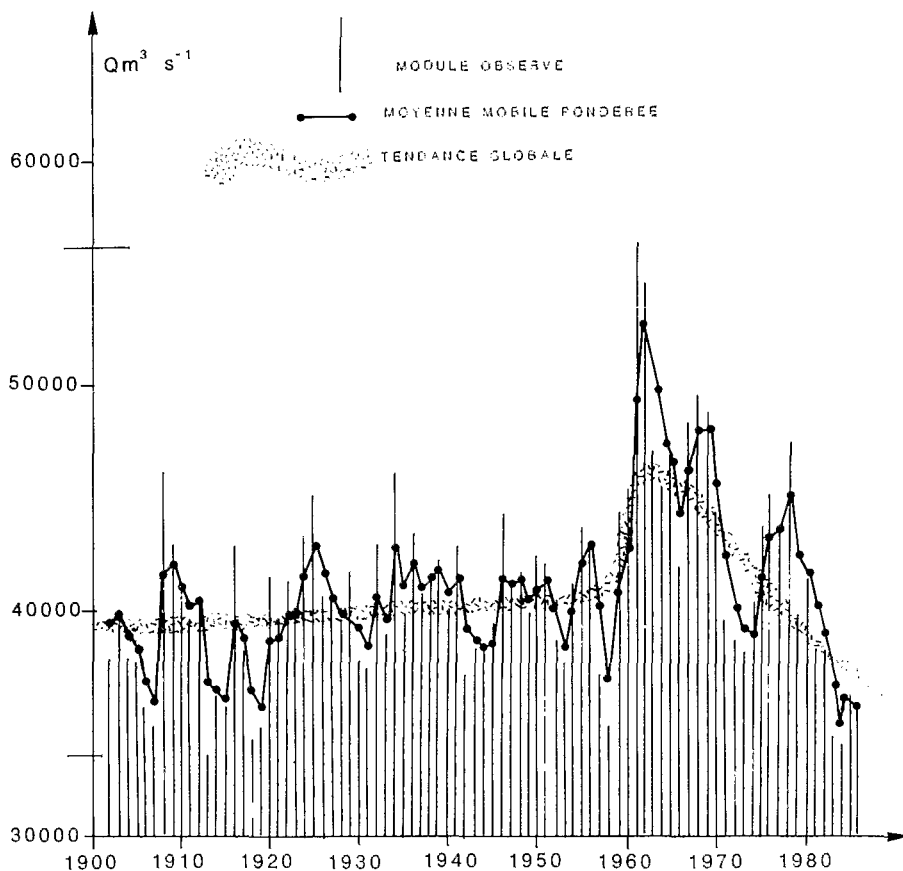


Fig. 2 Evolution des modules du Congo à Brazzaville de 1902 à nos jours (année hydrologique de septembre à août) d'après Olivry et al. (1988).

hausse, puis les années exceptionnelles de 1961 et 1962 avec persistance d'écoulements excédentaires sur toute la décennie jusqu'aux minimums de 1972-1973 puis une forte tendance à la baisse depuis les années 80. L'année hydrologique est calculée de septembre à août.

Au niveau des variations saisonnières on observe également une grande régularité puisque la rapport débit maximum mensuel/débit minimum mensuel est seulement de 1.74 ( $57\,200\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$  en décembre,  $32\,800\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$  en août). Les valeurs extrêmes relevées sont les suivantes:

- $22\,000\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$  le 20 juillet 1905,
- $76\,500\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$  le 27 décembre 1961.

Cette régularité annuelle et interannuelle du Congo est essentiellement due à la situation du bassin de part et d'autre de l'Equateur. Le régime du Congo à Brazzaville (Fig. 4), dont les débits sont le résultat du mélange de ses affluents d'origine australe ou boréale, proche ou lointaine, montre:

- (a) une période de basse eaux de juin à septembre correspondant aux basses eaux du régime équatorial et à la décrue du régime tropical austral;

- (b) une période de très hautes eaux d'octobre à janvier correspondant aux apports de la partie septentrionale du bassin (bassin de l'Oubangui);
- (c) une seconde période de basses eaux en février/mars due aux basses eaux de l'hémisphère nord, moins accusée que celle d'août du fait de l'arrivée des hautes eaux du Kasai;
- (d) une seconde période maximum en avril/mai, moins importante que celle de décembre, due aux hautes eaux de la partie méridionale du bassin (Kasai et Haut-Zaïre).

En définitive, l'ajustement du régime du fleuve au rythme pluviométrique équatorial tient davantage aux temps de propagation des crues d'origine différente. Il suffit d'un déphasage (avance ou retard) dans le régime des hautes eaux des hémisphères nord ou sud pour que l'on observe leur arrivée simultanée à Brazzaville (crues exceptionnelles de 1961 et 1962).

Pour terminer cet aperçu hydrologique, ajoutons quelques données sur le régime de l'Oubangui à Bangui (superficie 480 000 km<sup>2</sup>). Son régime est tropical, avec une saison de hautes eaux de juin à décembre et des basses eaux de janvier à mai. L'année hydrologique est calculée d'avril à mars. La Fig. 5 donne un exemple d'hydrogramme annuel. La variabilité est beaucoup plus grande que sur le Congo tant sur le plan interannuel (rapport des modules extrêmes de 2.8) que sur le plan saisonnier (rapport des débits moyens mensuels maximum et minimum de 10). Les débits extrêmes observés sont de 315 et 16 300 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Le module interannuel (53 ans) est de 4080 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> soit 8.5 l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>, avec une lame d'eau équivalente de 270 mm pour une lame d'eau précipitée de 1490 mm, soit un déficit d'écoulement de 1220 mm et un coefficient d'écoulement de 18%.

## METHODOLOGIE UTILISEE DANS LA MESURE DES MATIERES EN SUSPENSION

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

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

$$Q_s = \int_0^L \int_0^P C_i V_i dl dp$$

équation dans laquelle  $C_i$  et  $V_i$  sont les données de concentration et de vitesse au point  $i$ ,  $l$  est l'abscisse dans la section,  $p$  la profondeur,  $L$  la largeur totale de la section et  $P$  la profondeur totale d'une verticale donnée.

Le débit solide  $Q_s$  permet d'obtenir à partir du débit liquide  $Q$ , la concentration moyenne dans la section  $C_m = Q_s / Q$ .

L'inconvénient de la méthode des "jaugeages complets de débits solides" tient dans la longueur des opérations de terrain puis de laboratoire surtout sur une section comme celle du Congo qui fait 3 km de largeur et a jusqu'à 25 m de profondeur. Les mesures effectuées par Molinier (1979) ont montré une stratification certaine des suspensions sur chaque verticale, les concentrations étant les plus fortes près du fond, mais peu de variation sur la largeur en dehors de la proximité immédiate des rives. Sur la base de ces mesures, le protocole retenu a consisté à définir une verticale unique dans la section, celle-ci étant réputée représentative de ce qui se passe entre la surface et le fond sur l'ensemble de la section. Cela signifie que la concentration moyenne mesurée sur la verticale constitue une bonne approximation de la concentration moyenne vraie de la section. La charge solide est obtenue en effectuant le produit  $Q_s = C_m Q$ ,  $Q$  étant connu par la relation hauteur-débit de la station.

Le dispositif permet de multiplier les mesures sans charge excessive de travail et en limitant les difficultés inhérentes à des mesures sur des fleuves frontaliers.

Sur les verticales retenues (à 400 m de la rive droite du Congo dans le couloir de Maluku à l'amont de Brazzaville et au milieu de la section de St Paul à l'amont de Bangui) on effectue des prélèvements en cinq points pour lesquels on aura mesuré la vitesse du courant (Olivry, 1986). La concentration moyenne des suspensions est obtenue par la moyenne arithmétique de chaque résultat ponctuel, pondéré par le rapport  $k$  vitesse ponctuelle/vitesse moyenne,

$$C_m = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 k C_i$$

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

La vitesse moyenne est calculée par intégration de la parabole des vitesses mesurées sur la verticale.

Initialement, le protocole supposait une seule mesure par mois. Il aurait été vain pour l'élaboration d'un bilan précis d'obtenir 1 jour par mois une bonne connaissance du débit solide sans connaître la variabilité des concentrations le reste du mois. Plutôt que d'interpoler entre deux valeurs mensuelles nous avons donc prévu des prélèvements hebdomadaires puis journaliers effectués en surface sur des sections retenues pour leurs facilités d'accès, les concentrations ponctuelles obtenues devant être valorisées au niveau des mesures mensuelles par corrélation. Cette méthodologie qui doit être utilisée a été mise au point au Cameroun par Nouvelot (1972). En définitive, donc, la méthodologie utilisée suppose un contrôle des concentrations des suspensions dans l'espace (section et verticale) et dans le temps (fréquence des prélèvements). Le protocole supposait aussi de collecter suffisamment de matériau pour analyses dans les différents laboratoires associés au programme. C'est un minimum de 200 l qui doit être prélevé pour chaque échantillon mensuel.

Les différents appareillages ou méthodes existants jusqu'à présent ne

permettant pas ce genre de travail, il a fallu développer un appareil répondant à nos besoins: grande capacité de prélèvement (20 à 25 l), bonne navigabilité dans le courant, poids de l'ensemble assez important pour "descendre" la verticale dans une vitesse de courant assez élevée (de 1.5 à 2 m s<sup>-1</sup>).

En reprenant le principe des bouteilles océanographiques (deux clapets sont reliés entre eux par un fort tendeur dont on commande la fermeture depuis la surface), l'appareillage comporte donc:

- un tube en PVC épais de diamètre 250 sur lequel sont fixés deux demies bouteilles "océano" reliées par un tendeur et un bouchon de vidange (soit 24 l);
- un système de fixation et de commande de fermeture par un crochet;
- un bâti lesté et profilé supportant le préleveur, équipé d'une dérive.

Au moment de prélever, l'appareil est descendu de la même façon qu'un saumon de jaugeage au bout du treuil, le préleveur étant ouvert à ses deux extrémités et les clapets retenus par le crochet. Lorsque la profondeur voulue est atteinte, il suffit de déclencher la fermeture des clapets en libérant le crochet pour échantillonner une tranche d'eau sans altération du champ de vitesses. L'ensemble bâti + préleveur pèse 65 kg à vide (Sigha & Bricquet, 1987).

Un préleveur pour embarcations légères (Zodiac par exemple) d'une capacité de 12 l a été construit sur le même principe. Il est fixé sur saumon d'hydrométrie et utilisé à Bangui. Si actuellement la fermeture des clapets est commandée manuellement par câble, une fermeture électrique par l'intermédiaire d'un câble électro-porteur et d'une gachette électro-mécanique est prévue dans les prochains modèles.

## LES PREMIERS RESULTATS

Les premiers résultats proposés ici correspondent à la première phase de mise en route du programme; ils sont basés sur un échantillon mensuel sur le Congo et un échantillon hebdomadaire sur l'Oubangui.

### Les concentrations de la charge solide en suspension sur le Congo et l'Oubangui

L'amplitude des concentrations n'a pas dépassé 15 mg l<sup>-1</sup> sur le Congo à Brazzaville; sur l'Oubangui, par contre, cette amplitude a atteint 50 mg l<sup>-1</sup>, les concentrations minimales des suspensions n'étant alors que de 3 mg l<sup>-1</sup> alors qu'elles sont toujours plus fortes sur le Congo (minimum supérieur à 15 mg l<sup>-1</sup>).

Ces différences illustrent d'abord celles du régime hydrologique des deux cours d'eau; les débits de l'Oubangui ont varié en 1987 de 1 à 25 entre basses et hautes eaux; sur le Congo, le rapport des débits extrêmes est à peine supérieur à 2 en 1987. Alors que sur l'Oubangui la saison de basses eaux, sans précipitations, correspond à un arrêt quasi-total de l'érosion météorologique sur le bassin et donc des transports particulières, le régime

complexe du Congo ne suppose jamais un arrêt général de la production de sédiments; les flux transitant aux plus basses eaux à Brazzaville sont encore le vecteur d'exportations de matières, produits d'une érosion sur une partie ou une autre du bassin. Les variations saisonnières des concentrations sont reproduites pour l'année 1987-1988 (Oubangui et Congo) dans la Fig. 3. On retrouve dans l'Oubangui le schéma classique des régions tropicales (Olivry, 1977; Nouvelot, 1977; Gac, 1980; Carre, 1972) traduisant des capacités d'érosion du bassin qui augmentent pendant la montée des hautes eaux pour atteindre un maximum des concentrations antérieur à celui de la crue annuelle. A partir d'un certain seuil d'écoulement, il y a dilution des matières en suspension. A la décrue, la baisse des concentrations indique l'arrêt des processus actifs d'érosion pour la saison considérée.

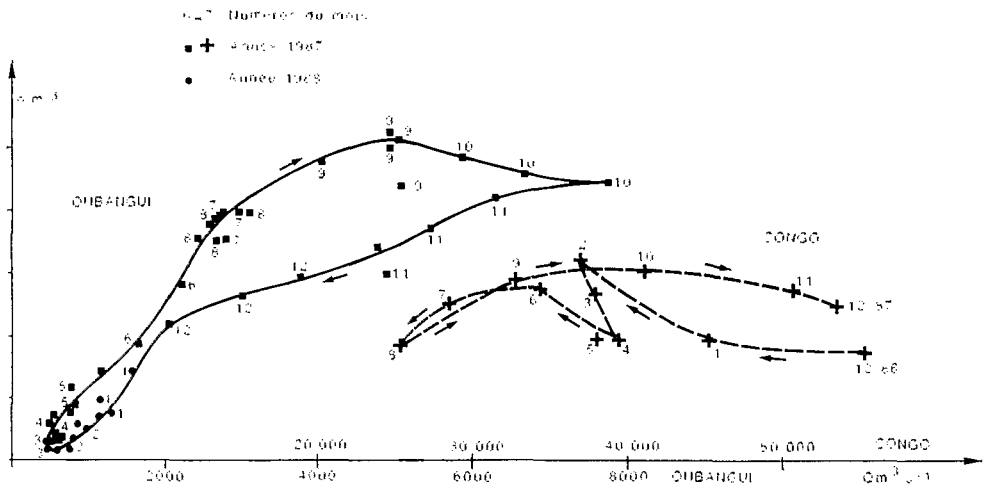


Fig. 3 Concentration des matières en suspension en fonction des débits sur le Congo et l'Oubangui (année 1987-1988).

En fin de décrue, après apparition des seuls débits de vidange des nappes du bassins (phase de tarissement de janvier à mars), les concentrations diminuent rapidement et la charge solide pourrait alors correspondre aux seuls sédiments du lit du cours d'eau et de ses berges. La linéarité de la relation débits-concentrations supposerait dans cette phase que la disponibilité du matériau décroît très vite avec la réduction de la section mouillée et de la compétence du cours d'eau.

En début de saison des pluies, la reprise de l'écoulement avec une mobilisation de matière en bordure du réseau hydrographique et toujours celle du lit du cours d'eau explique le simple décalage de la relation débit-concentration jusqu'au seuil de 2000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> où les processus d'érosion concernent alors la majeure partie du bassin.

Ces éléments nouveaux devront être vérifiés sur plusieurs années dans la perspective d'une identification du poids respectif des différents processus contribuant à la mobilisation de la charge solide.



Pour le Congo, le schéma est plus complexe dans la mesure où l'on n'observe pas sur l'année étudiée de véritable cycle.

Les concentrations les plus fortes sont observées en septembre-octobre pendant la phase de montée de la crue principale de l'année. Elles diminuent en novembre-décembre avec l'apparition du maximum annuel. Mais en 1987, les concentrations augmentaient déjà en janvier pour atteindre un deuxième maximum en février correspondant à la précruce du maximum secondaire de mars-avril généralement attribué aux apports du Kasai. Un maximum relatif apparaît en août aux plus basses eaux.

Cette physionomie devra être précisée au cours des prochaines années; elles semble d'ores et déjà exclure l'observation d'un cycle bien défini et diffère quelque peu des mesures effectuées en 1971, 1973, 1976 et 1982 citées par Kinga Mouzeo (1986).

Au simple niveau des concentrations moyennes annuelles, celle du Congo aurait été de  $25.4 \text{ g m}^{-3}$  dans la gamme des valeurs proposées par Molinier (1979) et Gibbs (1967), mais très différentes de celles citées par Meybeck (1984), Kinga Mouzeo (1986) et inférieures de moitié à celles proposées par Holeman (1968) et NEDECO (1959). Pour l'Oubangui, la concentration moyenne de  $35.9 \text{ g m}^{-3}$  reste très faible au regard d'autres bassins situés aux mêmes latitudes comme par exemple la Sanaga,  $58 \text{ g m}^{-3}$  (Olivry, 1977).

### Bilan et variations saisonnières des flux particuliers

**Sur le Congo** Au stade actuel d'avancement du programme, les données portent sur une année complète (1987) dont les variations ont été reportées dans la Fig. 4. La charge solide globale présente deux maximums en février et en novembre ( $1200$  et  $1400 \text{ kg s}^{-1}$ ), les minimums survenant en mai puis en août avec, pour ce dernier mois seulement,  $430 \text{ kg s}^{-1}$ . Au sein de cette charge, la part des suspensions de diamètre supérieur à  $50 \mu\text{m}$  identifiées comme des sables est assez peu variable. En dehors des faibles valeurs de juillet et août ( $90$  à  $51 \text{ kg s}^{-1}$ ) et de la forte valeur de mai ( $206 \text{ kg s}^{-1}$ ), les sables ont des débits presque constants de décembre à février ( $160 \text{ kg s}^{-1}$ ) et en mars, avril et juin ( $120 \text{ kg s}^{-1}$ ). Les sables totalisent pour l'année 1987, 4 millions de tonnes soit 13% de l'ensemble du tonnage des matières en suspension.

Les faibles variations des exportations de sables fins ( $300$  à  $350 \text{ 000 t mois}^{-1}$ ) en dehors de la période des hautes eaux principales pourraient s'expliquer par des produits d'érosion provenant essentiellement des plateaux gréseux du pays Bateké et du bas Kasai.

Le bilan des exportations de matières en suspension est en 1987 de 31 millions de tonnes, pour un volume des apports liquides de 1220 milliards de  $\text{m}^3$ . La dégradation spécifique correspondante serait de  $8.86 \text{ t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$ .

**Sur l'Oubangui** Sur deux cycles annuels (1986/1987 et 1987/1988), les mesures de la charge solide en suspension effectuées sur l'Oubangui aboutissent à des résultats très voisins, tant au plan du bilan global que des

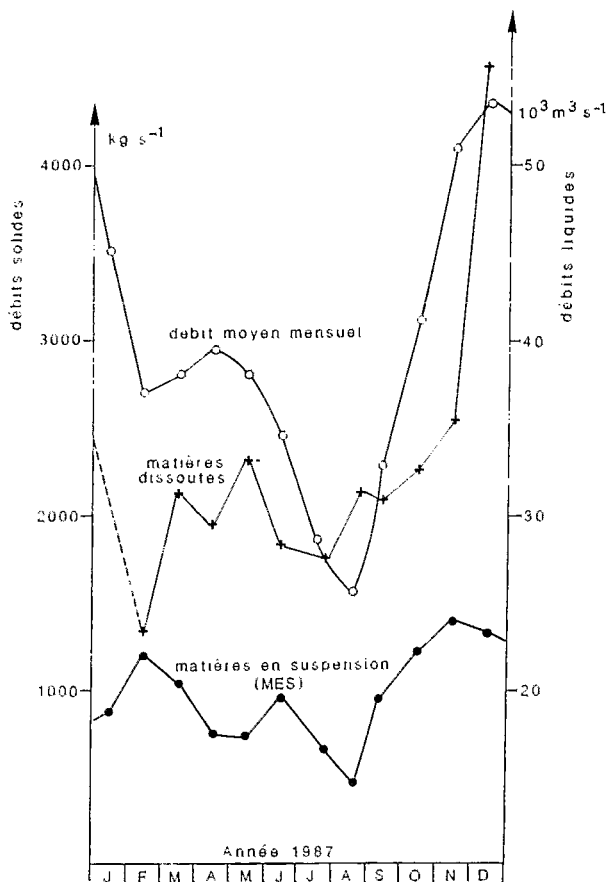


Fig. 4 Variation des débits liquides et solides (matières en suspension et matière dissoute) du Congo à Brazzaville en 1987.

variations saisonnières. Les débits solides minima sont de l'ordre de  $10 \text{ kg s}^{-1}$  tandis que le maximum annuel atteint en octobre des valeurs voisines de 320 et  $340 \text{ kg s}^{-1}$ . La Fig. 5 retrace les variations obtenues en 1987/1988.

La part des sables fins dans les suspensions varie en moyenne de 5 à 10%, des valeurs bien inférieures à 10% étant observées en crue. Les suspensions sont globalement moins riches en sables que sur le Congo. En 1986/1987, l'exportation de matières en suspension a totalisé 2.9 millions de tonnes pour un volume écoulé de 83.9 milliards de  $\text{m}^3$ . En 1987/1988, les matières en suspension totalisent 2.97 millions de tonnes pour un écoulement de 82.6 milliards de  $\text{m}^3$ .

Les dégradations spécifiques sont de 6.04 et de  $6.19 \text{ t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$  respectivement pour les deux années étudiées, lesquelles ont eu un comportement hydrologique comparable (modules de 2660 et  $2620 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Ces valeurs sont encore plus faibles que pour le bassin du Congo à Brazzaville. Mais la contribution des sables des plateaux batekés déjà évoquée peut expliquer une dégradation globale plus forte sur le Congo alors qu'on

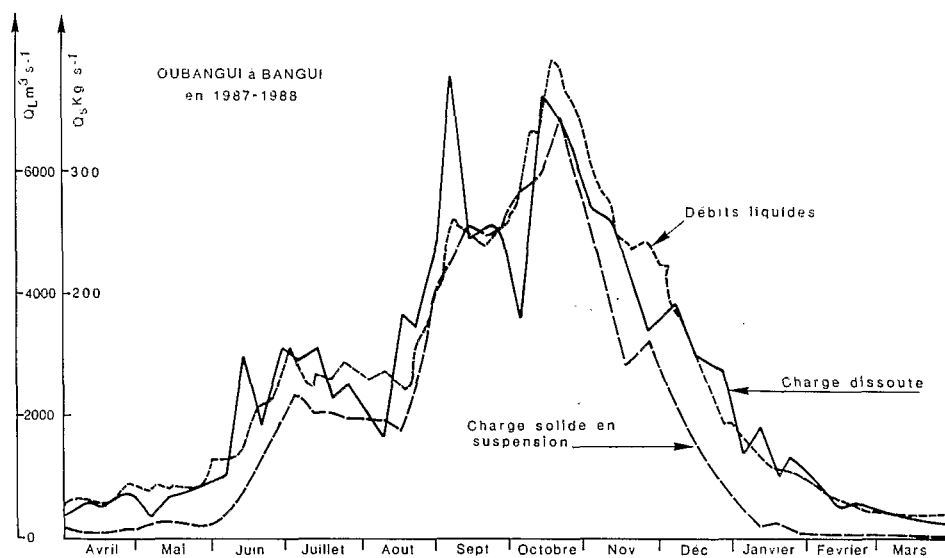


Fig. 5 Hydrogramme 1987/1988 de l'Oubangui à Bangui et variation des débits solides des suspensions et de la matière dissoute.

pouvait s'attendre à une vulnérabilité à l'érosion plus grande du bassin de l'Oubangui dont la végétation dense est moins continue.

### Matières en suspension, matières dissoutes et matières organiques

Les Figs 4 and 5 illustrent aussi les variations saisonnières des exportations de matière dissoutes comparées à celles des suspensions. La charge dissoute est pour le Congo, comme pour l'Oubangui, supérieure à la charge solide en suspension. Elle a totalisé, en 1987, 72 millions de tonnes pour le Congo et respectivement, pour l'Oubangui, 3.7 et 4.09 millions de tonnes sur les deux années observées.

Le rapport des suspensions sur la charge totale est de 30% pour le Congo à Brazzaville, 43% pour l'Oubangui à Bangui (moyenne des deux années). Cette évolution, qui traduit, lorsque l'on passe du climat tropical au climat équatorial, une part croissante de l'érosion chimique, est surtout due à l'importance de la matière organique dans la charge globale exportée. La production de matière organique est maximale au niveau de la grande forêt congolaise. Le pic observé dans la courbe des charges dissoutes au moment de la crue maximale du Congo correspond probablement au rinçage en hautes eaux de la cuvette congolaise des solutés organiques très concentrés en forêt inondée.

La matière organique (contenant 50% de carbone) représente 15% de la charge annuelle en suspension (variation de concentration du carbone entre 1 et  $2.5 \text{ mg l}^{-1}$ ). La charge dissoute ( $59 \text{ mg l}^{-1}$  de concentration moyenne en 1987) serait constituée pour 30% à 40% de matière organique

(concentration en carbone dissous de 10 à 12 mg l<sup>-1</sup> d'après Kinga-Mouzeo, 1986).

## CONCLUSIONS

Au stade des premiers résultats obtenus sur le Congo on relèvera dans la mesure des suspensions une dégradation spécifique nettement plus faible que dans les résultats (en t km<sup>-2</sup> an<sup>-1</sup>) précédemment publiés: 13.4 (Devroey, 1941), 20 (NEDECO, 1959), 17.5 (Corbel, 1964), 9 (Gibbs, 1967), 19.4 (Strakhov, 1967), 14.4 (Leeden, 1975), 13.2 (Meybeck, 1976), 10 à 11.5 (Molinier, 1979). La valeur 1987 de 8.7 t km<sup>-2</sup> an<sup>-1</sup> correspond à un année d'hydraulicité légèrement inférieure à la moyenne (0,94) qui n'est certainement pas un facteur explicatif. Par contre les faibles valeurs de la dégradation spécifique sur l'Oubangui — 6 et 6.2 t km<sup>-2</sup> an<sup>-1</sup> — correspondent à des années hydrologiques (1986 et 1987) très déficitaires (hydraulicité de 0.65) et se rapprocheront probablement, dans des conditions moyennes d'écoulement, des valeurs mesurées en Afrique Centrale sur des bassins à faibles anthropisation.

On notera encore que les charges solides exportées, comme les modules interannuels, varient entre le Congo et l'Oubangui dans le rapport de 1 de 10 alors que ce rapport ne varie que de 1 à 7 pour les superficies des bassins.

Une comparaison rapide entre le Congo et l'Amazonie montre l'énorme différence qu'il y a dans le régime des flux particuliers des deux fleuves. La dégradation spécifique est 9 fois plus forte sur l'Amazonie; des précipitations plus abondantes donnent un module spécifique 2 fois supérieur à celui du Congo et les concentrations moyennes des suspensions y sont donc de 4 à 5 fois plus fortes. Enfin, avec un bassin de superficie de près du double de celui du Congo, les apports particuliers de l'Amazonie à l'Océan seraient en moyenne de l'ordre de 500 à 600 millions de tonnes soit 16 à 20 fois les apports du fleuve Congo. Celui-ci aurait un régime se rapprochant, côté Amazonie, du régime du Rio Négro.

Il n'en reste pas moins que le Congo, important par ses apports hydriques (52% des apports africains à l'Océan Atlantique, 38% de l'ensemble du continent), l'est aussi par ses exportations de matière (40% de la charge dissoute, mais seulement 7% de la charge en suspension pour tout le continent).

Les mesures entreprises doivent être poursuivies sur une dizaine d'années; un modèle devrait permettre de reconstituer une chronique des flux particuliers à partir de la chronique des débits. Cela implique une compréhension fine du système par le développement des mesures sur des ensembles homogènes amont (côté Zaïre, en particulier) et par des analyses spécialisées susceptibles d'identifier l'origine des mélanges transitant à l'exutoire du bassin. Ces analyses non évoquées ici (minéralogie, chimie minérale et organique, isotopes etc.) en associant de nombreux laboratoires et les expériences acquises en Amazonie permettront une valorisation optimale des mesures effectuées sur les grands bassins fluviaux équatoriaux.

## REFERENCES

- Bricquet, J. P. (1987) *Mesure des Matières en Suspension: le Congo à Brazzaville*. ORSTOM, Brazzaville.
- Carré, P. (1972) Quelques aspects du régime des apports fluviaux de matériaux solides en suspension vers le Chad. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.* IX (1), 19-45.
- Corbel, J. (1964) L'érosion terrestre. Etude quantitative. *Ann. Géogr.* 73 (398), 385-412.
- Devroey, E. J. (1941) Le bassin hydrographique congolais. *Inst. Roy. Belge. Sel. Sci. Techn. Mém. Coll. 8<sup>e</sup>, III* (3), 3-160.
- Gac, J. Y. (1980) Geochemistry of tropical landscapes on granitic rock: the Lake Chad basin. In: *Proc. III Symposium on Water Rock Interaction* (Edmonton, Canada, juillet 1980), tome 1, 8-10.
- 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. Am. Bull.* 78, 1203-1232.
- Holeman, J. N. (1968) The sediment yield of major rivers of the world. *Wat. Resour. Res.* 4 (4), 737-747.
- Kinga-Mouzeo (1986) Transport particulaire actuel du fleuve Congo et de quelques affluents. Thèse Universitaire, Univ. de Perpignan.
- Leeden, F. Van der (1975) *Water Resources of the World. Selected Statistics*, 1-568. Water Information Center, New York.
- Meybeck, M. (1976) Total dissolved transport by major world rivers. *Hydrol. Sci. Bull.* 21 (2), 265-284.
- Meybeck, M. (1984) Les fleuves et le cycle géochimiques des éléments. Thèse Doc. d'Etat no. 84-85, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris 6.
- Molinier, M. (1979) Note sur les débits et la qualité des eaux du Congo à Brazzaville. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.* XVI (1), 55-66.
- NEDECO (1959) *River Studies, Niger and Benue*, 1-1000. North Holland, Amsterdam.
- Nouvelot, J. F. (1972) Le régime des transports solides dans divers cours d'eau du Cameroun de 1969 à 1971. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.* IX (1), 47-74.
- Olivry, J. C. (1977) Transports solides au Cameroun. In: *Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters* (Actes du Colloque de Paris, juillet 1977), 134-141. IAHS Publ. no. 122.
- Olivry, J. C. (1986) *Opération Transports de Matières sur le Bassin du Fleuve Congo*. ORSTOM, Brazzaville.
- Olivry, J. C., Bricquet, J. P. & Thiebaut, J. P. (1988) Bilan annuel et variations saisonnières des flux particuliers du Congo à Brazzaville et de l'Oubangui à Bangui. Dans: *Transports des Sédiments*. SHF, Paris.
- Sigha, N. & Bricquet, J. P. (1987) *Un Exemple Méthodologique de la Mesure des Flux Particulaires et dissous des Fleuves d'Afrique Centrale: Transports de Matière sur le Congo à Brazzaville. Premiers Résultats 1986-1987*. ORSTOM, Montpellier.
- Strakhov, N. M. N. (1967) *Principles of Lithogenesis*, vol. 1. Consultants Bureau, New York.