

Bilan annuel et variations saisonnières des flux particuliers du Congo à Brazzaville et de l'Oubangui à Bangui

J. C. Olivry, J. P. Bricquet, J. P. Thiébaux

ORSTOM — Montpellier

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 particuliers et dissous.

L'originalité du programme tient d'une part dans le protocole de mesure — et les équipements mis en œuvre — 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 corréler le régime des transports solides aux régimes hydrologiques.

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

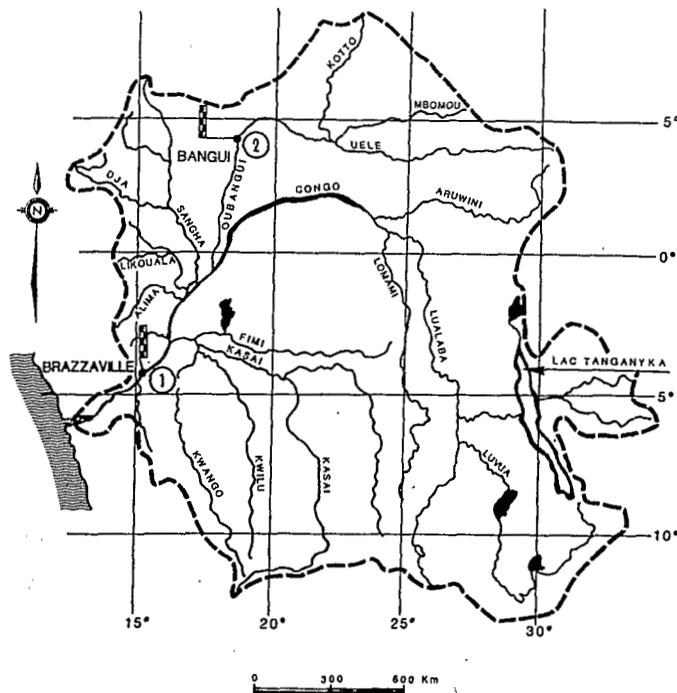
Généralités sur le bassin du Congo et son hydrologie

Avec une superficie de $3,7 \cdot 10^6 \text{ km}^2$, le bassin du Congo est le second bassin mondial après celui de l'Amazone ; le fleuve occupe également le 2^e rang après l'Amazone pour l'importance de ses apports à l'Océan, le Congo-Zaïre-Lubwaba a une longueur de 4 700 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). La station hydrologique la mieux connue est celle de Brazzaville-Kinshasa ; elle contrôle un bassin de $3,5 \cdot 10^6 \text{ km}^2$.

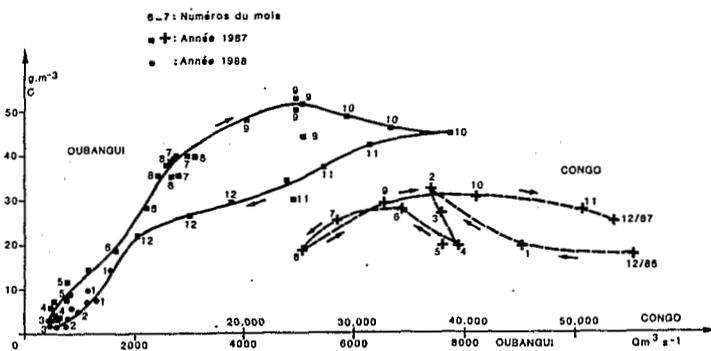
Calculé sur 84 ans, le module interannuel est de $40 900 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (1903-1986), soit un débit spécifique de $11,71 \cdot \text{s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ et un volume exporté en année moyenne de 1 290 milliards de m^3 . La lame écoulée est de 370 mm ; la lame précipitée moyenne sur le bassin est estimée à 1 600 mm ce qui donne un déficit d'écoulement de 1 230 mm et un coefficient d'écoulement 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.

The suspended load of the Congo and Ubangui Rivers

The Congo is the second world major River after the Amazon (mean discharge : $41 000 \text{ P}^3 \text{ s}^{-1}$, area $3,7 \cdot 10^6 \text{ km}^2$). A large scientific program 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 measurements (1987) give a sediment discharge to $31 \cdot 10^6 \text{ tons years}^{-1}$ for Congo, $2,9 \cdot 10^6 \text{ tons year}^{-1}$ for Ubangui (respectively 30 and 43 % of matter discharge). Mechanical erosion rate is respectively 8,9 and 6 $\text{tons km}^{-2} \text{ year}^{-1}$. Concentrations are included between 15 and 30 mg l^{-1} for Congo, 3 and 55 mg l^{-1} for Ubangui. These values are lower than precedent published results of Congo and very small compared with Amazon (11 % for erosion rate, 5 % for sediment discharge).



1. Bassin versant du fleuve Congo.



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

Au niveau des variations saisonnières on observe également une grande régularité puisque le rapport débit maximum mensuel/débit minimum mensuel est seulement de 1,74 (57 200 m³/s en décembre, 32 800 m³/s en août). Les valeurs extrêmes relevées sont de 22 000 m³/s le 20 juillet 1905 et de 76 500 m³/s le 27 décembre 1961.

Cette régularité annuelle et interannuelle du Congo est essentiellement due à la situation du bassin de part et d'autre de l'Équateur. Les débits à Brazzaville sont le résultat du mélange des apports d'origine australe ou

boréale, proche ou lointaine, et montrent : une période de basses-eaux de juin à septembre correspondant aux basses-eaux du régime équatorial et à la décrue du régime tropical austral, précédant une période de très hautes-eaux d'octobre à janvier correspondant aux apports de la partie septentrionale du bassin (Bassin de l'Oubangui), puis 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, suivie 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).

Le régime de l'Oubangui à Bangui (A : 480 000 km²) 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 figure 4 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 m³ s⁻¹. Le module interannuel (53 ans) est de 4 080 m³ s⁻¹ soit 8,5 l s⁻¹ km⁻², avec une lame d'eau équivalente de 270 mm pour une lame d'eau précipitée de 1 490 mm, soit un déficit d'écoulement de 1 220 mm et un écoulement de 18 %.

Méthodologie utilisée dans la mesure des matières 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 déjà publiés.

La méthode la plus rigoureuse pour obtenir une estimation du débit de la charge solide consiste à évaluer par prélèvement la concentration C des matières en suspension et la vitesse du courant V en n points de x verticales sur la section transversale du cours d'eau. Par double intégration du produit CV (sur les verticales et sur la largeur de la section) on obtient le débit solide. L'inconvénient de la méthode des jaugeages complets de débits solides tient dans la longueur des opérations de terrain puis le 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 et après exploration du champ de vitesses et de concentrations, 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 $D_s = C_m \cdot Q$, 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 5 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. 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 (NOUVELOT, 1972 et OLIVRY, 1977).

Les nécessités du programme ont impliqué de 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).

Basé sur le principe de fermeture des bouteilles océanographiques, ce préleveur a été réalisé par BRICQUET (1987) et KONG ;

PREMIERS RÉSULTATS (1987-1988)

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

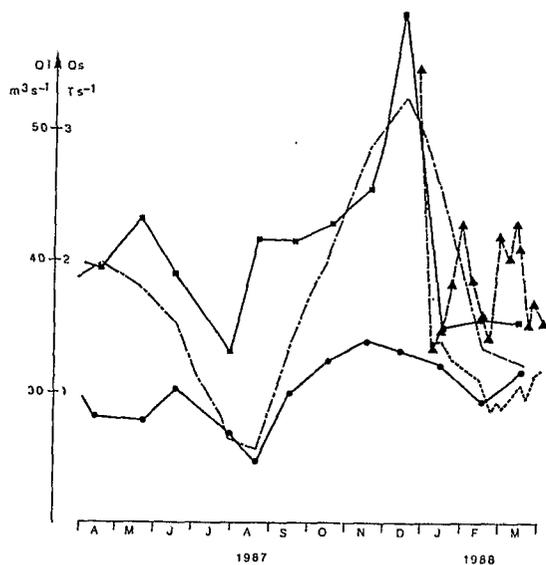
L'amplitude des concentrations n'a pas dépassé 15 mg l^{-1} sur le Congo à Brazzaville ; sur l'Oubangui, par contre, cette amplitude a atteint 50 mg l^{-1} , les concentrations minimales des suspensions n'étant alors que de 3 mg l^{-1} alors qu'elles sont toujours plus fortes sur le Congo (minimum supérieur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

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 météorique sur le bassin et donc des transports particuliers, le régime complexe du Congo ne

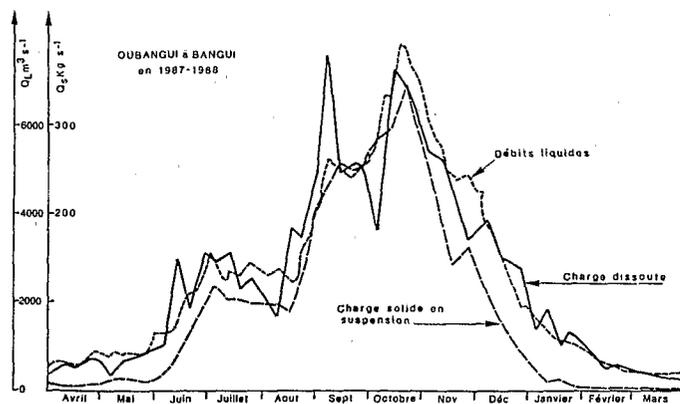
suppose jamais un arrêt général de la production de sédiments ; les flux transitant aux plus basses-eaux à Brazzaville sont encore le vecteur d'exportations de matières, produits d'une érosion sur une partie ou une autre du bassin.

Les variations saisonnières des concentrations sont reproduites pour l'année 1987-1988 (Oubangui et Congo) dans la figure 2. On retrouve dans l'Oubangui le schéma classique des régions tropicales (OLIVRY, 1977 ; NOUVELOT, 1972 ; GAC, 1976 ; CARRÉ, 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 progressif des processus actifs d'érosion pour la saison considérée.

En fin de décrue, après apparition des seuls débits de vidange des nappes du bassin (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 $2\,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 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 précru 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 ; elle semble d'ores et déjà exclure l'observation d'un cycle bien défini signalé par K. MOUZE (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 (1976), KINGA MOUZE (1986) et inférieures de moitié à celles proposées par 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 g m^{-3} (OLIVRY, 1977).



3. Variation des débits liquides et solides (matières en suspension et matière dissoute) du Congo à Brazzaville en 1987-1988.



4. Hydrogramme 1987-1988 de l'Oubangui à Bangui et variation des débits solides des suspensions et de la matière dissoute.

Bilan et variations saisonnières des flux particuliers

Sur le Congo : Par souci d'homogénéité nous avons pris ici les données correspondant à une seule année hydrologique commune à l'Oubangui et au Congo (avril 1987 à mars 1988). Les variations des différents paramètres ont été reportées dans la figure 3. La charge solide globale présente deux maximums en mars et en novembre ($1\ 200$ et $1\ 400\ \text{kg s}^{-1}$), 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 microns identifiées comme des sables est assez peu variable. En dehors des faibles valeurs de juillet et août (90 et $51\ \text{kg s}^{-1}$) 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 $350\ 000$ tonnes par mois) en dehors de la période des

hautes-eaux principales pourraient s'expliquer par des produits d'érosion provenant essentiellement des plateaux gréseux du pays Batéké 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 $1\ 220$ milliards de m^3 . La dégradation spécifique correspondante serait de $8,86\ \text{T} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$.

On notera en fin d'année les quelques mesures effectuées à l'aval de Brazzaville légèrement décalées au niveau des MES par stockage ou reprise de sédiments dans le Pool ; les fortes anomalies de la charge dissoute sont certainement à rapprocher de la pollution de 5 millions d'habitants massés sur les rives du Pool (Kinshasa et Brazzaville).

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 variations saisonnières. Les débits solides minimums sont de l'ordre de $10\ \text{kg s}^{-1}$ tandis que le maximum annuel atteint en octobre des valeurs voisines de 320 à $340\ \text{kg s}^{-1}$. La figure 4 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 m^3 . En 1987-1988, les matières en suspension totalisent $2,97$ millions de tonnes pour un écoulement de $82,6$ milliards de m^3 .

Les dégradations spécifiques sont de $6,04$ et de $6,19\ \text{T} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$ respectivement pour les deux années étudiées, lesquelles ont eu un comportement hydrologique comparable (modules de $2\ 660$ et $2\ 620\ \text{m}^3 \text{s}^{-1}$). 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 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 figures 3 et 4 illustrent aussi les variations saisonnières des exportations de matière dissoute comparées à celles des suspensions. La charge dissoute est pour le Congo, comme pour l'Oubangui, supérieure à la charge solide en suspension. Elle totalise, 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 2 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 $2,5 \text{ mg l}^{-1}$ soit 5 à 9 % de COP dans les MES). La charge dissoute (59 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^{-1} KINGA-MOUZEO, 1986).

Conclusions

Au stade des premiers résultats obtenus sur le Congo on releva dans la mesure des suspensions une dégradation spécifique nettement plus faible que dans les résultats précédemment publiés : [en $\text{T km}^{-2} \text{ an}^{-1}$: 13,4 (DEVROEY, 1941) 20 (NEDECO, 1959), 17,5 (CORBEL, 1964), 9 (GIBBS, 1967), 19,4 (STRAKOV, 1967), 14,4 (LEEDEN, 1975), 13,2 (MEYBECK, 1976) 10 à 11,5 (MOLINIER, 1979)]. La valeur 1987 de $8,7 \text{ T km}^{-2} \text{ an}^{-1}$ correspond à une 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 $6,2 \text{ T km}^{-2} \text{ an}^{-1}$ — 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 faible 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'Amazone 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'Amazone ; 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'Amazone 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 Negro.

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 Tchad. *Cah. ORSTOM, Hydrol.*, vol. IX, n° 1, pp. 19-45.
- CORBEL, J. (1964) : L'érosion terrestre. Etude quantitative. *Ann. Géographie*, 73-398, pp. 385-412.
- DEVROEY, E. J. (1941) : Le bassin hydrographique congolais. *Inst. Roy. Belge. Sel. Sc. Techn. Mém. Coll.* 8°, III (3), pp. 3-160.
- GAC, J. Y. (1980) : Geochemistry of Tropical landscape on granitic rocks : the lake Chad basin. *Proc. of the III symposium on water rock Interaction*, Edmonton (Canada), 14-24 juillet 1980, I, pp. 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. of Amer. Bull.*, 78, pp. 1203-1232.
- KINGA MOUZEO (1986) : *Transport particulière actuel du fleuve Congo et de quelques affluents*. Thèse Universitaire, Univ. de Perpignan, 251 p.
- LEEDEN, F. VAN DER (1975) : Water resources of the world. *Selected Statistics. Water Information Center*, New York, pp. 1-568.
- MEYBECK, M. (1976) : Total dissolved transport by major world rivers. *Hydrol. Bull. Sci.*, 21 (2) : 265-284.
- MOLINIER, M. (1979) : Note sur les débits et la qualité des eaux du Congo à Brazzaville. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, vol. XVI, n° 1, pp. 55-66.
- NEDECO (1959) : *River studies, Niger and Benue*. North Holland Publ. Co., Amsterdam 1-1000.
- NOUVELOT, J. F. (1972) : Le régime des transports solides dans divers cours d'eau du Cameroun de 1969 à 1971. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, IX, 1, pp. 47-74.
- OLIVRY, J. C. (1977) : Transports solides au Cameroun. In : *Erosion and solid matter transport in inland waters. Symp. de Paris, juillet 1977, IAHS, publ. n° 122*, pp. 134-141.
- STRAKHOV, N. M. N. (1967) : *Principles of Lithogenesis. Vol. 1.* Consultants Bureau, New York.