

TRANSPORTS DE MATIÈRES DANS UN BASSIN FLUVIAL TROPICAL HUMIDE EN ZONE DE FORÊT : L'UÉLÉ AU ZAÏRE

Didier ORANGE¹

RÉSUMÉ - L'Uélé et son affluent la Bili représentent respectivement 56% et 9% des apports hydriques annuels moyens de l'Oubangui à sa naissance. Leur bassins sont couverts à 30% pour le premier et 44% pour le second par une forêt tropicale humide. Leur débit spécifique annuel moyen est de 7,8 l/s/km², avec des débits spécifiques mensuels pouvant atteindre 20 l/s/km². Ces valeurs sont typiques de la zone bioclimatique guinéenne forestière. Elles sont largement supérieures à celles du Mbomou (de l'ordre de 4,4 l/s/km²), affluent situé en zone de savane et avec lequel ces rivières forment l'Oubangui. Les transports fluviaux de matières des bassins forestiers sont caractérisés par des exportations de matières dissoutes constituées à près de 50% par la MOD, par une exportation spécifique importante des éléments minéraux dissous de la litière du sol forestier et par une faible concentration de MES. L'Uélé apporte la majeure partie des matières à l'Oubangui : 62% de la MOD, 57% des TDS et 55% des MES, se traduisant par un transport dissous organique spécifique de 3,8 t/km²/an pour 1,3 t/km²/an pour le bassin sous savane, un transport dissous minéral de 9,4 t/km²/an pour respectivement 5,3 t/km²/an, et enfin une érosion mécanique de 6,4 t/km²/an contre 4,1 t/km²/an pour le bassin sous savane qui est également le plus sec.

Uélé, Tropical humide, Forêt dense, Géochimie des eaux, Flux de matières

Matter transports in humid tropical watershed in forest area : the Uele river in Zaïre

ABSTRACT - The Ubangui river is formed by the junction of three rivers, which are the Uele river, the Bili river and the Mbomou river. The Uele and Bili rivers supply respectively 56% and 9% of mean annual runoff of the Ubangui river at its birth point. The tropical rain forest covers 30% of the Uele catchment and 44% of the Bili catchment ; their mean annual specific runoff is 7.8 l/s/km², with monthly specific runoff rising 20 l/s/km². These values are typical for the forest Guinean bioclimatic zone. Indeed, they are largely above the Mbomou river discharge (about 4.4 l/s/km²), which is a river settled in savannah zone. The matter river transports from the forested catchments are underlined by dissolved matter transport constituted by 50% of dissolved organic matter (MOD), by high specific transport of the dissolved chemical elements coming from the forest ground litter and by low load of suspended matter transport (MES). Finally, the Uele river supplies the major part of the matter transported by the Ubangui river : 62% of MOD, 57% of total dissolved solids (TDS) and 55% of MES. So, the specific transport of dissolved organic matter in a forested catchment is about 3.8 t/km²/yr against only 1.3 t/km²/yr for a savannah catchment, respectively the dissolved mineral transport is about 9.4 t/km²/yr against 5.3 t/km²/yr, and for the mechanical erosion 6.4 t/km²/yr against 4.1 t/km²/yr.

Uele river, Humid tropic, Rain forest, River water geochemistry, Matter transport

INTRODUCTION

Les rivières africaines du domaine tropical humide et la qualité de leurs eaux sont peu connues du fait de leur difficulté d'accès. L'Uélé est l'une d'elles. En effet, à notre connaissance et après consultation des archives belges de l'*Institut Royal de Météorologie*, une seule mesure de débits a été faite sur l'Uélé : en 1950 à Bondo sur son cours moyen (DEVROEY, 1961). D'ailleurs l'importance respective des débits de l'Uélé et du Mbomou a

¹ LECOM. ORSTOM. BP 84. Bamako (Mali).



été au coeur de la rivalité coloniale franco-belge. D'autre part, rien n'existe sur la qualité des eaux de cette rivière malgré les travaux de SYMOENS (1968) et DERONDE et SYMOENS (1980).

Située entièrement en pays zaïrois, avec une longueur de 1170 km et un bassin versant de 139 700 km², l'Uélé est une des deux branches mères de l'Oubangui, ce dernier étant le deuxième affluent du fleuve Congo par l'importance de ses apports hydriques (fig. 1). L'étude de l'Uélé a un double intérêt, indépendamment de celui de la connaissance d'une zone méconnue. Premièrement, son bassin versant étant allongé parallèlement aux isohyètes, son comportement est caractéristique d'un seul domaine climatique; en l'occurrence *le domaine tropical humide*. Deuxièmement, l'Oubangui est formé de la jonction de l'Uélé et du Mbomou. Or ces deux rivières ont des bassins versants relativement équivalents en superficie, mais contrastés par leurs couvertures végétale et pédologique du fait de leur appartenance à deux domaines climatiques différents (BOULVERT, 1986). Le bassin de l'Uélé est entièrement situé en zone bioclimatique *guinéenne forestière*, domaine de la forêt dense humide et des sols ferrallitiques moyennement indurés. Par contre, la majeure partie du bassin du Mbomou est située en zone *soudano-oubanguienne*, domaine de la savane arbustive et formée de sols ferrallitiques moyennement indurés à très indurés, la zone *guinéenne forestière* ne couvrant que la partie aval de ce bassin (fig. 2). Le suivi comparatif de la qualité des eaux de ces deux affluents permet donc de donner un aperçu de la spécificité de l'érosion et de l'altération de paysages tropicaux situés en zone continentale en fonction du domaine climatique.

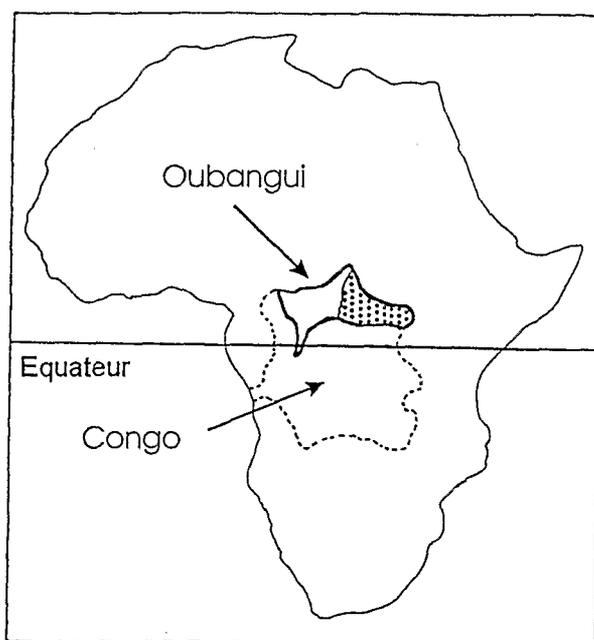


Fig. 1- Carte de situation de la zone d'étude (en pointillé) dans le bassin du Congo. Location map of the study area (dotted) in the Congo river basin.

Après avoir dressé le bilan hydrologique régional de l'ensemble Uélé-Mbomou, les caractéristiques hydrochimiques des eaux de surface sont présentées ainsi que leurs variabilités annuelles et mensuelles. Enfin, une typologie de ces eaux de surface drainant en partie la forêt tropicale humide est discutée par rapport à celle des eaux drainant la savane soudano-oubanguienne.

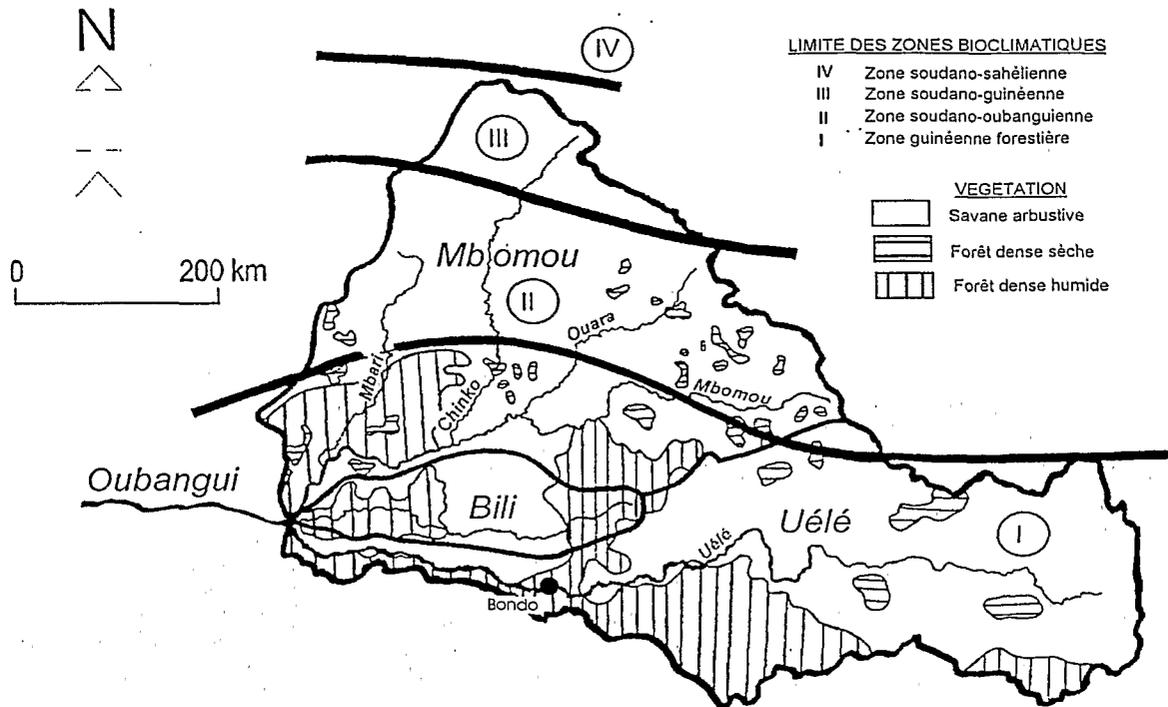


Fig. 2- Carte de végétation du bassin versant supérieur de l'Oubangui et limites des zones bioclimatiques (BOULVERT, 1986). Vegetation map of the upper Ubangui river basin and limits of bioclimatic zones (after BOULVERT, 1986).

I - CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES BASSINS DE L'UÉLÉ, DE LA BILI ET DU MBOMOU

L'Uélé prend sa source dans les Monts Bleus à 1620 m d'altitude, non loin à l'Est du lac Albert sur la frontière zaïro-ougandaise, tandis que le Mbomou naît sur la frontière soudano-centrafricaine à seulement 1054 m d'altitude. Entre le village Yakoma au Zaïre et le village Béma en Centrafrique, l'Uélé rejoint le Mbomou à une altitude de 395 m pour former l'Oubangui. De ce point de confluence, l'Oubangui parcourt 600 km pour arriver à Bangui puis encore 600 km pour se jeter dans le fleuve Congo.

La rivière Uélé est plus longue que le Mbomou, respectivement 1170 km et 965 km, alors que la superficie de son bassin versant est légèrement inférieure, 139 700 km² contre 153 900 km² pour le Mbomou. Le bassin versant de l'Uélé représente 22% de la superficie du bassin de l'Oubangui à Bangui ; sa pente moyenne est relativement forte par rapport aux grands cours d'eau de la région (1,1 m/km contre 0,67 m/km pour le bassin du Mbomou par exemple). Il faut noter l'existence d'une petite rivière de 360 km de long nommée Bili à la confluence Uélé-Mbomou et dont l'étude est associée à celle de l'Uélé. Cette petite rivière est du type « coca-cola river », caractérisé par des eaux limpides marron foncé (couleur liée à la présence importante de matière organique dissoute) et commun en zones inondées de forêts tropicales humides ; son bassin versant (d'une superficie de seulement 21 400 km²) est imbriqué entre celui de l'Uélé et celui du Mbomou (fig. 2).

L'ensemble Uélé-Bili est situé entre 5° et 3° de latitude Nord, en zone guinéenne forestière. Pour ces deux rivières, leur bassin versant est très allongé d'Est en Ouest, parallèlement aux isohyètes. D'après la moyenne pluviométrique interannuelle 1951-1989 (L'HÔTE et MAHÉ, 1995), les isohyètes 1600 mm/an et 1700 mm/an

encadrent le bassin de la Bili et l'Ouest du bassin de l'Uélé (soit l'aval du bassin) ; à l'Est, le bassin amont de l'Uélé est centré entre les isohyètes 1500 mm/an et 2000 mm/an, cette partie correspondant à l'unique zone de relief du bassin. Par contre, le bassin du Mbomou est encadré par les isohyètes 1500 mm/an et 900 mm/an à l'extrémité nord. La forêt dense humide (tabl. 1) représente 44% du bassin de la Bili, 27% du bassin de l'Uélé et seulement 17% du bassin du Mbomou uniquement dans sa partie aval (fig. 2) ; le reste de la couverture végétale est constitué d'une savane arbustive ou arborée (BOULVERT, 1986). Les bassins de l'Uélé et de la Bili sont entièrement recouverts de sols ferrallitiques moyennement indurés, alors que le bassin du Mbomou possède aussi pour près de 20% des sols ferrallitiques très indurés et quelques sols jeunes (tabl. 1) (CALLÈDE *et al.*, 1992).

Tabl. 1- Répartition surfacique (en %) des paramètres physiographiques des bassins de l'Uélé, de la Bili et du Mbomou. Surface area (in % of the total drainage basin area) occupied by the different vegetations (FH : humid forest, FS : dry forest, SV : savannah), soils (SJ : young soil ; STI, SMI, SPI, SNI : ferrallitic soil respectively, very, moderately, little and non-hardened) and lithology (RP : plutonic rock, RG : sandstone, RC : carbonates, RV : volcanic rock)

	Végétation			Pédologie					Lithologie				
	FH	FS	SV	SJ	STI	SMI	SPI	SNI	RP	RG	RD	RC	RV
Uélé	27	4	70	0	0	100	0	0	76	0	13	7	4
Bili	44	0	56	0	0	100	0	0	45	0	17	0	38
Mbomou	17	3	80	4	18	78	0	0	60	1	9	7	23

FH : forêt humide ; FS : forêt sèche ; SV : savane,

SJ : sol jeune ; STI, SMI, SPI, SNI : sols ferrallitiques respectivement très, moyennement, peu, non indurés ;

RP : roche plutonique ; RG : r. gréseuse ; RD : r. détritique ; RC : r. carbonatée ; RV : r. volcanique.

La géologie des trois bassins est équivalente (tabl. 1). Ces bassins sont constitués sur leur partie amont et centrale de quartzites, schistes, micaschistes, gneiss et d'un ensemble granitique, sur leur partie aval d'un complexe basique formé essentiellement d'amphibolites (MESTRAUD, 1982). Il faut noter la présence (7% de la superficie) d'un ensemble schisto-gréseux associé à un ensemble calcaro-dolomitique sur le bassin du Mbomou, présence supposée mais non confirmée sur l'axe fluvial amont de l'Uélé.

II - HYDROLOGIE DU MBOMOU, DE L'UÉLÉ ET DE LA BILI À LEUR CONFLUENCE

Bien que l'Institut Royal Colonial Belge ait mis en place très tôt au début du siècle un réseau d'observation de hauteurs d'eau sur un nombre important de rivières du Zaïre, l'Uélé et la Bili sont restés en-dehors des programmes hydrographiques du fait de leur grande difficulté d'accès et du peu de population dans leur bassin. La seule chronique de hauteurs d'eau retrouvée pour l'Uélé concerne uniquement l'année 1950 à la ville de Bondo (fig. 2) ; cette année-là a d'ailleurs eu lieu le seul jaugeage connu sur cette rivière (DEVROEY, 1961). Pour la Bili, rien n'existe. Les dernières données hydrométriques disponibles datent de 1978 (VAN FRACHEN, 1980). Pour les années récentes 1986-1993 correspondant à la période d'étude, les mesures hydrologiques ont été rendues impossibles en raison de l'insécurité de la zone. Seuls le Mbomou et l'Oubangui, situés en République Centrafricaine, possèdent des lectures hydrométriques associées à des courbes d'étalonnage fiables (CALLÈDE *et al.*, 1992 ; ORANGE, 1995).

1. Hydrologie du Mbomou

Les débits du Mbomou à la confluence avec la Bili ont été calculés à partir des débits obtenus d'après les lectures limnimétriques effectuées sur le Mbomou et le Mbari respectivement en amont de leur confluence (ORANGE, 1995 ; WESSELINK *et al.*, 1996). Le débit annuel moyen de 1986 à 1993 est de 680 m³/s. Le débit moyen mensuel est maximum en octobre avec 1800 m³/s et minimum en mars avec 130 m³/s. La variabilité interannuelle du module hydrologique annuel est relativement faible durant la période étudiée : on passe de 800 m³/s en 1993/1994 à 560 m³/s en 1990/1991, soit un coefficient de variation de 1,4.

2. Reconstitution hydrologique pour les bassins de l'Uélé et de la Bili

Par contre, les débits mensuels de l'Uélé et de la Bili à leur exutoire ont dû être reconstitués pour la période récente d'étude 1986-1993 (ORANGE, 1995 ; ORANGE *et al.*, 1995b ; ORANGE, 1996) à partir, d'une part des données limnimétriques de cette période de l'Oubangui à Limassa (station hydrométrique située à 40 km en amont de la confluence Uélé-Mbomou), d'autre part des archives de l'*Institut Royal de Météorologie* à Bruxelles et notamment des travaux de BULTOT (1959), de LEMPICKA (1972) et de VAN FRACHEN (1980).

La reconstitution a été établie selon trois hypothèses successives. Premièrement, on admet que les relations statistiques existant entre les débits des rivières de la région restent inchangées au cours des vingt dernières années, d'autant plus que cet intervalle de temps est entièrement situé durant la période hydroclimatique sèche ayant débuté en 1971 (WESSELINK *et al.*, 1996) et que par ailleurs la comparaison d'imagerie satellitaire entre les années 1970 et les années 1990 ne montre pas de déforestation notable (MALEY, 1990). Deuxièmement, on admet que deux rivières de même comportement hydrologique, défini par BULTOT (1959), et de surface de bassin équivalente ont des débits spécifiques mensuels égaux. Ces deux hypothèses successives ont permis de reconstituer les débits mensuels de la Bili à partir des débits mensuels d'une rivière zaïroise observée de 1971 à 1976 (VAN FRACHEN, 1980), l'Itimbiri, à Akéti situé à 200 km au Sud de la Bili dans les mêmes contextes physiographique et pluviométrique (L'HOTE et MAHÉ, 1995) et dont le coefficient de corrélation avec l'Oubangui à Limassa est de 0,93 (ORANGE, 1995). Enfin, la troisième hypothèse permettant de reconstituer les débits mensuels de l'Uélé admet que le débit de l'Oubangui à la confluence représente la somme des débits des trois affluents constitutifs de l'Oubangui. Les débits mensuels utilisés dans cette dernière étape résultent de débits journaliers observés pour l'Oubangui et le Mbomou à la confluence. Cet encadrement observé et la faible importance relative des écoulements de la Bili par rapport à ceux de l'Uélé et du Mbomou permettent d'affirmer que la reconstitution hydrologique proposée est probablement acceptable à 10%.

3. Bilan hydrologique régional et lame d'eau précipitée

De 1986 à 1993, l'Uélé a eu un débit annuel moyen estimé de 1090 m³/s, les extrêmes étant de 1450 m³/s en 1988 et 880 m³/s en 1990. Cette reconstitution hydrologique sur la période récente montre que 56% de l'écoulement annuel moyen de l'Oubangui proviennent de l'Uélé (tabl. 2). De plus, la Bili apporte 9% à cet écoulement de l'Oubangui, ce qui fait un total de 65% pour la contribution des bassins à écoulement sous forêt tropicale humide dans les écoulements de l'Oubangui (fig. 3). Finalement, l'Uélé est bien la branche mère de l'Oubangui (CALLÈDE *et al.*, 1992).

Ces débits annuels correspondent à des débits spécifiques annuels variant selon l'année entre 6,3 et 10,4 l/s/km², la moyenne interannuelle étant de 7,8 l/s/km². Ces valeurs (tabl. 2) sont largement supérieures à celles du Mbomou (4,4 l/s/km²), qui draine une superficie de forêt humide inférieure et surtout dont les savanes sont situées à l'amont du bassin versant en zone soudano-oubanguienne beaucoup plus sèche que la zone guinéenne forestière couvrant l'ensemble du bassin de l'Uélé (fig. 2).

La lame d'eau précipitée moyenne annuelle a été calculée par la méthode du vecteur régional jusqu'en 1989 (MAHÉ *et al.*, 1994), puis la méthode de Thiessen jusqu'en 1992 (ORANGE *et al.*, 1994). Sur la période 1986-

1992, la lame d'eau précipitée moyenne a été de 1720 mm/an pour le bassin de l'Uélé, 1655 mm/an pour celui de la Bili et seulement 1335 mm/an pour celui du Mbomou (ORANGE *et al.*, 1994 ; ORANGE et GHILOUFI, 1996).

Tabl. 2- Répartition des écoulements entre l'Uélé, la Bili, le Mbomou et bilans hydrologiques (période 1986-1993). Runoff contributions and hydrological balances of the Uele, Bili and Mbomou river basins during the period 1986-1993

	Sup. (km ²)	Qan (m ³ /s)	Qs (l/s/km ²)	R (%)	Bilans hydrologiques		
					P(mm)	Q(mm)	CE(%)
Uélé	139 700	1090	7,8	56	1722	246	14
Bili	21 400	170	7,8	9	1654	251	15
Mbomou	153 900	680	4,4	35	1337	139	10

Sup.: superficie du bassin versant ; Qan : débit annuel moyen ; Qs : débit spécifique ; R : participation à l'écoulement de l'Oubangui ; P : pluviométrie ; Q : écoulement ; CE : coefficient d'écoulement.

Sup : drainage basin area, Qan : mean annual discharge, Qs : specific discharge, R : contribution to the Ubangui discharge, P : annual precipitation, Q : annual runoff, CE : runoff coefficient (CE = Q/P).

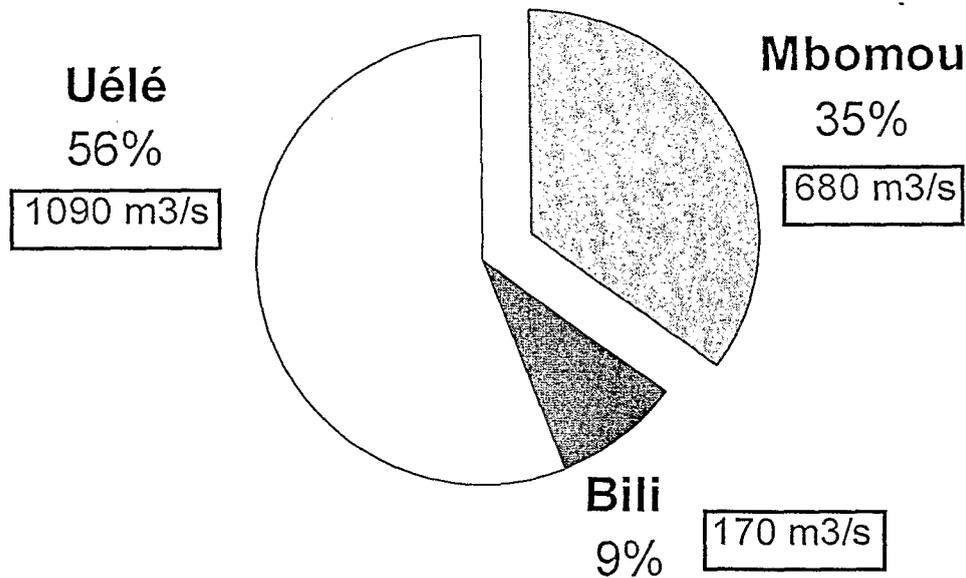


Fig. 3- Répartition régionale des écoulements à la confluence Uélé-Bili-Mbomou. Regional distribution of the total Ubangui discharge at the confluence Uele-Bili-Mbomou.

Les bassins de l'Uélé et de la Bili sont donc bien des bassins à fort caractère humide par rapport à celui du Mbomou, où le déficit pluviométrique enregistré par rapport aux deux bassins humides est de l'ordre de 20%. L'évolution pluviométrique interannuelle est sensiblement la même pour ces trois bassins. Les années les plus sèches sont 1988, 1989 et 1992. Les années les plus pluvieuses sont 1987 (à l'exception du Mbomou où cette année est plutôt déficitaire) et 1991, correspondant aux cycles hydrologiques de 1988 et 1992 ayant les plus forts écoulements (fig. 4). Le pic de crue le plus faible pour l'Uélé s'est produit lors du cycle hydrologique 1993/

1994 ; on note d'ailleurs que cette année-là les pics de crue de l'Uélé et du Mbomou ont été de même amplitude (fig. 4). Enfin, la variabilité interannuelle du module hydrologique annuel et du débit de pointe de crue est plus forte pour l'Uélé que pour le Mbomou.

Les coefficients d'écoulement (tabl. 2) sont de l'ordre de 15% pour les bassins les plus humides et de 10% pour le Mbomou, valeur typique d'un bassin versant dont l'écoulement se fait principalement sous savane.

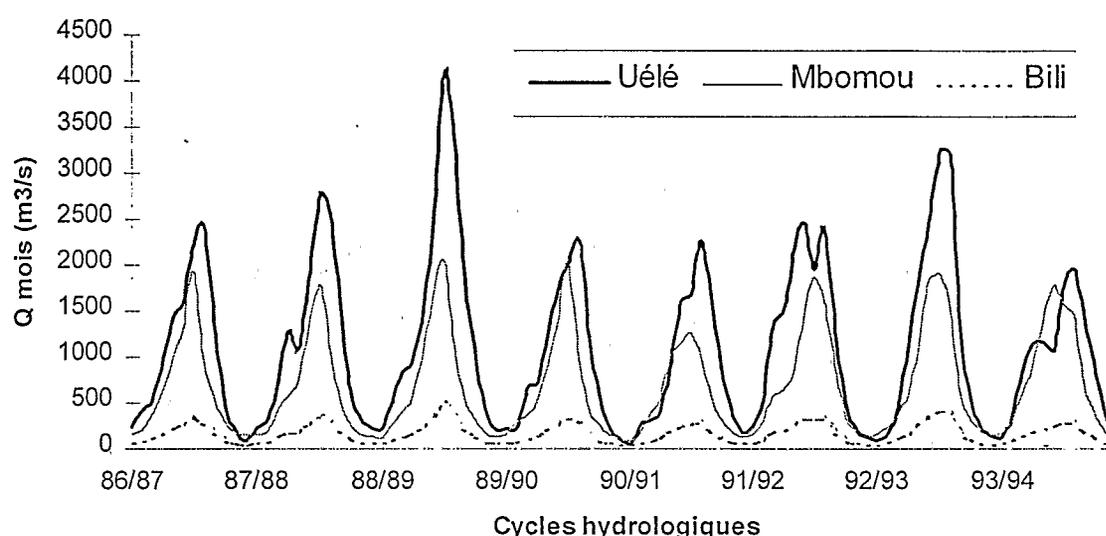


Fig. 4- Evolution des débits moyens mensuels de l'Uélé, du Mbomou et de la Bili au cours de la période 1986-1993. Mean monthly discharge fluctuations of the Uele, Mbomou and Bili rivers during the period 1986-1993.

4. Variabilité saisonnière des écoulements

Comme tous les fleuves de la zone tropicale, l'Uélé, la Bili et le Mbomou ont un hydrogramme annuel unimodal. Dans cette région, la montée des eaux commence en avril pour atteindre son maximum en octobre-novembre (fig. 5). Elle est progressive, alors que la descente des eaux est rapide. Ce caractère est très prononcé pour l'Uélé : de novembre à décembre, le débit moyen mensuel de l'Uélé passe de 2550 m³/s à 1500 m³/s, soit une diminution de 40% en un mois.

Les apports hydriques de l'Uélé et du Mbomou sont équivalents en saison sèche. Mais les écoulements de l'Uélé prennent de plus en plus d'importance au cours de la crue. D'une part, les débits mensuels extrêmes de l'Uélé passent de 150 m³/s en mars à 2550 m³/s en novembre, alors que pour le Mbomou les débits mensuels extrêmes varient entre 130 m³/s en mars et 1795 m³/s en octobre ; d'autre part, les eaux du Mbomou commencent à baisser dès octobre, un mois avant l'Uélé (fig. 5). Ainsi, au maximum de la crue en novembre, les écoulements de l'Uélé représentent 68% des écoulements de l'Oubangui. L'évolution mensuelle des écoulements de la Bili est intermédiaire entre celles de l'Uélé et du Mbomou. Pour ces trois rivières, la somme des écoulements des mois de septembre-octobre-novembre représente 50% de l'écoulement annuel.

Enfin, des débits spécifiques mensuels très largement supérieurs à 10 l/s/km² pour l'Uélé et la Bili caractérisent le fonctionnement hydrologique de cours d'eau drainant des zones de forêt tropicale humide (BRICQUET, 1995). En octobre et novembre, les débits spécifiques mensuels sont de 18 l/s/km² pour l'Uélé et 16 l/s/km² pour la Bili alors que le Mbomou a des débits spécifiques mensuels légèrement inférieurs à 12 l/s/km². Cependant, il faut noter que les débits spécifiques mensuels sont inférieurs à 5 l/s/km² dès le mois de

novembre pour le Mbomou et dès décembre pour l'Uélé et la Bili, cela respectivement jusqu'en juillet et juin inclus.

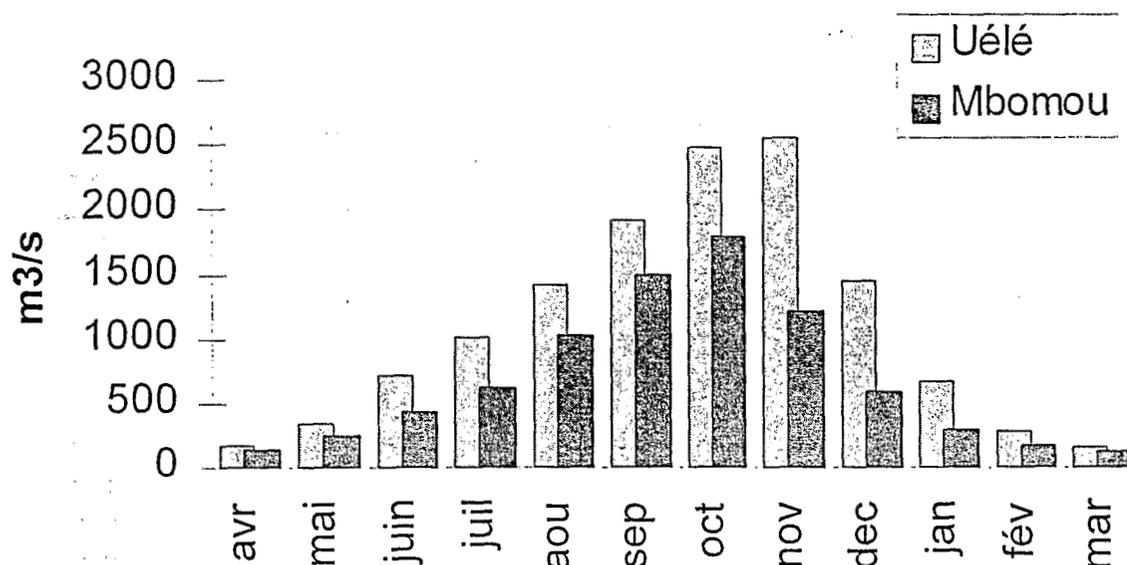


Fig. 5- Répartition mensuelle moyenne des écoulements de l'Uélé et du Mbomou (1986-1993). Mean monthly variations of average discharge for the Uele and Mbomou rivers (period 1986-1993).

III - PROTOCOLES DE MESURES ET MÉTHODE DE CALCUL DES FLUX DE MATIÈRES

D'octobre 1991 à novembre 1994, des prélèvements d'eau de un litre ont été effectués chaque mois, à un mètre de fond, directement dans un flacon en polyéthylène et au milieu de la section du cours d'eau, aux biefs de Yakoma sur l'Uélé, de Kolico sur la Bili et de Tondomazouma sur le Mbomou (ORANGE *et al.*, 1995a). Ces trois points de prélèvements se situent dans un rayon de 1 à 2 km autour de la confluence. Ensuite l'échantillon a été stocké à l'abri de la lumière. Pour chaque station, 25 échantillons mensuels ont pu être ainsi collectés.

Entre une semaine et trois mois après le prélèvement, selon les difficultés d'acheminement de l'échantillon au *Laboratoire d'Hydrologie* de l'ORSTOM à Bangui, un litre du prélèvement est filtré par aspiration sur filtre en acétate de cellulose de 47 mm de diamètre et de 0,2 μm de porosité. Le filtre est utilisé pour la détermination par pesée de la concentration en matières en suspension (MES), correspondant en fait à la fraction granulométrique sableuse additionnée de la fraction granulométrique fine. Le filtrat est utilisé d'une part pour l'analyse chimique des éléments minéraux dissous (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- et SiO_2) au *Laboratoire des Formations Superficielles* de l'ORSTOM à Bondy (France) selon la méthodologie analytique présentée par SONDAĞ *et al.* (1995), et d'autre part pour la détermination de la concentration de matières dissoutes totales par pesée du résidu sec à 105°C de 500 ml de filtrat.

N'ayant qu'un échantillon par mois, les données ponctuelles sont assimilées à la valeur mensuelle du paramètre considéré. Les tonnages mensuels sont calculés à partir des concentrations mensuelles ainsi estimées multipliées par le débit mensuel. La concentration moyenne annuelle représente le flux annuel de matière divisé par le débit annuel, ce qui correspond à une moyenne des concentrations mensuelles pondérées par les débits mensuels.

IV - LES FLUX DE MATIÈRES

1. Qualité chimique minérale des eaux et évolution mensuelle de la charge minérale dissoute totale

Les eaux de l'Uélé et de la Bili sont bicarbonatées calco-sodiques alors que les eaux du Mbomou sont bicarbonatées calciques (tabl. 3). Comme pour la plupart des eaux de rivières d'Afrique de l'Ouest et Centrale (GAC, 1980 ; MEYBECK, 1984 ; MARTINS et PROBST, 1991), les bicarbonates et la silice sont les deux espèces minérales dissoutes largement majeures ; elles représentent près de 80% de la masse minérale totale dissoute TDS.

Tabl. 3- *Composition chimique moyenne annuelle des eaux de l'Uélé, de la Bili et du Mbomou (en mg/l). Mean annual chemical composition (mg/l) of the Uele, Bili and Mbomou river waters during the study period*

	Ca	Mg	K	Na	HCO ₃	Cl	NO ₃	SO ₄	SiO ₂	TDS	MOD	MES
Uélé	2.2	1,0	1,3	2.1	16.8	0,7	0.4	0.5	13.3	38.0	15,1	25.8
Bili	1.7	0.9	1.3	1.5	11.5	0.8	1.1	1.1	11.6	31.6	23.8	21,8
Mbomou	2.9	1.5	1.2	1.2	19.2	0.6	0.3	0.4	11.0	38.2	9.0	29.2

TDS : charge minérale totale dissoute ; MOD : matière organique dissoute ; MES : matières en suspension.
TDS : total dissolved solids, MOD : dissolved organic matter, MES : total suspended sediments.

Les plus fortes concentrations en calcium et bicarbonates des eaux de l'Uélé et du Mbomou par rapport à celles de la Bili (tabl. 3) confirment l'existence de bancs carbonatés sur ces deux bassins, dont la répartition est estimée à 7% de la surface de chacun (tabl. 1). On note aussi la plus forte teneur en magnésium des eaux du Mbomou qui peut s'expliquer, soit par un chimisme des bancs carbonatés différent de ceux de l'Uélé, soit également par la présence plus importante de sols ferrugineux sous savane.

Pour les autres ions analysés, à savoir le sodium, les chlorures, les nitrates et les sulfates, et dans une moindre mesure le potassium, leur concentration est toujours supérieure dans les eaux de l'Uélé et de la Bili (tabl. 3). Tous ces ions sont fortement associés aux cycles biogéochimiques des espèces végétales ; les retrouver principalement dans les eaux des bassins forestiers est tout à fait logique. Les teneurs en nitrates et sulfates dans les eaux de la Bili sont très largement supérieures à celles des deux autres rivières. En effet, en l'absence de pyrite dans les bassins versants considérés, ces deux anions caractérisent des bassins situés en zone de forêt : le bassin de la Bili est bien celui où la forêt humide est la plus fortement représentée, à savoir 44% de la superficie du bassin (tabl. 1). De plus, ce bassin étant beaucoup plus petit que celui de l'Uélé (1/7), les caractéristiques liées aux écoulements sous forêt y sont mieux exprimées. Enfin, on note, sans pouvoir l'expliquer, la plus forte teneur en sodium dans les eaux de l'Uélé.

En termes d'évolution mensuelle des concentrations, les éléments minéraux dissous ont un comportement classique de dilution de leur concentration au cours de la montée des eaux (ORANGE, 1992 ; PROBST *et al.*, 1992 ; ORANGE *et al.*, 1995a), se traduisant par une augmentation des teneurs au cours de la saison sèche pendant que les eaux descendent puis par une diminution des teneurs au cours de la montée des eaux, à l'exception de la silice qui a un comportement inverse (concentration minimale de janvier à avril pendant les hautes eaux) du fait de sa participation aux cycles nutritifs d'espèces végétales supérieures et planctoniques (WOLLAST et MACKENZIE, 1983). Les concentrations les plus variables sont partout celles du sodium et du potassium. Dans les eaux de la Bili, les anions chlorures, sulfates et nitrates montrent également une très forte variabilité, variabilité toute relative cependant puisque les eaux de cette rivière montrent la plus grande stabilité de leur charge minérale totale dissoute TDS au cours de l'année (variation entre 28 mg/l en octobre et 36 mg/l en juin) (fig. 6). La minéralisation des eaux de l'Uélé montre une variation annuelle un peu plus importante (entre 34 mg/l en octobre et 53 mg/l en avril). Ce sont surtout les eaux du Mbomou qui ont la plus grande amplitude de

variation annuelle de leur minéralisation (entre 34 mg/l en novembre et 64 mg/l en mai) malgré un coefficient de variation mensuelle hydrologique plus faible. La plus grande variabilité de la charge minérale dissoute TDS des eaux de surface au cours du cycle hydrologique dans le bassin le plus sec (le bassin du Mbomou) est liée au fait que ses eaux sont les plus influencées par l'évaporation, alors que sur les bassins les plus humides le couvert végétal plus important, notamment la présence de forêt, est un agent protecteur efficace toute l'année contre cette évaporation.

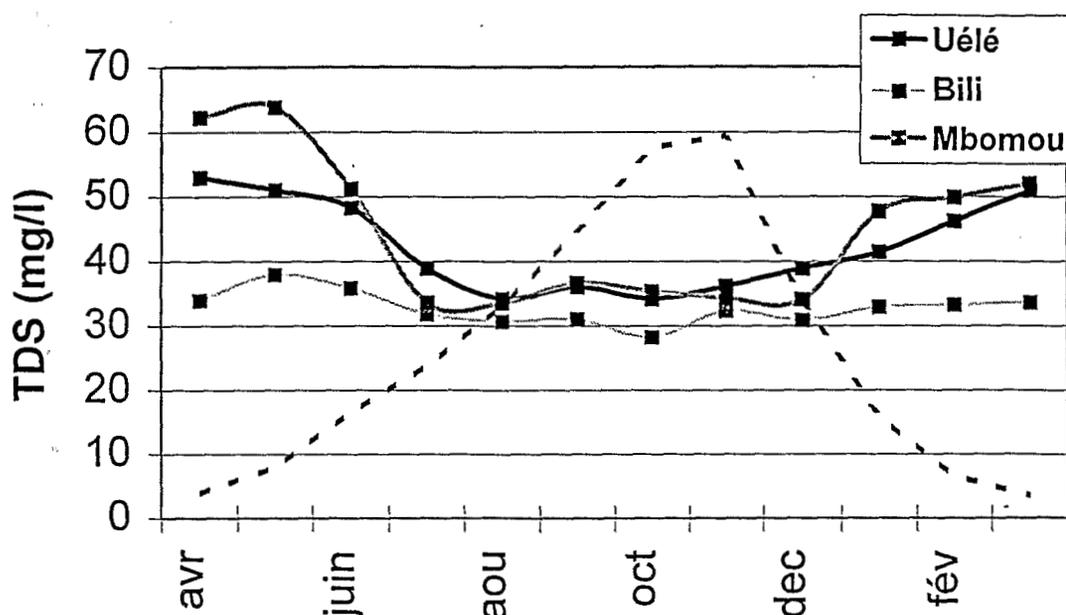


Fig. 6- Evolution au cours du cycle hydrologique de la concentration en matières dissoutes totales (TDS) des eaux de l'Uélé, de la Bili et du Mbomou (en pointillé, hydrogramme mensuel de l'Uélé). Variations of the mean monthly concentrations of total dissolved solids (TDS) in the Uele, Bili and Mbomou river waters (dotted : Uele river discharge variations).

2. Evolution mensuelle des concentrations de matières en suspension au cours du cycle hydrologique

L'évolution mensuelle des concentrations en matières en suspension (MES) de l'Uélé est intermédiaire entre celles du Mbomou et de la Bili (fig. 7).

En effet, les eaux du Mbomou ont une évolution classique de leur concentration en MES au cours du cycle hydrologique. Comme pour la plupart des grands cours d'eau du domaine climatique soudanien (KATTAN *et al.*, 1987 ; OLIVRY *et al.*, 1988 ; ORANGE, 1992 ; PROBST, 1992), la teneur en MES augmente avec la montée des eaux pour atteindre son maximum (50 mg/l) avant le maximum de hauteur d'eau (maximum en août-septembre pour une pointe de crue en octobre), puis décroît pour atteindre son minimum dès janvier. Ce schéma traduit directement les capacités érosives du bassin qui sont conditionnées par la mise en place du couvert végétal après les premières pluies efficaces (ORANGE *et al.*, 1995a ; ORANGE et GHILOUFI, 1996).

Par contre, la concentration en MES des eaux de la Bili a une évolution mensuelle beaucoup plus stable (fig. 7). D'une concentration minimale en mars-avril, elle augmente rapidement dès la reprise des écoulements pour être en juin à une teneur qui évoluera peu au cours de la crue, de l'ordre de 25 mg/l. A partir de décembre, cette concentration diminue progressivement et lentement pour atteindre son minimum en mars. En effet, les concentrations en janvier puis février sont encore relativement élevées par rapport aux deux autres bassins. On

voit dans cette évolution le rôle de filtre que joue le couvert forestier, qui intervient avec la même efficacité vis-à-vis de la protection des sols à l'érosion tout au long de la saison des pluies.

La courbe d'évolution des concentrations en MES de l'Uélé est intermédiaire entre ces deux schémas (fig. 7). Comme pour le Mbomou, les concentrations sont extrêmement faibles en janvier et février (de 1 à 2 mg/l), et commencent à augmenter dès le mois de mars. Le pic de concentration (de l'ordre de 40 mg/l) est atteint un mois avant celui du Mbomou, puis la concentration diminue régulièrement jusqu'en décembre pour chuter ensuite à son minimum en janvier.

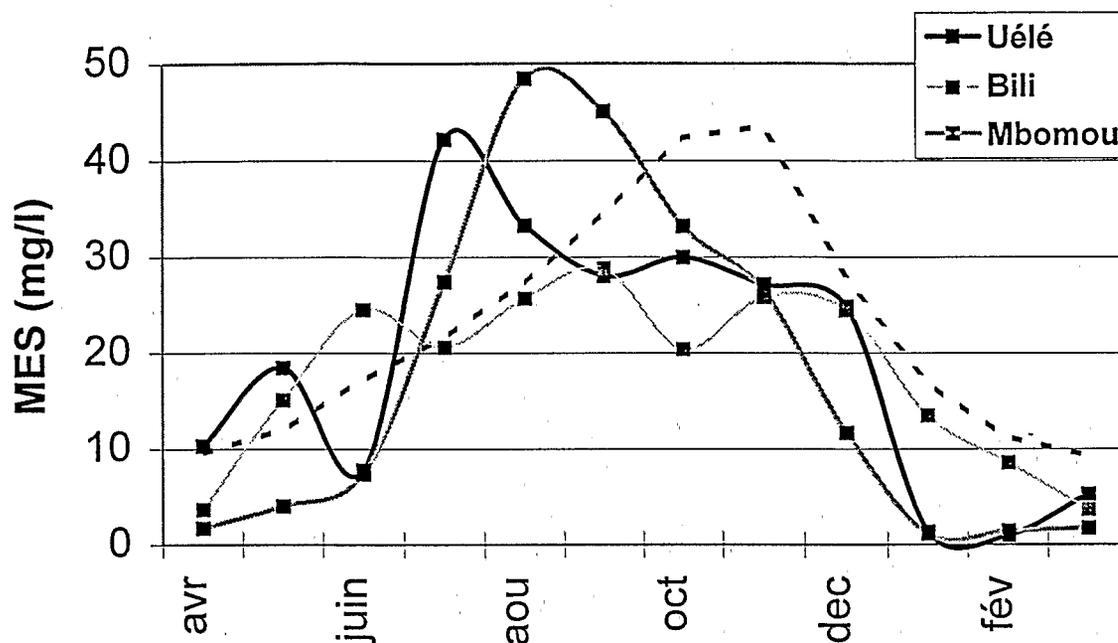


Fig. 7- Evolution au cours du cycle hydrologique de la concentration en matières en suspension (MES) des eaux de l'Uélé, de la Bili et du Mbomou (en pointillé, hydrogramme mensuel de l'Uélé). Variations of the mean monthly concentrations of total suspended sediment (MES) in the Uele, Bili and Mbomou river waters (dotted : Uele river discharge variations).

3. Evolution mensuelle des concentrations de matières organiques dissoutes au cours du cycle hydrologique

La concentration en matières organiques dissoutes (MOD) des eaux est calculée par différence entre la concentration en charge minérale dissoute (TDS) et la concentration en matières dissoutes totales obtenue par pesée du résidu sec. Cette concentration en MOD est donc une estimation et non une mesure directe de celle-ci. Cependant cette méthode qualitative permet d'apprécier l'évolution mensuelle de la teneur en matières organiques dissoutes des eaux.

Les eaux de la Bili sont les plus organiques (fig. 8) : on note deux pointes de concentration en juillet et décembre, non expliquées, et surtout une présence de matières organiques pratiquement tous les mois de l'année, à l'exception du début de crue (en mai et juin). A l'opposé, les eaux du Mbomou sont les moins organiques, la MOD étant absente tout au long de la saison sèche, de janvier à juin inclus. On note un pic de concentration en juillet, précédant d'un mois le pic de concentration en MES, et diminution ensuite. Pour l'Uélé, le schéma d'évolution est encore une fois intermédiaire entre celui des deux autres bassins. Cette évolution de l'Uélé correspond à celle de l'Oubangui à Bangui (ORANGE *et al.*, 1995a).

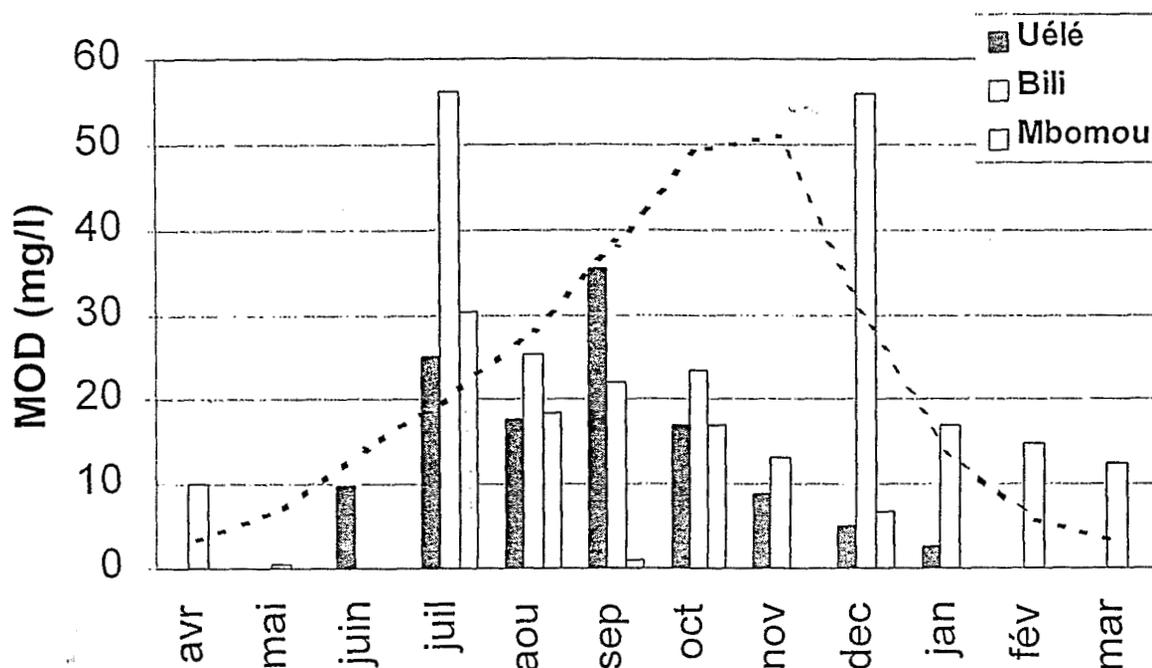


Fig. 8- Répartition mensuelle moyenne de la concentration en matières organiques dissoutes (MOD) des eaux de l'Uélé, de la Bili et du Mbomou (en pointillé, hydrogramme mensuel de l'Uélé). Variations of the mean monthly concentrations of dissolved organic matter (MOD) in the Uele, Bili and Mbomou river waters (dotted : Uele river discharge variations).

De façon générale, dans cette zone géographique, les fortes teneurs en matières organiques dissoutes des eaux de surface durant la période des hautes eaux sont expliquées par le rinçage des solutés organiques très concentrés en zone de forêt, inondée à cette époque (SYMOENS, 1968 ; NKOUNKOU et PROBST, 1987 ; OLIVRY *et al.*, 1988 ; BARREAU, 1992).

4. Classification des eaux en fonction de la superficie de forêt humide

A partir des trois bassins versants étudiés, il est intéressant de chercher à établir une typologie des eaux en fonction des paramètres physiographiques des bassins. Pour cela, on s'intéresse à la concentration moyenne annuelle de TDS (matières minérales totales dissoutes), de MOD (matières organiques dissoutes) et de MES (matières en suspension). Le paramètre physiographique pris en compte est le pourcentage de superficie de forêt humide dans le bassin. Enfin, pour mieux situer le rôle de cette forêt sur la qualité des eaux de surface, on utilise également les rapports $\text{HCO}_3/\text{SiO}_2$ et MOD/TDS. Le premier caractérise l'intensité de l'altération, l'altération carbonatée conduisant à de plus fortes valeurs de ce rapport que l'altération silicatée. Pour le deuxième rapport mentionné, on comprend facilement qu'une forte valeur de ce rapport souligne une eau très fortement organique.

Les eaux de l'Uélé et du Mbomou ont une charge minérale dissoute (TDS) semblable, de l'ordre de 38 mg/l, supérieure à celle de la Bili (32 mg/l) (tabl. 3). La charge organique dissoute (MOD) est par contre beaucoup plus importante dans les eaux de la Bili (24 mg/l) que dans celles de l'Uélé (15 mg/l) et du Mbomou (9 mg/l). Enfin, la teneur en matières en suspension (MES) varie significativement, mais peu, entre une charge en suspension moyenne annuelle faible pour la Bili (22 mg/l) et très légèrement supérieure pour l'Uélé (26 mg/l) puis le Mbomou (29 mg/l).

MOD et MES montrent une évolution linéaire très nette en fonction de la superficie d'occupation de forêt humide. La MOD augmente avec la forêt alors que les MES diminuent (fig. 9). L'évolution des TDS en fonction

de la répartition de forêt est moins évidente, du fait de la plus faible amplitude de variation des TDS, mais surtout du fait de l'interaction, dans cette variable chimique, d'un autre paramètre physiographique important : la lithologie, non prise en compte ici.

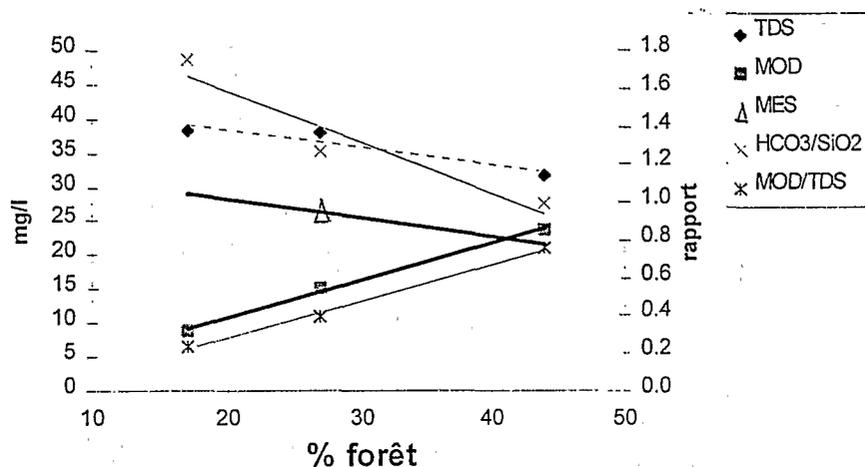


Fig. 9- Evolution des paramètres caractéristiques des eaux en fonction de la superficie de forêt. Evolution of average physico-chemical parameters in relation with increasing percentage of forest area for the Mbomou (17 %), the Uele (27 %) and the Bili (44 %) river basins.

Le rapport $\text{HCO}_3/\text{SiO}_2$ diminue avec l'augmentation de forêt, alors que la répartition en superficie des carbonates est équivalente dans les bassins de l'Uélé et du Mbomou (tabl. 1). En fait, la diminution du rapport $\text{HCO}_3/\text{SiO}_2$ entre le Mbomou et l'Uélé indique une activité plus intense de l'altération des roches silicatées sur ce dernier bassin nettement plus humide. Cette tendance est confirmée sur le bassin de la Bili par la valeur élevée du transport spécifique de silice dans ses eaux de surface. Par contre, la plus faible valeur de ce rapport pour le bassin de la Bili, par rapport à l'Uélé, est alors plus liée à l'absence de roches carbonatées sur ce dernier bassin qu'à une intensification de l'altération silicatée.

Classiquement, le rapport MOD/TDS croît avec l'augmentation de forêt (fig. 9). On note le parallélisme de la droite d'évolution avec celle des MOD, liée avant tout à la faible variation des TDS.

L'étude des eaux de ces trois bassins confirme donc bien l'importance de la présence de forêt sur la qualité des eaux de surface, influençant surtout, évidemment, la quantité de matières organiques transportées. Ainsi, la concentration en MOD augmente très largement en fonction de l'augmentation de forêt. A l'opposé, la concentration en MES diminue de façon moins importante mais significativement tout de même avec l'augmentation de forêt. Enfin, l'effet de cette augmentation de forêt sur l'évolution de la TDS n'est pas évidente du fait de la présence de bancs carbonatés pour deux bassins sur trois ; mais il faut rappeler qu'elle avait une influence au niveau de la répartition des espèces minérales dissoutes comme les sulfates, les nitrates et, dans une moindre mesure, les chlorures.

5. Distribution régionale des flux minéraux et organiques, dissous et particuliers

Les flux de matières sont exprimés en $\text{t}/\text{km}^2/\text{an}$ afin de pouvoir comparer les exportations de matières pour chaque bassin. On parle alors de flux spécifiques. Dans cette unité, on peut assimiler la TDS à l'érosion chimique spécifique et les MES à l'érosion mécanique spécifique.

Au niveau des éléments minéraux dissous exportés, il est clair que K, Na, Cl, NO_3 , SO_4 et SiO_2 sont exportés majoritairement par les bassins forestiers (tabl. 4). Si on compare ces résultats avec l'estimation des apports de la

cuvette congolaise (située plus au Sud en milieu encore plus humide que celui de l'Uélé ou de la Bili) donnée par SYMOENS (1968), on arrive aux mêmes conclusions avec une exportation plus importante encore des chlorures, sulfates, silice et sodium (les nitrates n'étant pas cités).

Tabl. 4 - *Transports spécifiques moyens annuels de matières des eaux du Mbomou, de l'Uélé, de la Bili et de la cuvette congolaise (en t/km²/an). Mean annual specific transports (t/km².yr) of major dissolved elements, organic matter and suspended sediments by the Mbomou, Uele and Bili rivers during the study period and by the humid Congolese depression waters*

	Ca	Mg	K	Na	HCO ₃	Cl	NO ₃	SO ₄	SiO ₂	TDS	MOD	MES
Mbomou	0,41	0,21	0,17	0,16	2,68	0,08	0,04	0,06	1,53	5,3	1,3	4,1
Uélé	0,55	0,26	0,33	0,53	4,15	0,19	0,10	0,12	3,29	9,4	3,8	6,4
Bili	0,43	0,22	0,33	0,37	2,83	0,21	0,26	0,26	2,85	7,8	5,9	5,3
Cuvette (1)	0,48	0,10	0,36	0,60	1,44	0,54	--	1,36	5,25	10,1	--	--

TDS : charge minérale totale dissoute ; MOD : matière organique dissoute ; MES : matières en suspension ; (1) : apports de la cuvette congolaise estimés par SYMOENS (1968).

TDS : total dissolved solids, MOD : dissolved organic matter, MES : total suspended sediments. (1) specific transports from the humid Congolese depression waters, estimated by SYMOENS (1968).

Finalement, ceci se traduit par une érosion chimique spécifique beaucoup plus intense sur les bassins humides et donc forestiers, respectivement 9,4 t/km²/an et 7,8 t/km²/an pour les bassins de l'Uélé et de la Bili. La grande valeur mesurée pour l'Uélé par rapport à la Bili tend à confirmer la présence de carbonates sur le bassin. Pour le bassin du Mbomou, l'érosion chimique spécifique n'est que de 5,3 t/km²/an, ce qui est très peu comparé aux autres fleuves de la zone soudano-guinéenne (GAC, 1980 ; ORANGE, 1992), d'autant que ces chiffres ne sont pas corrigés des apports atmosphériques. L'érosion mécanique spécifique est également plus forte sur les bassins humides, avec encore une dominance de l'Uélé (6,4 t/km²/an contre 5,3 t/km²/an et 4,1 t/km²/an pour respectivement la Bili et le Mbomou) liée cette fois à des altitudes plus élevées à l'amont du bassin et donc des pentes plus fortes. Enfin, le flux spécifique de MOD est très largement supérieur pour la Bili avec 5,9 t/km²/an, plus de 4 fois supérieur à celui du Mbomou (1,3 t/km²/an), l'Uélé ayant cette fois une valeur intermédiaire (3,8 t/km²/an) (tabl. 4) traduisant toute l'importance de la forêt pour l'exportation de matières organiques dissoutes par les eaux de surface.

Au total, les bassins de l'Uélé et de la Bili ont un transport spécifique très largement supérieur à celui du Mbomou, respectivement 19,6 t/km²/an, 19,0 t/km²/an et 10,7 t/km²/an. Les matières organiques dissoutes représentent 31% des exportations de matières de la Bili contre seulement 12% pour le Mbomou ; inversement, les matières en suspension ne représentent que 28% des exportations de matières de la Bili contre 38% pour le Mbomou, l'Uélé ayant encore une situation intermédiaire avec 33%.

Le tonnage moyen annuel de matières exportées est de 2 750 000 t/an pour l'Uélé, 400 000 t/an pour la Bili et 1 650 000 t/an pour le Mbomou, ce qui fait un apport total à l'Oubangui de 4 800 000 t/an se répartissant en 48% de TDS, 18% de MOD et 34% de MES. Bien sûr, du fait de la faible superficie du bassin versant de la Bili, cet affluent contribue peu au transport total de matières de l'Oubangui. Il ne participe que pour 7% des TDS, 7% des MES et tout de même 15% de la MOD (fig. 10). Par contre, l'Uélé, participant pour 56% des écoulements, apporte la majeure partie des matières à l'Oubangui. Ses apports représentent, dans l'ordre décroissant : 62% de la MOD, 57% des TDS et 55% des MES (fig. 10). Ainsi, l'Uélé est l'affluent constitutif majeur de l'Oubangui, non seulement par ses apports hydriques, mais aussi par l'importance de ses apports de matières dont la contribution relative est la plus importante pour les matières organiques dissoutes.

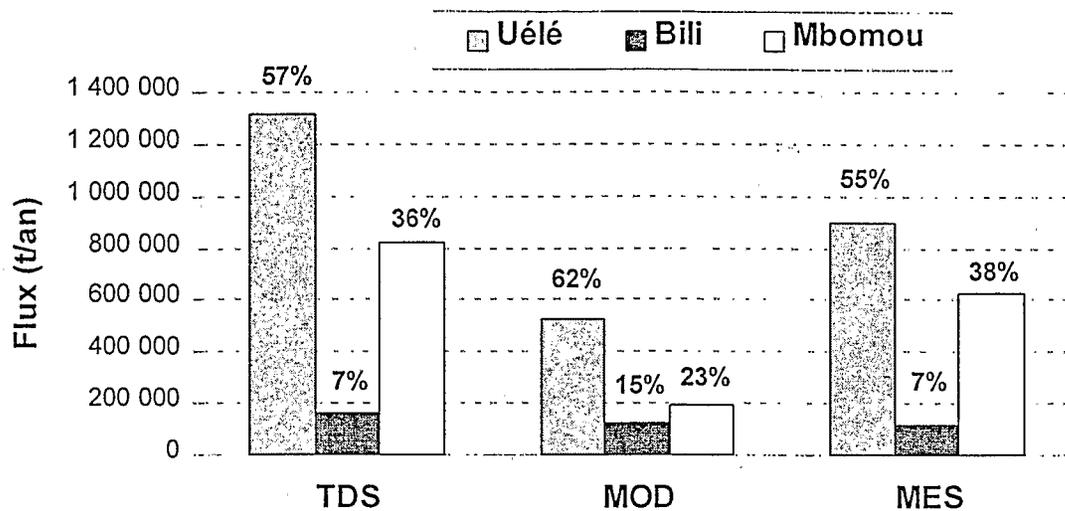


Fig. 10- Répartition par affluent des flux de matières transportés (TDS, MOD et MES) (en t/an). Average contributions of the different tributaries to the total dissolved solids (TDS), dissolved organic matter (MOD) and total suspended sediment (MES) exported by the Ubangui river after the confluence.

CONCLUSION

Le bilan hydrologique régional de l'ensemble Uélé-Bili-Mbomou a montré que 65% des écoulements de l'Oubangui à cette confluence provenaient des bassins les plus humides et donc les plus forestiers. Cette prédominance des bassins forestiers de l'Uélé et de la Bili existe également pour les flux de matières minérales dissoutes, de manière très nette pour les flux de matières organiques dissoutes et à peine marquée pour les flux de matières en suspension. En effet, 77% de la matière organique dissoute à la naissance de l'Oubangui provient des bassins forestiers.

Cette importance de la contribution des bassins forestiers à l'exportation de la MOD s'accompagne d'un chimisme minéral dissous particulier, lié aux apports dus au lessivage de la litière sous forêt. Ce lessivage est plus intense car d'une part, les volumes d'eau engagés sont plus importants, et d'autre part, la litière humique est plus épaisse en zone de forêt. Tout ceci contribue à fournir des eaux beaucoup plus concentrées en nitrates et sulfates. On note que la matière organique dissoute, présente toute l'année dans les eaux de la Bili, n'est exportée par les eaux du Mbomou qu'en période de hautes eaux, les eaux de l'Uélé ayant un comportement intermédiaire.

Le bassin de la Bili, du fait de sa faible superficie et de la plus forte représentation de forêt sur son bassin, possède les eaux exprimant le mieux les critères des transports de matières d'un bassin forestier en zone tropicale humide du bassin zaïrois. Dans ce type de bassin, par rapport à un bassin sous savane, on retiendra que :

- près de la moitié des exportations de matières dissoutes sont représentées par la MOD ;
- les transports minéraux dissous sont caractérisés par une exportation spécifique importante des éléments de la litière du sol forestier, à savoir le potassium, le sodium, les chlorures, les nitrates et les sulfates ;
- l'altération silicatée est plus intense, se traduisant par une exportation spécifique plus importante de la silice ;
- le rôle de protection des sols et de filtre du couvert forestier induit une faible teneur en MES et, surtout, l'absence d'un pic de concentration au début de la montée des eaux se traduisant par une valeur relativement constante de cette concentration tout au long des hautes eaux ;

- le rôle protecteur du couvert végétal a également un effet important sur la réduction de la concentration en éléments dissous des eaux de surface par évaporation, se traduisant par une fluctuation saisonnière très faible de TDS.

L'Uélé, par la grande taille de son bassin et un différentiel d'altitude plus important, montre un comportement intermédiaire de la partie minérale particulaire et de la partie organique dissoute de ses eaux. Pour les matières minérales dissoutes, la présence de carbonate sur son bassin (apparemment confirmée par le faciès chimique de ses eaux de surface), comme sur celui du Mbomou, augmente très largement les exportations en calcium et bicarbonates de ces deux bassins, par rapport à celles de la Bili dont le bassin est dépourvu de roches carbonatées.

Enfin, cette étude régionale des exportations de matières a confirmé que l'Uélé était bien la branche-mère de l'Oubangui en apportant 57% des matières fluviales totales contre seulement 34% pour le Mbomou. Par ailleurs, cette nouvelle connaissance permettra une meilleure compréhension du comportement des flux de matières de l'Oubangui mesurés mensuellement à Bangui de 1987 à 1995.

Remerciements - Cette étude a été réalisée dans le cadre de l'opération Grands Bassins Fluviaux (GBF) du « Programme Environnement de la Géosphère Intertropicale » (PEGI) financé par l'association INSU-ORSTOM-CNRS. L'auteur remercie particulièrement le *Laboratoire des Formations Superficielles* (LFS, ORSTOM, Bondy) pour les analyses d'eau.

BIBLIOGRAPHIE

- BARREAU C. (1992) - Etude de la matière organique associée aux suspensions fluviales : application à des fleuves de climats tempéré et intertropical. Thèse Sci., Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, 176 p.
- BOULVERT Y. (1986) - Carte phytogéographique au 1/1 000 000, République Centrafricaine. Notice explicative n° 104, éd. ORSTOM, Paris.
- BRICQUET J.P. (1995) - Les écoulements du Congo à Brazzaville et la spatialisation des apports. In « Grands Bassins Fluviaux périalatitiques : Congo, Niger, Amazone », J.C. OLIVRY & J. BOULÈGUE (Eds), Collection Colloque et Séminaire, éd. ORSTOM, Paris, p. 27-38.
- CALLÈDE J., BOULVERT Y. & THIÉBAUX J.P. (1992, à paraître) - Le bassin de l'Oubangui. Coll. Monographies Hydrologiques, éd. ORSTOM, Paris.
- DEVROEY E.J. (1961) - Annuaire hydrologique du Congo et du Ruanda-Urundi (1959). *Mém. Institut Royal Colonial Belge*, Section Sci. Techniques, XIV, (1), Bruxelles, 557 p.
- DERONDE L. & SYMOENS J.J. (1980) - L'exportation des éléments dominants du bassin du fleuve Zaïre : une réévaluation. *Annales Limnol.*, 16, (2), p. 183-188.
- GAC J.Y. (1980) - Géochimie du bassin du lac Tchad : bilan de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation. *Trav. et Doc. ORSTOM*, Paris, 123, 251 p.
- KATTAN Z., GAC J.Y. & PROBST J.L. (1987) - Suspended sediment load and mechanical erosion in the Senegal basin, estimation of the surface runoff concentration and relative contributions of channel and slope erosions. *J. Hydrol.*, 92, p. 59-76.
- LEMPICKA M. (1973) - Bilan hydrique du bassin du fleuve Zaïre. Office National de la Recherche et du Développement (éd.), Kinshasa, 77 p.
- L'HÔTE Y. & MAHÉ G. (1995) - Afrique de l'Ouest et Centrale, précipitations moyennes annuelles (période 1951-1989). Carte 1/6 000 000, éd. ORSTOM, Paris.
- MAHÉ G., DELCLAUX F. & CRESPIY A. (1994) - Elaboration d'une chaîne de traitement pluviométrique et application au calcul automatique de lames précipitées (bassin-versant de l'Ogooué au Gabon). *Hydrol. Continent.*, éd. ORSTOM, Paris, 9, (2), p. 169-180.

- MALEY J. (1990) - Histoire récente de la forêt dense humide africaine : essai sur le dynamisme de quelques formations forestières. In « Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique », R. LANFRANCHI & D. SCHWARTZ (Eds), éd. ORSTOM, Paris, p. 367-382.
- MARTINS O. & PROBST J.L. (1991) - Biogeochemistry of major african rivers : carbon and mineral transport. In « Biogeochemistry of major world rivers », E.T. DEGENS, S. KEMPE & J.E. RICHEY (Eds), SCOPE, Chap. 6, p. 129-157.
- MESTRAUD J.L. (1982) - Géologie des ressources minérales de la République Centrafricaine, état des connaissances à fin 1963 (avec la participation de B. BESSOLES). *Mém. BRGM*, 60, 186 p.
- MEYBECK M. (1984) - Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse Sci., Géologie, Univ. Paris VI, n° 84-85, 558 p.
- NKOUNKOU R.R. & PROBST J.L. (1987) - Hydrology and geochemistry of the Congo river system. In « Transport of carbon and minerals in major world rivers », part 4, E.T. DEGENS, S. KEMPE & Gan WEI-BIN (Eds), SCOPE, 64, p. 483-508.
- OLIVRY J.C., BRICQUET J.P., THIÉBAUX J.P. & SIGHA N.L. (1988) - Transport de matières sur les grands fleuves des régions intertropicales : les premiers résultats des mesures de flux particulières sur le bassin du fleuve Congo. *Sediment Budgets, IAHS Publ.* 174, p. 509-521.
- ORANGE D. (1992) - Hydroclimatologie du Fouta Djallon et dynamique actuelle d'un vieux paysage latéritique (Afrique de l'Ouest). *Sci. Géol., Mém.*, 93, 206 p.
- ORANGE D. (1995) - Reconstitution des données hydrologiques du bassin de l'Oubangui pour la constitution de la Banque hydrologique du programme PEGI/GBF/RCA (de l'origine des stations à 1994). Rapport PEGI/GBF/RCA, Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM, Montpellier, 300 p.
- ORANGE D. (1996) - Hydroclimatologie récente de l'Uélé et flux de matières. Abstracts of Int. Conf. On Tropical Climatology Meteorology and Hydrology (May 22-24 1996, Brussels), Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles, 1 p.
- ORANGE D. & GHILOUFI M. (1996) - Modélisation de l'érosion sur l'Oubangui à l'échelle mensuelle et spatialisation des résultats sous IDRISI. Rapport PEGI/GBF/RCA, Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM, Montpellier, 111 p.
- ORANGE D., SIGHA-NKAMDJOU L. & METTIN J.L. (1994) - Calcul de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant de l'Oubangui à Mongoumba et ses sous-bassins versants (1972-1992). Rapport PEGI/GBF/RCA, ORSTOM, Bangui, 123 p.
- ORANGE D., OLIVRY J.C. & CENSIER C. (1995) - Variations et bilans des flux de matières particulières et dissoutes de l'Oubangui à Bangui (de 1987 à 1992). In « Grands Bassins Fluviaux périatlantiques : Congo, Niger, Amazone », J.C. OLIVRY & J. BOULÈGUE (Eds), Collection Colloque et Séminaire, éd. ORSTOM, Paris, p. 147-158.
- ORANGE D., WESSELINK A. & FEIZOURÉ C. (1995) - Banque de données hydrologiques du bassin de l'Oubangui utilisée pour le programme PEGI/GBF (1986-1993), version 2. Rapport PEGI/GBF/RCA, Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM, Montpellier, 52 p.
- PROBST J.L. (1992) - Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale, mécanismes, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d'années. *Sci. Géol., Mém.*, 94, 167 p.
- PROBST J.L., NKOUNKOU R.R., KREMPF G., BRICQUET J.P., THIÉBAUX J.P. & OLIVRY J.C. (1992) - Dissolved major elements exported by the Congo and the Ubangui rivers during the period 1987-1989. *J. Hydrol.*, 135, p. 237-257.
- SONDAG F., LARAQUE A. & RIANDEY C. (1995) - Chimie des eaux du fleuve Congo à Brazzaville et de l'Oubangui à Bangui. In « Grands Bassins Fluviaux périatlantiques : Congo, Niger, Amazone », J.C. OLIVRY & J. BOULÈGUE (Eds), Collection Colloque et Séminaire, éd. ORSTOM, Paris, p. 121-131.
- SYMOENS J.J. (1968) - La minéralisation des eaux naturelles. In « Exploration hydrobiologique du bassin du Lac Bangweolo et du Luapula », Ministère Education Nationale et Culture de Belgique, Bruxelles, 199 p.
- VAN FRACHEN T. (1980) - Contribution à l'étude de l'hydrologie de surface du bassin zaïrois : les relevés des cotes hydrométriques des années 1971 à 1978. *Mém. Acad. Royale Sci. Outre-Mer, Classe Sci. Techniques*, Bruxelles, 398 p.

- WESSELINK A.J., ORANGE D., FEIZOURÉ C.T. & RANDRIAMIARISOA (1996) - Les régimes hydroclimatiques et hydrologiques d'un bassin versant de type tropical humide : l'Oubangui (République Centrafricaine). *In* « L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement » (Actes de la conférence de Paris, mai 1995), *I.A.H.S. Publ.* 238, p. 179-194.
- WOLLAST R. & MACKENZIE F.T. (1983) - The global cycle of silica. *In* « Silicon geochemistry and biogeochemistry », S.R. ASTON (Ed.), Academic Press, London, p. 39-76.