

## **Origine des variations de débits du Congo à Brazzaville durant le XXème siècle**

**ALAIN LARAQUE**

*ORSTOM, CP 7091, Lago Sul, CEP 71619-970, Brasília, DF, Brésil*

e-mail: [alain.laraque@apis.com.br](mailto:alain.laraque@apis.com.br)

**DIDIER ORANGE**

*LECOM, Centre ORSTOM, BP 84, Bamako, Mali*

**BIENVENU MAZIEZOULA**

*CERGEC, Hydrologie, BP 125, Brazzaville, Congo*

**JEAN-CLAUDE OLIVRY**

*Centre ORSTOM, Laboratoire d'Hydrologie, BP 5045, F-34032 Montpellier, France*

**Résumé** Les bilans hydrologiques des affluents de rive droite du Congo ont été reconstitués à leurs confluences pour les quatre phases d'écoulements homogènes du fleuve durant le XXème siècle. Les écoulements de ce dernier présentent une phase stable du début du siècle à 1960, suivis d'une phase humide durant la décennie 1960, puis d'une diminution des écoulements de 1971 à 1982, qui n'est qu'un retour à la "normale", précédant une deuxième baisse de son régime jusqu'à nos jours, marquant l'épisode "sec" du siècle. Ces variations d'écoulements, concomitantes pour tous ces cours d'eau, se répartissent de manière hétérogène de quelques pour cent à environ 30%, entre eux et en fonction des phases hydrologiques. Les fluctuations les plus importantes proviennent du bassin de l'Oubangui, le plus septentrional. Alors que sa superficie représente moins du cinquième de celle du bassin congolais, il explique 34% du déficit des débits du Congo à Brazzaville, durant la phase sèche actuelle.

### **INTRODUCTION**

Quelques travaux (Olivry, 1993; Laraque & Olivry, 1996) ont permis de décrire et de comprendre le fonctionnement du bassin du Congo ainsi que celui des différentes unités qui le constituent (Orange *et al.*, 1997), notamment en décomposant les participations de chaque tributaire, aux différentes phases de l'hydrogramme du fleuve (Bricquet, 1993). Certains d'entre eux (Hubert & Carbonnel, 1993; Laraque *et al.*, 1997) ont découpé leurs chroniques hydropluviométriques en segmentations stationnaires, par des procédures statistiques de détection de ruptures. Il s'agit des tests de "Buishand", de "Pettitt", de la méthode "Bayésienne de Lee-Heghinian" et de la "segmentation de Hubert", qui ont déjà été utilisés avec succès dans l'étude des séries hydrométéorologiques de l'Afrique de l'Ouest (Hubert *et al.*, 1989; Lubès *et al.*, 1995; Aka *et al.*, 1996; Paturol *et al.*, 1997; Servat *et al.*, 1997).

La première moitié du XXème siècle est caractérisée par une certaine stabilité des écoulements du Congo. Ces derniers commencent à subir des variations cycliques

quasi décennales à partir de 1960. Ce travail propose une étude des variations des contributions des tributaires du Congo lors de ses principales phases homogènes durant cette deuxième moitié du siècle. Cette décomposition des variations des apports de chaque affluent permet d'identifier les zones hydrologiques les plus sensibles du bassin du Congo pour chacune de ces périodes homogènes.

## PRESENTATION DE LA ZONE ETUDIEE

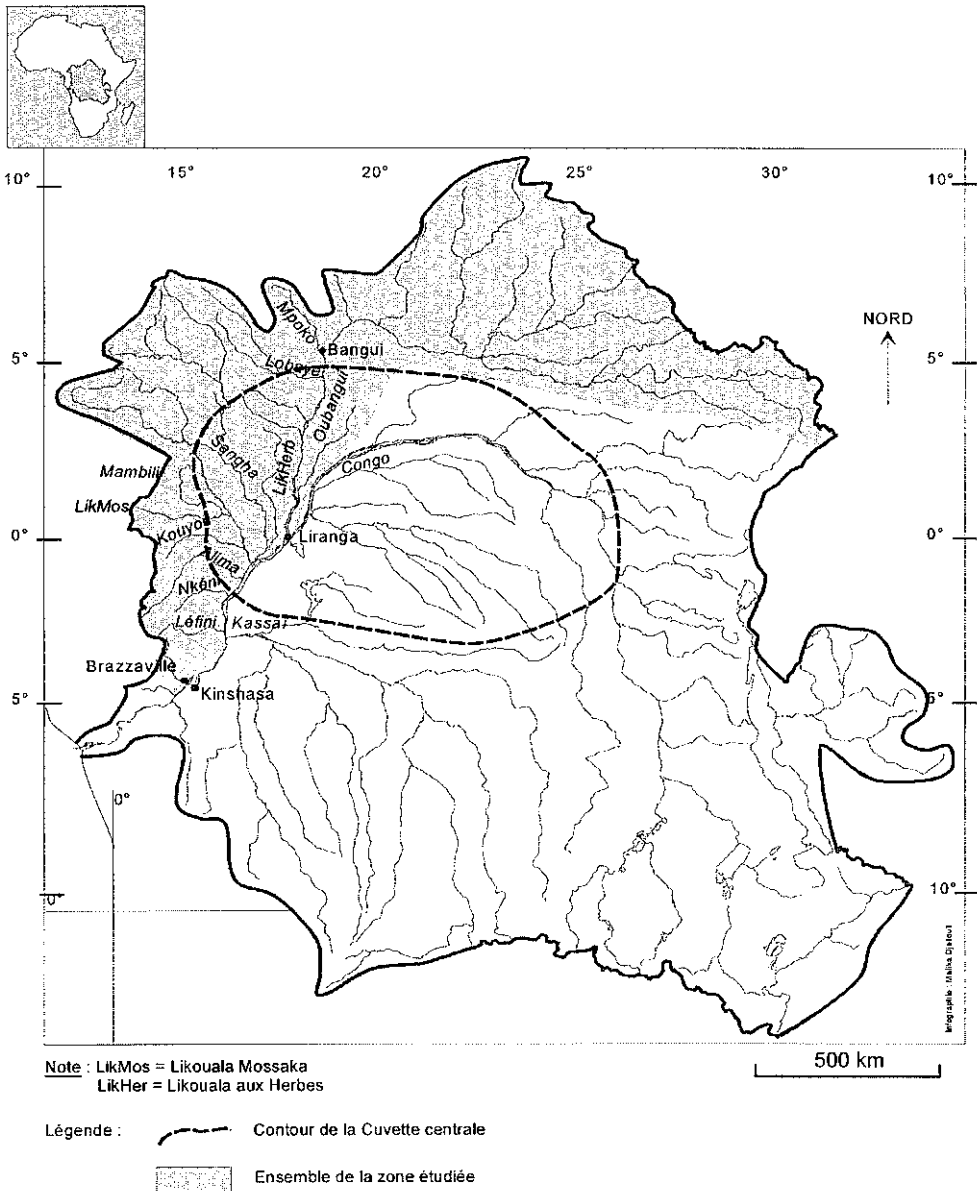
Long de 4700 km, le fleuve Congo dessine une large courbe qui traverse deux fois l'équateur. Son bassin situé entre les parallèles 9°N et 14°S et les méridiens 11°E et 31°E, couvre une superficie totale de  $3.7 \times 10^6$  km<sup>2</sup>, qui présente tant par sa forme, son relief, sa géologie, son climat, que par son couvert végétal, une structure globalement concentrique autour de la Cuvette ou dépression centrale (Fig. 1).

Cette étude s'est effectuée essentiellement grâce aux données des affluents de rive droite. Ces derniers occupent toute la partie septentrionale et occidentale du bassin et traversent trois régions physiographiquement distinctes. Il s'agit du nord vers le sud, d'un premier ensemble de plateaux cuirassés couverts de savanes arbus-tives à arborées puis de forêt, dans lequel s'écoule l'Oubangui, sous climat tropical humide de transition (1500 mm an<sup>-1</sup>). Puis, sous climat équatorial (2000–2300 mm an<sup>-1</sup>), apparaît le domaine de la grande forêt pluviale, qui se prolonge dans toute la Cuvette Centrale (bassins de la Sangha, Likouala aux Herbes, Likouala Mossaka). Enfin les plateaux Tékés, constituent un puissant aquifère grésosablonneux traversés par des cours d'eau très réguliers (Kouyou, Alima, Léfini, Nkényi). Ces sous bassins ont des superficies totales variant entre 8000 et 650 000 km<sup>2</sup>.

## DONNEES ET METHODOLOGIE

Les chroniques de données hydrologiques de ces affluents ont été homogénéisées (après contrôle des étalonnages et correction des périodes de validité puis à partir de données d'archives, de corrélations inter stations, d'interpolations linéaires pour des lacunes de courtes durées, etc.), durant leur période commune 1951–1993 (Laraque & Maziezoula, 1995; Orange et al., 1995). Le fleuve Congo, quant à lui, possède deux séries débitométriques journalières, à ses principales stations hydrométriques de Brazzaville et de Kinshasa, qui contrôlent 95% de la superficie totale de son bassin versant. L'une concerne la période 1947–1997 à Brazzaville, alors que l'autre provient de la station de Kinshasa et couvre la période 1902 à 1983 (UNESCO, 1995). L'homogénéisation (par prise en compte des modifications d'étalonnage et par corrélation sur leur période commune) de ces deux séries par Laraque & Maziezoula (1995), a permis de corriger la discontinuité fictive de 1974 présente dans la chronique de Brazzaville de l'UNESCO (1995) et d'obtenir une seule chronique hydrologique continue couvrant tout le vingtième siècle et dont le module moyen atteint 40 600 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (Tableau 1).

Les chroniques hydrologiques du Congo et de ses affluents de rive droite, ont déjà été subdivisées en quatre phases d'écoulement homogènes dans un travail précédent (Laraque et al., 1997).



**Fig. 1** Bassin versant du Congo.

Afin d'étudier l'évolution de leurs contributions au Congo lors de chacune de ces phases d'écoulement stationnaire, il a fallu reconstituer les bilans hydrologiques interannuels à leurs confluences. En l'absence de règle en la matière pour estimer avec précision sur de tels bassins, les débits aux exutoires à partir de ceux mesurés aux stations hydrométriques, parfois très éloignées en amont, nous avons, de manière certes empirique mais en tenant compte du contexte régional, tentés d'évaluer les écoulements générés par les zones non contrôlées de ces bassins versant. Ces

**Tableau 1** Modules ( $Q$ ) du Congo à Brazzaville durant le XXème siècle; moyenne 40 600.

Années	$Q$ ( $m^3 s^{-1}$ )	Années	$Q$ ( $m^3 s^{-1}$ )	Années	$Q$ ( $m^3 s^{-1}$ )
1902	*	1934	40 700	1966	48 400
1903	38 700	1935	43 600	1967	41 800
1904	40 700	1936	41 700	1968	47 000
1905	34 700	1937	42 100	1969	51 800
1906	38 800	1938	40 100	1970	47 300
1907	34 200	1939	41 300	1971	40 100
1908	39 000	1940	42 100	1972	38 500
1909	45 500	1941	40 400	1973	37 300
1910	41 900	1942	42 100	1974	39 600
1911	38 200	1943	35 900	1975	41 400
1912	40 300	1944	39 400	1976	42 700
1913	36 400	1945	38 900	1977	45 800
1914	35 900	1946	38 900	1978	43 600
1915	34 100	1947	43 500	1979	45 200
1916	38 500	1948	44 200	1980	41 200
1917	42 200	1949	39 700	1981	40 700
1918	34 900	1950	40 100	1982	39 000
1919	33 600	1951	40 600	1983	35 500
1920	37 900	1952	41 400	1984	33 300
1921	41 000	1953	37 100	1985	38 800
1922	38 000	1954	37 900	1986	36 800
1923	41 100	1955	44 100	1987	38 700
1924	42 600	1956	42 400	1988	39 100
1925	41 400	1957	42 300	1989	37 800
1926	43 900	1958	35 300	1990	36 000
1927	37 700	1959	36 500	1991	40 500
1928	41 100	1960	46 500	1992	34 200
1929	39 300	1961	47 500	1993	36 800
1930	40 100	1962	55 200	1994	38 800
1931	37 500	1963	51 200	1995	40 000
1932	40 700	1964	48 500	1996	40 900
1933	40 900	1965	43 100	1997	*

\* Année incomplète.

dernières occupent 27% du million de  $km^2$  couvert par l'ensemble des bassins de rive droite. A cette fin, nous leur appliquons des débits spécifiques analogues à ceux obtenus sur des bassins voisins connus, de taille et de physiographie similaires, situés sous des latitudes proches et suivis durant les mêmes périodes (Tableau 2). Ces résultats concordent avec ceux obtenus par la méthode définie par Olivry (1986), permettant une représentation spatiale de paramètres hydrologiques, comme les débits spécifiques, en appliquant au centre de gravité de chaque bassin observé, les valeurs spécifiques du module interannuel (Bricquet, 1993). De même, en procédant ainsi de proche en proche, nous avons évalué les variations d'écoulement de ces zones non contrôlées en tenant compte de gradients régionaux de variation d'hydraulicité, entre phases hydrologiques stationnaires (Laraque & Olivry, 1996).

**Tableau 2** Bilans hydrologiques des tributaires du Congo pour les périodes 1951–1993, 1960–1970 et 1982–1993.

Rivière	Période Superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> )	1951–1993	1960–1970		1982–1993	
		Débits (Q) (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Débits (Q) (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Variation* Q exutoire	Q (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Variation* Q exutoire
Ht Congo + Kassaï	2 585 000	31 570	35 990	14.0%	29 080	-7.9%
Oubangui	645 000	5 460	6 800	24.7%	3 950	-27.5%
Sangha	210 000	2 230	2 640	18.7%	1 960	-12.2%
Likouala Mossaka	65 000	1 060	1 230	16.1%	930	-11.7%
Tékés	45 000	1 300	1 360	4.7%	1 270	-2.1%
Total AFRD†	965 000	10 040	12 040	19.9%	8 120	-19.2%
Congo‡	3 550 000	41 610	48 030	15.4%	37 200	-10.6%

\* Variation par rapport au module interannuel de la période 1951–1993.

† Affluents de rive droite.

‡ Données à la station de Brazzaville qui contrôle 96% du bassin versant du Congo.

### LES DIFFERENTES PHASES D'ÉCOULEMENT DU CONGO ET DE SES AFFLUENTS RIVE DROITE DURANT LE XXème SIECLE

Sur tout le siècle, le Congo présente deux grandes époques pour ses écoulements. La première dite "stable", s'étend du début du siècle jusqu'en 1960. Elle précède une seconde époque "instable" qui se poursuit de nos jours, avec des oscillations quasi décennales de ses écoulements (Fig. 2). On peut y distinguer une sous période "humide" entre 1960 et 1970, la plus importante par l'amplitude absolue de variation de ses écoulements (15%). Ensuite, se produit une diminution de ces derniers, qui n'est en fait qu'un retour à la "normale" durant la décennie 70 avec un débit moyen interannuel proche de celui de la première période stable. Enfin, à partir de 1982, on identifie une phase véritablement déficitaire avec une baisse de 10% de son module interannuel. Par rapport à la moyenne de sa chronique hydrologique séculaire, les écoulements du Congo ont varié respectivement de +18% et -8% sur ces deux

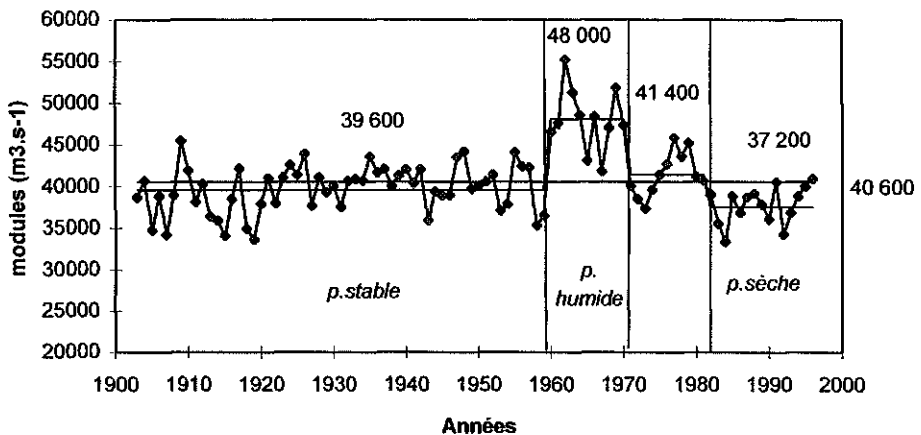


Fig. 2 Segmentation des chroniques des modules du Congo durant le XXème siècle.

périodes. Les quatre phases de cette dernière période instable se retrouvent au niveau des écoulements de ses affluents de rive droite.

## REPARTITION DES APPORTS DES TRIBUTAIRES DU CONGO SUR LA DEUXIEME MOITIE DU SIECLE

En déduisant des débits du Congo à Brazzaville, les apports des affluents de rive droite, reconstitués aux confluences, nous obtenons les participations du reste du bassin, soit celle du Haut Congo à Liranga et celle du Kassaï. Les apports des tributaires du Congo sur la deuxième moitié du siècle pour la période d'étude 1951–1993, et pour les phases homogènes excédentaires 1960–1970 et déficitaires 1982–1993 sont représentés dans le Tableau 2.

Les contributions des tributaires sont semblables d'une période à l'autre et correspondent aux répartitions des superficies de leurs bassins versant. Le Haut Congo et le Kassaï, participent ainsi aux trois quarts des écoulements du Congo à Brazzaville, le quart restant venant des affluents de rive droite. Cependant, durant la dernière période de baisse des écoulements, l'influence du Haut Congo et du Kassaï augmente quelque peu pour atteindre 78% au détriment du groupe des affluents de rive droite qui devient légèrement inférieur à 22%.

## ORIGINE DES VARIATIONS DES ECOULEMENTS DU CONGO

La Fig. 3 montre que durant la phase humide, la majeure partie des variations du Congo en terme de volumes écoulés, provient du Haut Congo et du Kassaï (69%) contre 31% pour les affluents de rive droite, alors que pour la phase sèche, elles proviennent presque à part égales de ces deux régions, avec respectivement 56% et 44%.

Pendant la phase sèche actuelle, les modifications des écoulements du Haut Congo et du Kassaï sont plus faibles (–8%) que celles survenues lors de l'épisode humide (+14%), alors que les variations concernant les affluents de rive droite sont restées stables aux alentours de –20%.

Dans les variations d'écoulement de ces derniers, le rôle de l'Oubangui est cependant passé de 67% pendant la phase humide à 79% pour la phase sèche, ce qui correspond à 21 et 34% des variations respectives du Congo pour ces deux phases. De tous les affluents, le bassin de l'Oubangui a connu les plus importantes variations d'écoulement à son exutoire, avec respectivement +25% et –28%, pour ces deux phases (Orange *et al.*, 1995; Wesselink *et al.*, 1996).

Ces périodes d'écoulement excédentaires ou déficitaires sont les réponses des variations climatiques subies par le bassin du Congo tout au long du siècle. En effet, Kazaki & Kaoru (1996) ont remarqué des oscillations climatiques (températures, pluies) quasi décennales pour la seconde moitié du siècle sur tout le versant gauche du Congo, correspondant bien aux fluctuations hydrologiques décrites ci-dessus. Cependant, à la suite des travaux de Mahé *et al.* (1994) puis de Mahé & Olivry (1995), Laraque *et al.* (1997) montrent que les dernières baisses d'écoulement

observées sur le versant droit de ce fleuve (qui varient de quelques % à 30% suivant les bassins) ne présentent pas de relations spatio-temporelles évidentes avec les fluctuations pluviométriques régionales qui sont bien plus faibles, de l'ordre de 2 à 8%. La persistance d'un déficit pluviométrique depuis plusieurs décennies, la modification de la réponse des écoulements de chaque bassin en fonction de leur physiographie propre et l'influence plus marquée de la sécheresse de l'Afrique soudano-sahélienne sur la partie septentrionale du bassin du Congo, peuvent expliquer ces disparités dans les relations "pluies-débits" (Laraque & Olivry, 1996; Orange *et al.*, 1997), à l'instar de ce qui a été remarqué en Afrique sahélienne et occidentale (Mahé & Olivry, 1995).

### CONCLUSION

Cette étude comparative des bilans hydrologiques des affluents du Congo lors des différentes phases d'écoulements homogènes caractérisant ce siècle, montre que l'Oubangui a subi les plus fortes variations d'hydraulicité. L'influence de cet affluent s'est considérablement accru lors des dernières variations d'écoulement de la phase sèche actuelle, au point d'expliquer à lui seul plus des trois quarts de la diminution des apports de rive droite, ce qui représente 34% de la baisse des débits du Congo à Brazzaville, alors que la superficie du bassin oubanguien représente moins du cinquième de la totalité du bassin congolais.

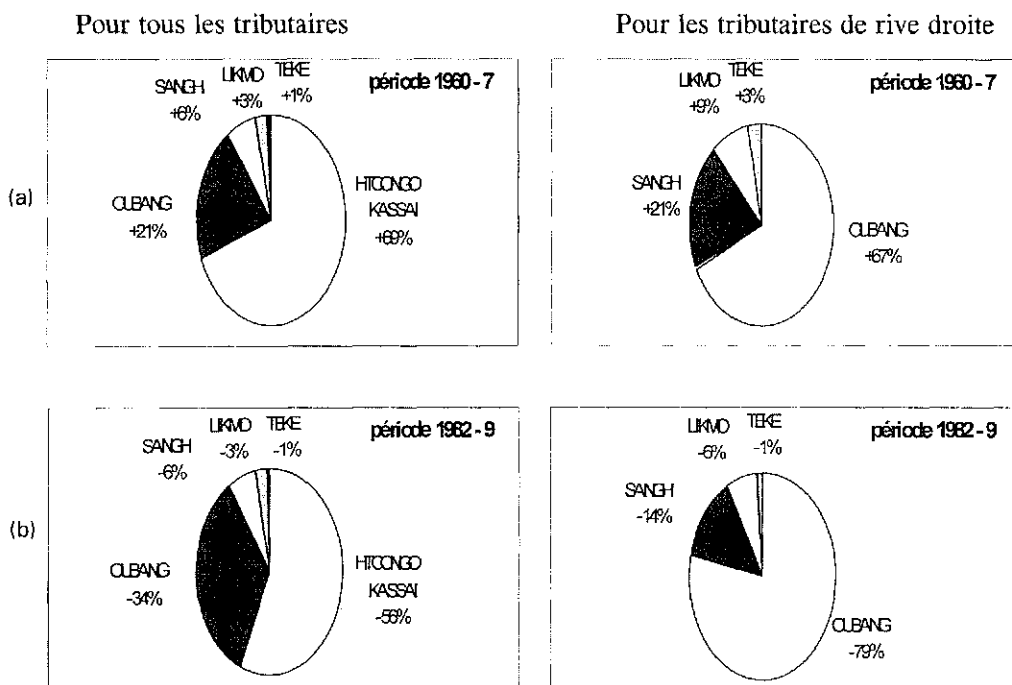


Fig. 3 Origine des variations des écoulements du Congo pour les périodes (a) 1960-1970 et (b) 1982-1993, par rapport à la période 1951-1993.

Par voie de conséquence, la contribution de l'Oubangui aux débits du Congo à Brazzaville diminue au profit de celles du Haut Congo et du Kassaï. Avec une diminution record de -28% de ses écoulements, le bassin de l'Oubangui est le plus touché par la variabilité climatique voisine de l'Afrique de l'Ouest non sahélienne, marquée par une forte tendance à la baisse depuis plus de 25 ans, à l'instar de celle encore plus intense, qui a affecté le Sahel plus au nord (Paturel *et al.*, 1997).

A l'échelle du bassin du Congo, le fait marquant de ce siècle est bien cette persistante "sécheresse hydroclimatique" enregistrée depuis 1970 et qui s'est accentuée à partir de 1982. La partie septentrionale, occupée par l'Oubangui, deuxième affluent du Congo et premier de rive droite, a été la plus touchée. Cette information est cruciale à l'heure où l'on parle à nouveau de relier ce cours d'eau au Chari par un canal, pour compenser le déficit hydrologique du lac Tchad.

## REFERENCES

- Aka, A., Kouamé, B., Paturel, J. E., Servat, E., Lubès, H. & Masson, J. M. (1996) Analyse statistique de l'écoulement en Côte d'Ivoire. In: *L'hydrologie tropicale: géosciences et outil pour le développement—mélanges à la mémoire de Jean Rodier* (ed. par Chevallier & B. Pouyaud) (Actes de la Conférence de Paris, mai 1995), 167-177. IAHS Publ. no. 238.
- Bricquet, J. P. (1993) Les écoulements du Congo à Brazzaville et la spatialisation des apports. In: *Grands bassins fluviaux périatlantiques: Congo, Niger, Amazone* (Actes du colloque PEGI (INSU-CNRS-ORSTOM), Paris, France, 22-24 novembre, 1993), 27-38.
- Hubert, P. & Carbonnel, J. P. (1993) Segmentation des séries annuelles de débits des grands fleuves africains. *Bull. de liaison du CIEH* 92, 3-10. Ouagadougou, Burkina Faso.
- Hubert, P., Carbonnel, J. P. & Chaoune, A. (1989) Segmentation des séries hydrométéorologiques: application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *J. Hydrol.* 110, 349-367.
- Kazaki, S. N. & Kaoru, F. (1996) Interannual and long term climate variability over the Zaïre River basin during the last 30 years. *J. Geophys. Res.* 101(D16), 351-360.
- Laraque, A. & Mazieuzoula, B. (1995) Banque de données hydrologiques des affluents congolais du fleuve Congo-Zaïre et informations physiographiques. Rapport interne, Lab. Hydr. ORSTOM, Montpellier, France.
- Laraque, A. & Olivry, J. C. (1996) Evolution de l'hydrologie du Congo-Zaïre et de ses affluents rive droite et dynamique de ses transports solides et dissous. In: *L'hydrologie tropicale: géosciences et outil pour le développement—mélanges à la mémoire de Jean Rodier* (ed. par P. Chevallier & B. Pouyaud) (Actes de la Conférence de Paris, mai 1995), 271-288. IAHS Publ. no. 238.
- Laraque, A., Olivry, J. C., Orange, D. & Marieu, M. (1997) Variations spatio-temporelles des régimes pluviométriques et hydrologiques en Afrique centrale du début du siècle à nos jours. In: *FRIEND'97—Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management* (ed. par A. Gustard *et al.*) (Proc. FRIEND Conf., Postojna, Slovenia, octobre 1997), 257-263. IAHS Publ. no. 246.
- Lubès, H., Aka, A., Masson, J. M. & Servat, E. (1995) Essai de mise en évidence d'une variation climatique par application de test statistiques à des séries chronologiques de débit. Application aux grands fleuves de Côte d'Ivoire. In: *Statistical and Bayesian Methods in Hydrological Sciences* (Proc. Int. Conf. in Honour of J. Bernier, September 1995). UNESCO, Paris.
- Mahé, G., Delclaux, F. & Crespy, A. (1994) Elaboration d'une chaîne de traitement pluviométrique et application au calcul automatique de lames précipitées (bassin versant de l'Ogoué au Gabon). *Hydrol. Continent.* 9(2), 169-180.
- Mahé, G. & Olivry, J. C. (1995) Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989. *Rev. Sécheresse* 6(1), 109-117.
- Olivry, J. C. (1986) Fleuves et rivières du Cameroun. *Collection Monographies Hydrologiques no. 9. MESRES, ORSTOM, Paris, France.*
- Olivry, J. C. (1993) Evolution récente des régimes hydrologiques des grands fleuves d'Afrique de l'ouest et centrale—les écosystèmes tropicaux, fonctionnement et usages. *Journées du programme Environnement CNRS/ORSTOM, Lyon, janvier 1993.*
- Orange, D., Feizouré C., Wesselink, A. & Callède, J. (1995) Variabilités hydrologiques de l'Oubangui à Bangui au cours du XXème siècle. *Actes des J. Sci. FRIEND-AOC* (Cotonou, décembre 1995). UNESCO.
- Orange, D., Wesselink, A., Mahé, G. & Feizouré, C. (1997) The effects of climate changes on river baseflow and aquifer storage in Central Africa. In: *Sustainability of Water Resources under Increasing Uncertainty* (ed. by D. Rosbjerg *et al.*) (Proc. Rabat Symp. S1, April 1997), 113-123. IAHS Publ. no. 240.
- Paturel, J. E., Servat, E., Kouamé, R., Lubès, H., Fritsch, J. M. & Masson, J. M. (1997) Manifestations d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'ouest et centrale. In: *Sustainability of Water Resources under Increasing Uncertainty* (ed. by D. Rosbjerg *et al.*) (Proc. Rabat Symp. S1, April 1997), 21-30. IAHS Publ. no. 240.

- Servat, E., Patuarel, J. E., Kouamé, B., Travaglio, M., Lubes, H., Marieu, B., Fritsch, J. M. & Masson, J. M. (1997) Modification des régimes d'écoulement en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne et conséquences sur les ressources en eau. In: *FRIEND '97—Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management* (ed. par A. Gustard *et al.*) (Proc. FRIEND Conf., Postojna, Slovenia, octobre 1997), 241–248. IAHS Publ. no. 246.
- UNESCO (1995) *Débits de certains cours d'eau d'Afrique/Discharges of selected rivers of Africa*. Etudes et rapports d'hydrologie/Studies and reports in hydrology, no. 52. UNESCO, Paris, France.
- 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: géosciences et outil pour le développement-mélanges à la mémoire de Jean Rodier* (ed. par P. Chevallier & B. Pouyaud) (Actes de la Conférence de Paris, mai 1995), 179–194. IAHS Publ. no. 238.