

CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET VARIATIONS DES ECOULEMENTS EN AFRIQUE OCCIDENTALE ET CENTRALE, DU MENSUEL A L'INTERANNUEL

G. MAHE & J.C. OLIVRY

Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), BP5045, 34032 Montpellier Cedex 1, FRANCE

RESUME Les écoulements depuis la façade atlantique de l'Afrique sont analysés sur la période 1951-1989. La répartition régionale des volumes écoulés annuels et mensuels est quantifiée. Les apports sont globalement moyens durant la décennie 1950, largement excédentaires entre 1961 et 1970 et déficitaires depuis. Des disparités régionales existent, en particulier celles du couple Afrique occidentale-Afrique équatoriale, mais les séquences déficitaires de 1972-1973 et 1982-1984 apparaissent dans toutes les séries. L'apport annuel moyen à l'Atlantique du Sénégal au Congo est de 2660 milliards de $m^3.an^{-1}$. En 1962 l'apport supplémentaire est de 610 milliards (23%); en 1983 le déficit est de 900 milliards (34%). Un exemple d'étude de fleuve est fourni par l'analyse des débits de l'Ogooué (Gabon), dont l'occurrence et l'intensité des crues sont profondément modifiés depuis 1970, traduisant une modification climatique récente à l'équateur.

INTRODUCTION

L'Afrique soumise au flux de mousson atlantique subit depuis plusieurs années une diminution de la pluviosité, comme le mettent en évidence les travaux de Lamb (1985) et Nicholson (1981) sur les précipitations, ou ceux d'Olivry (1987) sur les précipitations et les écoulements en Sénégal, et de Mahé (1987) sur les apports hydriques au Golfe de Guinée. Dans la majeure partie des études, ce sont les précipitations qui sont utilisées pour décrire l'évolution climatique africaine. Mais les débits constituent également de très bons traceurs des variations climatiques car ils intègrent l'ensemble des phénomènes météorologiques et hydrogéologiques de grandes surfaces géographiques, et l'information climatique qu'elles contiennent est généralement plus rapidement accessible que celle des pluies.

La connaissance des grandes variations climatiques mises en évidence par l'examen des séries de débits, le calcul des volumes d'eau écoulés ainsi que l'évolution mensuelle du régime des grands fleuves, intéresse de nombreux

domaines tels que les transports solides, les relations pêche-environnement (Binet, 1983) et l'aménagement.

LES DONNEES

L'étude porte sur les écoulements de la façade atlantique de l'Afrique, principalement liés au flux de mousson d'été boréal. La surface drainée depuis le fleuve Sénégal jusqu'au fleuve Congo est de 6 850 000 km²; elle ne compte pas les parties de bassin désertiques ou subdésertiques qui ne restituent qu'un très faible volume d'eau. La surface d'étude est divisée en sept régions (Fig.1) regroupant des fleuves soumis à des conditions climatiques proches. Cette subdivision est inspirée des travaux de Janicot (1989) sur la variabilité spatio-temporelle des précipitations en Afrique de l'ouest.

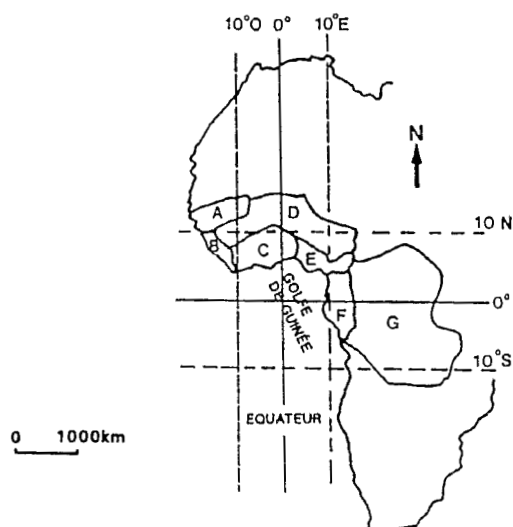


Fig. 1. Situation des bassins-versants utilisés, groupés par régions. A à E: Afrique Occidentale, F et G: Afrique Equatoriale. A: SENE-GAL FOUTA, B: GUINEE, C: NORD-GOLFE, D: NIGER, E: ADAMAOUA, F: EQUATEUR, G: CONGO.

Les débits mensuels et annuels de 35 fleuves sont utilisés pour calculer les valeurs régionales; sur la période de référence de l'OMM 1951-1980, mais également sur les années récentes.

Les données nous sont fournies par l'ORSTOM, EDF INTERNATIONAL, l'OMM, et de très nombreux services hydrologiques africains.

Certaines valeurs manquantes sont reconstituées par corrélations linéaires entre stations proches, relations pluies-débits, ou également par interpolation linéaire entre débits journaliers (logiciel HYDROM (1985)).

Pour chaque fleuve, le calcul des volumes écoulés à l'Atlantique est effectué à partir des données d'une ou deux stations proches de l'exutoire (¹). Quand les données aux exutoires ne sont pas disponibles, nous utilisons des corrélations avec des stations en amont ou des stations situées sur des fleuves ou des rivières voisins. Quand nous n'avons que des données de précipitations, nous transposons des relations pluies-débits établies pour des cours d'eaux soumis aux mêmes conditions hydroclimatologiques dans des régions de géomorphologie voisine.

Certains grands cours d'eaux comme le Niger, traversent des régions aux climats très différents. Si les données manquent pour une section importante, il peut être difficile d'y reconstituer les caractéristiques des écoulements.

VARIATIONS INTERANNUELLES DES APPORTS

Apports moyens interannuels

Il arrive en année moyenne 2.660 milliards de m³ d'eau douce à l'Atlantique entre le Sénégal et le Congo, ce dernier en apportant plus de 50% à lui seul (Tableau 1). Le débit spécifique moyen est de 12.5 l.s⁻¹.km⁻² sur le Congo (3.500.000 km²) et de 12.1 l.s⁻¹.km⁻² sur le reste de l'Afrique (3.350.000 km²). La lame d'eau écoulée moyenne est de 390 mm.

Les débits spécifiques les plus forts (> 20 l.s⁻¹.km⁻²) sont enregistrés sur les côtes des Monts de Guinée, sur le delta du Niger et les massifs camerounais, et à l'équateur (principalement au Gabon).

Variations décennales et annuelles (Tab.1, Fig.2)

Décennie 1951-1960. Les apports à l'Atlantique sont proches de la moyenne 1951-1980 (-5%). Les régions Equateur et Congo sont déficitaires (-3% et -17%) alors que depuis l'Afrique occidentale (les cinq autres régions) les apports sont excédentaires, passant progressivement de +20% dans la région Sénégal-Fouta à +5% dans la Région Adamaoua. Cette graduation des apports est nettement visible sur la Fig.2 des hydraulicités régionales annuelles. Les hydraulicités de la région Sénégal-Fouta sont constamment supérieures à la normale; l'année 1958 y est particulièrement remarquable puisque le reste de l'Afrique est déficitaire.

C'est tout le Sahel ouest-africain qui est plus arrosé cette année là, mais les débits du Niger, supérieurs à la normale à Niamey, sont affectés par les apports déficitaires de son affluent principal au Nigéria, la Bénoué, dont le bassin-versant est beaucoup plus méridional. Une situation identique se produit en 1967.

¹ Les problèmes liés à la taille des bassins-versants sont de fait secondaires et tournent autour de la recherche et de la communication des données, éparpillées dans de nombreux organismes.

TABLEAU 1 Caractéristiques hydrologiques régionales moyennes et décennales des sept régions.

Région	Période années	Débit $m^3.s^{-1}$	Débit spécifique $l.s^{-1}.km^{-2}$	Lame d'eau mm $10^6 m^3$	Volume d'apport annuel	Surface km^2
A	51-60	4230	10.1	319	133	420000
	61-70	3396 3360	9.4	297	125	
	71-80	2400	5.7	180	76	
	81-89	1955	4.7	148	62	
	51-80	3510	8.4	265	111	
B	51-60	7200	39.5	1247	227	180000
	61-70	7100	38.9	1228	224	
	71-80	5400	29.6	934	170	
	81-89	pas de données				
	51-80	6500	35.7	1127	205	
C	51-60	4840	5.4	170	153	900000
	61-70	4840	5.4	170	153	
	71-80	3060	3.4	107	96.6	
	81-88	2350	2.6	82	74.2	
	51-80	4300	4.8	151	136	
D	51-60	6770	6.2	194	214	1100000
	61-70	6690	6.1	192	211	
	71-80	5390	4.9	155	170	
	81-87	4270	3.9	123	135	
	51-80	6280	5.7	180	198	
E	51-60	11970	33.2	1048	379	360000
	61-70	12320	34.2	1079	390	
	71-80	9800	27.2	858	311	
	81-84	7970	22.1	697	252	
	51-80	11400	31.7	1000	359	
F	51-60	8300	21.8	688	262	380000
	61-70	9380	24.7	779	296	
	71-80	7960	20.9	660	251	
	81-85	7650	20.1	634	241	
	51-80	8560	22.5	710	271	
G	51-60	36100	10.3	325	1148	3500000
	61-70	48300	13.8	436	1532	
	71-80	41600	11.9	375	1313	
	81-88	37700	10.8	341	1190	
	51-80	43600	12.5	393	1380	

Décennie 1961-1970. L'excédent d'apport est généralisé: 2.700 milliards de m^3 supplémentaires ont été évacués vers l'Atlantique entre 1961 et 1970. Les

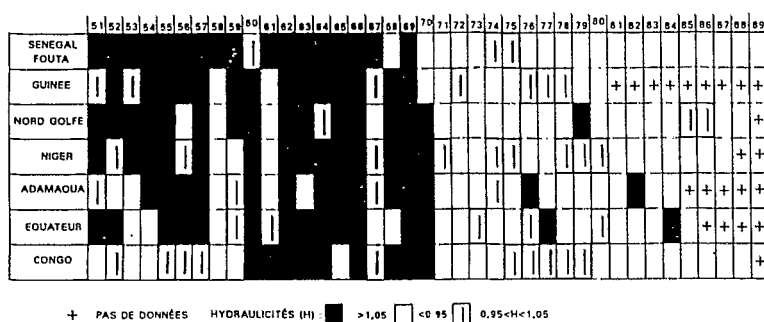


Fig. 2. *Hydraulicités annuelles des fleuves des 7 régions étudiées de 1951 à 1989. Après 1970, on n'observe quelques valeurs positives qu'au sud de 10° nord; les débits du Niger sont soutenus par les apports de la Bénoué, affluent situé au sud de 10° nord en climat plus humide.*

modules annuels maximums des trois-quarts des fleuves sont observés durant cette décennie. Les débits du Congo sont de 25 % supérieurs à ceux du début du siècle. En 1962 le module annuel est de récurrence séculaire ($56.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Décennie 1971-1980. Toutes les régions sont déficitaires: -10 % en moyenne, soit 2.700 milliards de m^3 en moins sur 10 ans. Les déficits sont moins prononcés dans les régions Equateur et Congo (-5 %). Les régions Sénégal-Fouta et Nord-Golfe où les pluies sont moins abondantes et moins régulières présentent les déficits maximums de -32 % et -29 %.

A partir de 1971 la rupture est nette entre les années excédentaires précédentes et les 20 dernières années de déficits généralisés.

Décennie 1981-1989. Peu de séries couvrent la période entière, mais les débits des années très contrastées 1982 à 1984 sont connus à peu près partout, sauf dans la région Guinée.

Le déficit s'accroît partout sauf dans la région Equateur où il se stabilise à -11 %. Les débits du Congo diminuent également mais ne sont pas aussi faibles que durant la décennie 1950. Les apports ont diminué de moitié dans les régions Sénégal-Fouta et Nord-Golfe et d'un tiers sur le Niger et dans la région Adamaoua. La baisse moyenne d'apports du bassin global est de 23 %, soit près de 5.700 milliards de m^3 de déficit en 9 ans. Le déficit est surtout important en Afrique occidentale: 4.000 milliards de m^3 en moins sur 43 % de la surface totale contre 1.700 milliards de m^3 depuis l'Afrique équatoriale (57 % de la surface).

Conclusion. Durant ces quatre dernières décennies, les débits évoluent suivant des tendances globalement identiques en toutes régions, mais il est très rare que la variation des débits de tous les fleuves africains suive une tendance unique. Ce cas ne s'est produit qu'en 1983 : déficit de 900 milliards de m^3 (34 %), et 70 % de déficit sur le fleuve Sénégal. Pour mesurer l'ampleur de cette modification on peut remarquer que ce déficit est égal à la somme des

apports en année moyenne de toute l'Afrique occidentale depuis le Sénégal jusqu'au Mont Caméroun.

En 1962 on observe également une anomalie positive presque univoque. L'excédent d'apport est de 610 milliards de m³ (+23%). Ce sont surtout les apports du Congo (+387 milliards de m³) qui font de 1962 une année d'apports très exceptionnels. La situation est presque identique en 1963 avec un supplément d'apports de 575 milliards de m³ (+239 milliards de m³ pour le Congo).

L'examen des variations régionales montre d'une part que la sécheresse de ces 20 dernières années est beaucoup moins accusée en Afrique équatoriale qu'en Afrique occidentale même si les baisses de débit de 1972-1973 et 1982-1984 sont visibles dans toutes les séries (entre 1971 et 1980 les apports ne diminuent que de 3% sur l'Ogooué et de 1% sur la Nyanga, deux fleuves strictement équatoriaux), et d'autre part que des tendances inverses sur une à plusieurs années sont souvent observées entre certaines régions.

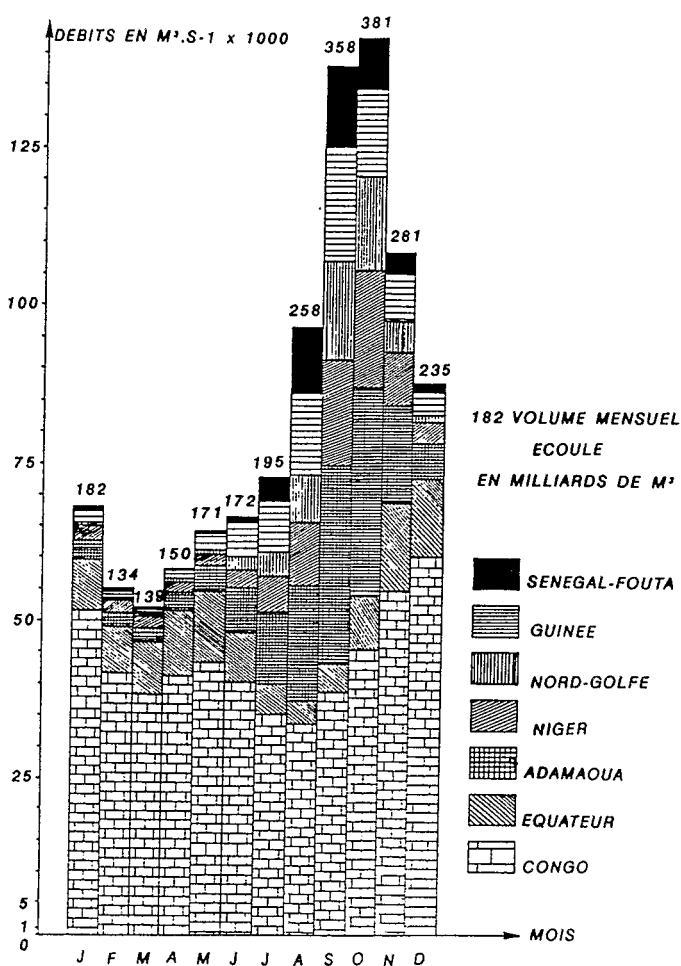


Fig. 3. Répartition des apports mensuels moyens régionaux à l'Atlantique. Les apports des régions d'Afrique Equatoriale sont prépondérants 9 mois sur 12.

MODULATION MENSUELLE DES DEBITS

Les apports du Congo constituent pendant 8 mois de l'année plus de 50 % de l'apport total. En juillet plus de 50 % provient d'Afrique équatoriale. D'août à septembre, les apports d'Afrique occidentale sont prépondérants. Ces derniers sont inférieurs à 20 % du total de décembre à mai.

VARIABILITE INTERANNUELLE DES CRUES DE L'OGOUE A LAMBARENE (GABON). MISE EN EVIDENCE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES A LONG TERME A L'EQUATEUR

Les mesures de débit effectuées depuis 1930 sur l'Ogooué permettent d'étudier l'évolution du climat équatorial gabonais, qu'on pourrait penser ne pas être sujet à de grandes variations en regard de celles des régions plus arides. Il est vrai que la baisse des débits annuels de l'Ogooué au cours des deux dernières décennies a été beaucoup moins forte que dans la plupart des autres régions africaines (-5 % entre 1971 et 1983) (Mahé *et al.*, à paraître). Les débits mensuels maximums d'automne ne varient presque pas durant cette période, mais les maximums de printemps sont de plus en plus faibles depuis le milieu de la décennie 1960, et apparaissent plus précocement d'un mois environ (Fig.4).

Ceci témoigne de la modification du régime de la saison des pluies australes, cause principale de la diminution des modules annuels depuis 1971.

Par rapport à la période 1951-1970, les apports cumulés des mois de mars, avril et mai (crue de printemps) diminuent de 15 % entre 1971 et 1983 (soit 20 milliards de m³), contre 3 % seulement (4 milliards de m³) pour les apports d'automne (octobre, novembre et décembre).

Le déficit de la crue de printemps, et l'écart avec la crue d'automne sont maximums entre 1981 et 1983: 31 % de moins au printemps, soit 40 milliards de m³, et seulement 5 % de moins en automne, soit 7 milliards de m³.

Conclusion

Dans le contexte de sécheresse qui règne sur l'Afrique depuis 20 ans, la diminution très modérée des débits annuels de l'Ogooué pourrait ne pas éveiller l'attention. Mais l'examen des variations mensuelles de débit révèle un changement important du régime de ce fleuve, lié à une modification des conditions climatiques à l'équateur, qui peut paraître un peu surprenante mais qu'on ne peut pas ignorer pour de futurs travaux d'aménagements.

DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Les aménagements sont conçus suivant des normes climatiques qui ont longtemps été supposées fixes. Mais "il est incontestable que les climats évoluent, la thèse traditionnelle d'un statisme du climat n'est désormais plus défendable" (Commis-

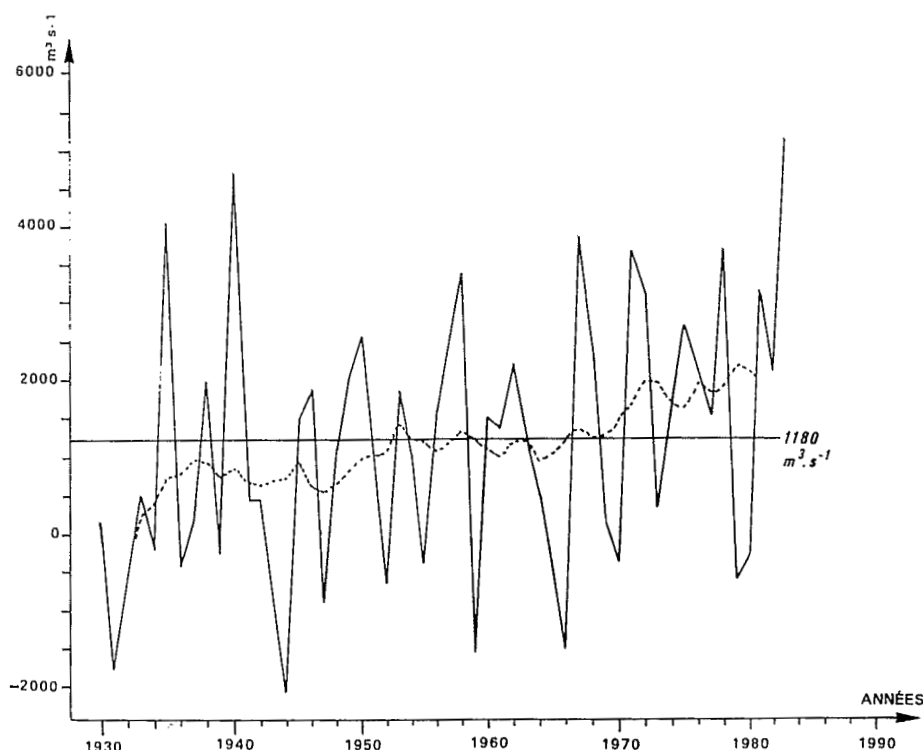


Fig. 4. *Différence entre les valeurs des mois de débit maximum d'automne (octobre à décembre) et de printemps (février à mai). La courbe en trait plein suit les valeurs annuelles, le tireté représente un lissage à 11 termes et la droite figure la moyenne interannuelle des différences.*

sion d'hydrologie de l'OMM, 1989). Ainsi durant ces 20 dernières années, de nombreux cours d'eaux d'Afrique de l'ouest ont atteint plusieurs fois des cotes minimales de recurence centennale. La qualité des prévisions climatiques et des modèles de circulation globale augmente très rapidement, et il devient envisageable d'ajuster les moyennes climatiques utilisées pour les aménagements en fonction des évolutions possibles des climats.

Beaucoup d'ouvrages ont été dimensionnés suivant des études antérieures à 1970. Assez brutalement à partir de cette date les écoulements ont diminué, et dans la plupart des régions d'Afrique occidentale, aucun retour durable à la situation antérieure n'a été observé. Les seules régions un peu épargnées sont situées autour de l'équateur, et n'enregistrent que de faibles baisses de débit.

A la lumière des résultats de cette étude, il apparaît que les ouvrages construits en Afrique occidentale avant 1970, sont surdimensionnés par rapport aux conditions climatiques actuelles qui, si elles se maintenaient (une des conséquences envisagée de l'effet de serre (Schlesinger & Mitchell, 1987, cités par Royer, 1988)), amèneraient à réviser leur rentabilité. Dans les régions équatoriales, où la diminution des débits est moins sensible, et malgré une

variation dans la composition des régimes hydrologiques, ce problème est moins vital.

Outre l'information concernant les variations de volumes écoulés qui concerne les océanographes, les hydrobiologistes, les aménageurs et les sédimentologues, les variations climatiques mises en évidence par ces séries de débits "peuvent être utilisés" pour des travaux ultérieurs sur les variations hydrio-climatiques en Afrique.

REMERCIEMENTS

Cette étude n'aurait pu être menée à bien sans le concours de très nombreux organismes dont: EDF INTERNATIONAL, l'OMM, HYDRONIGER, les services hydrologiques des pays suivants: COTE D'IVOIRE, TOGO, BENIN, SENEGAL, MALI, NIGER, CAMEROUN, GABON, CONGO, GUINEE CONAKRY et CENTRAFRIQUE.

REFERENCES

- Binet, D. (1983) Phytoplancton et production primaire des régions côtières à upwellings saisonniers dans le Golfe de Guinée. *Océanographie tropicale*, vol.18, 2, 331-355, edn ORSTOM, Paris.
- Hydrom, (1985) Logiciel de traitement de données hydrométriques. Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM. Montpellier, France.
- Janicot, S. (1989) *Variabilité des précipitations en Afrique de l'ouest et circulations quasi-stationnaires durant une phase de transition climatique*. Thèse de doctorat, Univ. Paris 6, 178 p. plus annexes.
- Lamb, P.J. (1985) Rainfall in subsaharan West Africa during 1941-1983. *Zeit. Gletscher. Glazial geologie* 21, 131-139.
- Mahé, G. (1987) *Etude de la variabilité des apports hydriques continentaux dans le golfe de Guinée, en liaison avec son hydrologie océanique de surface*. Mémoire de DEA National d'Hydrologie. Univ. d'Orsay/ORSTOM Montpellier, 5 juillet 1987.
- Mahé, G., Leriche, J. & Olivry, J.C. (à paraître) L'Ogooué au Gabon. Reconstitution des débits manquants et mise en évidence de variations climatiques à l'équateur. *Revue Hydrologie Continentale*, edn. ORSTOM, Paris.
- Nicholson, S. (1981) Rainfall and atmospheric circulation during drought periods and wetter years in West Africa. *Mon. Weath. Rev.*, 109, 2191-2208.
- Olivry, J.C. (1987) Les conséquences durables de la sécheresse actuelle sur l'écoulement du fleuve Sénégal et l'hypersalinisation de la basse Casamance. Proc. Vancouver Symp., août 1987, publication no 168, 501-512.
- OMM, (1989) Commission d'hydrologie de l'OMM. Bulletin OMM 38,3. 256-258, novembre 1988.
- Royer, J.F. (1988) Le climat du XXI^{ème} siècle. *La Recherche*, supplément au n° 201, juillet-août, pp 42-50.
- Sircoulon, J. (1986) Caractéristiques de la sécheresse actuelle en Afrique de l'ouest et centrale. Considérations sur les stations pluviométriques de longue durée et les débits des rivières. In: *Colloque international sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidents de la sécheresse*. Ouagadougou, 20-24 mai 1986. Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), Série Hydrologie



Hydrology for the Water Management of Large River Basins

edited by

F.H.M. van de Ven

*Rijkswaterstaat - Institute for Inland Water Management and Waste
Water Treatment (RIZA)
Maerlant 16, 8224 AC Lelystad, The Netherlands*

D. Gutknecht

*Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, Technische
Universität,
Karsplatz 13, A-1040 Wien, Austria*

D.P. Loucks

*Department of Civil and Environmental Engineering,
Cornell University, Hollister Hall,
Ithaca, NY 14853-3501, USA*

K. A. Salewicz

*International Institute for Applied Systems Analysis,
A-2361 Laxenburg, Austria*

Proceedings of an international symposium held
during the XXth General Assembly of the
International Union of Geodesy and Geophysics
at Vienna, 11-24 August 1991. The symposium
was organized jointly by IAHS, UNESCO and
WMO

16 SEPT. 1994

IAHS Publication No. 201

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 40538 ex 1

Cote : B