

## Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989

Un grand nombre de fleuves et rivières d'Afrique de l'Ouest et centrale ont fait l'objet d'études hydrologiques, pendant parfois plus de quarante ans. Les cours d'eau des pays francophones ont été étudiés principalement par les hydrologues de l'Orstom qui ont réalisé de nombreuses monographies pour de grands fleuves (Sénégal, Niger, Volta par exemple) ou pour des pays entiers : Cameroun, Bénin, Gabon. Ces hydrologues ont par ailleurs été sollicités pour effectuer l'archivage numérique des données des précipitations de ces mêmes pays de la zone francophone. Au terme de ces travaux, la synthèse hydroclimatique de l'Afrique de l'Ouest et centrale a pu débiter. Une telle synthèse ne pouvant se limiter aux seuls pays francophones, la collecte de données complémentaires pour les autres pays a été indispensable. A partir de ce vaste travail de prospection et de synthèse des données hydrométriques et pluviométriques, les variations spatio-temporelles des pluies et écoulements sur le continent, dans les limites des bassins versants des fleuves tributaires de l'océan Atlantique, du Sénégal jusqu'à l'Angola, sont présentées ici.

À l'intérieur de cet espace, le cycle annuel des interactions entre océan, atmosphère et continent comporte encore beaucoup d'inconnues et les recherches dans ce domaine sont primordiales pour le calcul des bilans hydrologiques régio-

naux et de leurs variations, mais également pour la pêche, l'agriculture et les ressources en eaux.

### Origine et traitement des données

Précipitations et écoulements liés au flux d'humidité atlantique

Les précipitations en Afrique de l'Ouest subsaharienne, ainsi qu'en Afrique centrale et équatoriale, ont un point commun : elles sont issues principalement du flux d'humidité transporté par l'alizé maritime de l'Atlantique sud, dévié au passage de l'équateur et qui prend alors le nom de mousson, par référence au mécanisme de la mousson d'Asie [1]. Il était donc essentiel, pour cette synthèse, de dépasser le cadre des frontières, afin de s'intéresser à un « objet » lié au climat. L'analyse des variations d'écoulement imposait le bassin versant comme unité spatiale d'étude.

La nécessité de disposer de séries de données continues sur une période commune nous a conduit à retenir la période 1951-1989, un grand nombre de postes pluviométriques et hydrométriques ayant été ouverts au début des années 50. La dégradation des réseaux de mesures et les problèmes de transfert d'information sont responsables de la limitation de l'actualisation à 1989.

GIL MAHÉ  
JEAN-CLAUDE OLIVRY

Orstom,  
BP 2528,  
Bamako, Mali



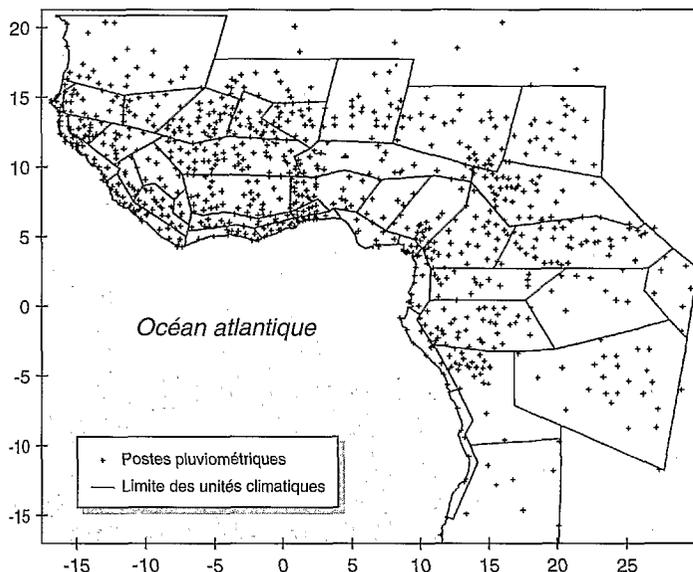


Figure 1. Situation de la zone d'étude en Afrique de l'Ouest et centrale, position des 900 postes pluviométriques et limites des 44 unités climatiques.

#### Les données des précipitations

Les données de près de neuf cents postes pluviométriques (figure 1) qui ont été collectées proviennent, d'une part, du laboratoire d'hydrologie de l'Orstom de Montpellier (pays francophones) et, d'autre part, de sources diverses incluant les services hydrologiques nationaux pour les pays non francophones. Les données journalières ou mensuelles ont été collectées afin d'améliorer les possibilités de reconstitution des valeurs manquantes, mais seules les valeurs annuelles sont présentées dans cette synthèse.

Les valeurs des pluies annuelles manquantes sont reconstituées à l'intérieur de surfaces régionales homogènes du point de vue géomorphoclimatique ; l'homogénéisation et la reconstitution de données sont effectuées à l'aide de la méthode du vecteur régional (MVR) créée par l'Orstom [2]. Elle permet de compléter les valeurs des années manquantes par des valeurs « les plus probables », par comparaison entre stations et création d'une moyenne régionale de référence, le « vecteur ». Sont ainsi définies quarante-quatre unités climatiques (figure 1) sur la base de plusieurs approches : variations interannuelles des pluies [3-5], distribution de la végétation, influence côtière et reliefs. On suppose qu'à l'intérieur de chaque unité, les variations climatiques sont proches d'une station à l'autre.

#### Les données d'écoulement

L'analyse des données de débit est également régionale. Elle s'appuie sur

les chroniques d'écoulements annuels de trente-quatre fleuves sur la période 1951-1989 et conduit à définir huit régions hydroclimatiques (figure 2, tableau I). Dans chaque région, sont analysées les données d'écoulement de plusieurs fleuves dont les bassins versants couvrent la plus grande partie des surfaces des régions hydroclimatiques correspondantes (80 %). La surface restante, en vert sur la figure 2, regroupe des bassins versants côtiers très peu étudiés : seuls vingt-quatre petits bassins, représentant 5 % de la surface totale étudiée, ont fait l'objet de mesures épisodiques et permettent de vérifier les calculs d'écoulement réalisés pour ces zones côtières, qu'on appellera « zones non contrôlées », par opposition aux bassins versants aux débits contrôlés en continu aux stations hydrométriques. L'estimation des écoulements provenant de ces zones non contrôlées est essentielle dans cette synthèse afin d'établir les bilans complets d'apports en eaux douces, fluviales et côtières à l'océan. Ces écoulements côtiers sont calculés à partir de relations pluies/débits déterminées pour de petits fleuves côtiers et, en particulier, de celle décrite par Olivry [6] pour les fleuves côtiers camerounais. Les modalités et limites d'utilisation de cette relation sont détaillées dans Mahé [7]. Signalons que cette relation est valable pour des pluies annuelles supérieures à 1 500-2 000 millimètres

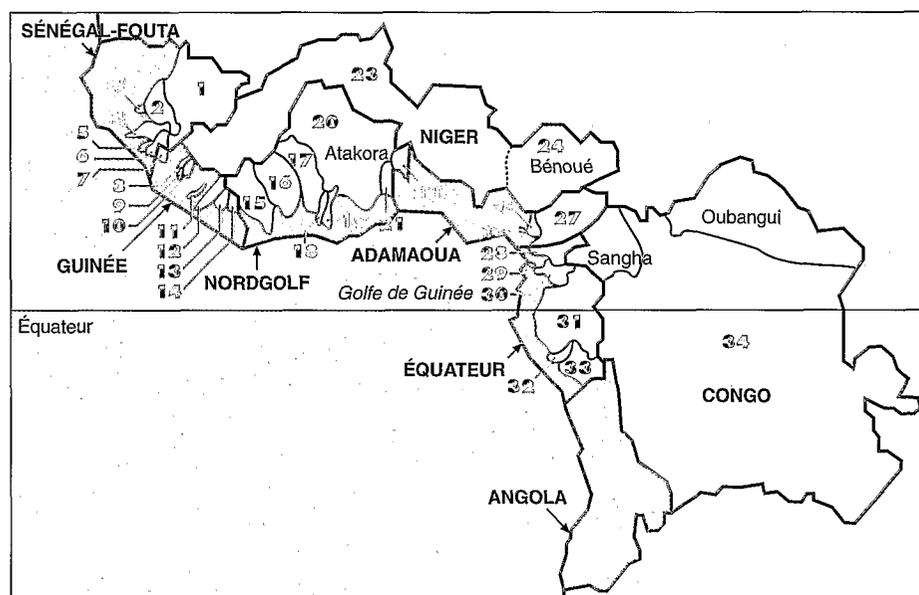


Figure 2. Les trente-quatre fleuves étudiés, repérés par des numéros indexés au tableau I. Les contours des huit grandes régions hydroclimatiques sont tracés : du nord au sud en suivant la côte, on trouve les régions Sénégal-Fouta, Guinée, Nordgolf, Adamaoua, Équateur et Angola ; les bassins versants des fleuves Niger et Congo constituent des régions à part entière. Trois sous-bassins sont indiqués : la Bénoué (24), affluent principal du Niger, la Sangha et l'Oubangui, affluents du Congo.

Tableau 1. Les trente-quatre fleuves étudiés\*

N°	Nom	Station	Pays	Région hydroclimatique	Surface (km <sup>2</sup> )	% de la surface totale
1	Sénégal	Bakel	Sénégal	Sénégal-Fouta	218 000	2,83
2	Gambie	Gouloumbo	Gambie	Sénégal-Fouta	42 200	0,55
3	Casamance	Kolda	Sénégal	Sénégal-Fouta	3 700	0,05
4	Corubal	Saltinho Amont	Guinée Bissau	Sénégal-Fouta	23 800	0,31
5	Fatala	Bindan	Guinée	Sénégal-Fouta	5 100	0,07
6	Konkouré	Amaria	Guinée	Sénégal-Fouta	16 200	0,21
7	Kolente	Tassin	Guinée	Guinée	6 600	0,09
8	Rokel	Bumbuna	Sierra Leone	Guinée	4 000	0,05
9	Pampana	Matatota	Sierra Leone	Guinée	2 400	0,03
10	Sewa	Jaïama	Sierra Leone	Guinée	6 900	0,09
11	Mano	Mano Mines	Liberia	Guinée	5 500	0,07
12	St Paul	Mount Coffe	Liberia	Guinée	21 400	0,28
13	St John	St John Falls	Liberia	Guinée	11 400	0,15
14	Cestos	Sawolo	Liberia	Guinée	4 600	0,06
15	Sassandra	Gaoulou	Côte d'Ivoire	Nordgolf	70 600	0,92
16	Bandama	Daboitié	Côte d'Ivoire	Nordgolf	60 000	0,78
17	Comoé	Mbasso	Côte d'Ivoire	Nordgolf	70 500	0,92
18	Bia	Ayamé	Côte d'Ivoire	Nordgolf	10 000	0,13
19	Tano	Alenda	Ghana	Nordgolf	16 000	0,21
20	Volta	Senchi Halcrow	Ghana	Nordgolf	394 000	5,11
21	Mono	Tététou	Togo	Nordgolf	20 500	0,27
22	Ouémé	Pont de Savé	Bénin	Nordgolf	23 600	0,31
23	Niger	Onitsha	Nigeria	Niger	1 100 000	14,28
24	Bénoué Niger	Makurdi	Nigeria	Niger	300 000	3,89
25	Wouri	Yabassi	Cameroun	Adamaoua	8 200	0,11
26	Mungo	Mundame	Cameroun	Adamaoua	2 400	0,03
27	Sanaga	Édéa	Cameroun	Adamaoua	132 000	1,71
28	Nyong	Dehane	Cameroun	Équateur	26 400	0,34
29	Kienké	Kribi	Cameroun	Équateur	1 100	0,01
30	Ntem	Nyabessan	Cameroun	Équateur	26 300	0,34
31	Ogooué	Lambaréné	Gabon	Équateur	203 000	2,64
32	Nyanga	Tchibanga	Gabon	Équateur	12 400	0,16
33	Kouilou	Sounda	Congo	Équateur	56 600	0,73
34	Congo	Brazzaville	Congo	Congo	3 550 000	46,08

\* Pour chaque fleuve : la station où est défini l'écoulement, le pays où se situe la station, la région hydroclimatique dans laquelle le fleuve a été classé pour cette étude, la surface du bassin versant à la station indiquée et le pourcentage de la surface du bassin par rapport à la surface totale étudiée (environ 8 millions de km<sup>2</sup>).

et s'applique donc à la majeure partie des zones non contrôlées. L'utilisation de cette relation nécessite le calcul des pluies annuelles.

Calcul des précipitations annuelles par bassin, et définition du bilan hydrologique

Les lames d'eau précipitée annuelles pour chaque bassin versant et chaque zone non contrôlée sont calculées automatiquement à l'aide d'une procédure

d'interpolation polynomiale spline, sur la base du fichier de données des pluies annuelles de près de neuf cents postes couvrant l'ensemble des surfaces des bassins étudiés sur la période 1951-1989 [8, 9].

D'après l'écriture simplifiée du bilan hydrologique annuel :

$$P = Q + E$$

où : P = précipitations sur le bassin (mm), Q = écoulement annuel à l'exu-

toire du bassin (volume écoulé rapporté à la surface du bassin) (mm), E = évapotranspiration annuelle sur le bassin ou déficit d'écoulement (mm), et où l'on considère en première approximation que les variations interannuelles de stock souterrain sont négligeables, on déduit C, le coefficient d'écoulement, rapport de Q sur P exprimé en pourcentage, qui traduit la capacité de ruissellement du bassin : la valeur de C évolue suivant les variations climatiques.

## Références

1. Fontaine B. Variations pluviométriques et connexions climatiques : l'exemple des aires de mousson indienne et ouest-africaine. *Sécheresse* 1991 ; 2 : 259-64.
2. Cochonneau G, Hiez G, Sechet P, L'Hôte Y. MVR 1.5. Logiciel pour l'homogénéisation et la synthèse d'observations pluviométriques. Paris : Orstom, 1993, coll. Logorstom ; 210 p. + 6 disquettes.
3. Janicot S. Spatiotemporal variability of West African rainfall. Part 1 : regionalization and typings. *J Climate* 1992 ; 5 : 489-97.
4. Nicholson SE. Rainfall and atmospheric circulation patterns during drought periods and wetter years in West Africa. *Mon Wea Rev* 1981 ; 109 : 2191-208.
5. Nicholson SE, Kim J, Hoopingarner J. *Atlas of african rainfall and its interannual variability*. Tallahassee : Florida State University, 1988 ; 237 p.
6. Olivry JC. *Fleuves et rivières du Cameroun*. Thèse d'Etat. Orstom, 1986 ; 733 p.
7. Mahé G. Continental water yield to the Atlantic Ocean. Local and regional variations from Senegal to Angola. *First International CEOS meeting, Monterey, California, USA, 1994* ; 17 p.
8. Mahé G. *Les écoulements fluviaux sur la façade atlantique de l'Afrique. Étude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle, analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes*. Thèse, Paris-XI. Paris : Orstom, 1993 ; 438 p.
9. Wotling G. *Analyse de la variabilité spatio-temporelle des précipitations annuelles liées à la mousson africaine de 1951 à 1989. Application de la méthode du vecteur régional*. Mémoire de DEA national d'hydrologie. Université Montpellier-II/Orstom, 1994 ; 121 p.
10. Olivry JC. Les conséquences durables de la sécheresse actuelle sur l'écoulement du fleuve Sénégal et l'hypersalinisation de la basse Casamance. *Proc AISH Symp Vancouver 1987* ; 168 : 501-12.
11. Sircoulon J. Aspects hydrologiques des fluctuations climatiques en Afrique de l'Ouest et centrale. *Bull OMM* 1990 ; 380 : 1-8.
12. Hulme M. Rainfall changes in Africa : 1931-1960 to 1961-1990. *Int J Climatol* 1992 ; 12 : 685-99.
13. Olivry JC, Bricquet JP, Mahé G. Vers un appauvrissement durable des ressources en eau de l'Afrique humide ? In : *Hydrology of warm humid regions. Proc IAHS Symp Yokohama 1993* ; 216 : 67-78.
14. Mahé G, Lérique J, Olivry JC. L'Ogooué au Gabon. Reconstitution des débits manquants et mise en évidence de variations climatiques à l'équateur. *Hydrologie Continentale* 1990 ; 2 : 105-24.

## Évolution des climats de la façade atlantique de l'Afrique

### Diminution des précipitations

Sur la figure 3 sont représentés les écarts centrés réduits des précipitations annuelles des quarante-quatre unités climatiques de 1951 à 1989. La visualisation des variations d'ensemble des unités fait apparaître très nettement le changement de signe des variations pluviométriques à partir de 1970, qui concerne toute l'Afrique de l'Ouest et centrale et non pas seulement la zone soudano-sahélienne. Les périodes de déficit plus prononcé apparaissent en 1972, 1973, 1977, 1982, 1983, 1984, 1986 et 1987. Au cours de cette séquence déficitaire, on observe quelques années de meilleure pluviométrie : 1975, 1976, 1978 et 1988. Entre 1951 et 1969, seule l'année 1958 présente un important déficit. Les excédents très positifs sont observés en 1951, 1952, 1954, 1955, 1957, 1960, 1962, 1963 et 1969. En 1968, on observe les excédents les plus forts mais de nombreuses unités présentent déjà un déficit.

Les variations pluviométriques annuelles sont présentées sur la figure 4 par grandes régions hydroclimatiques. Dans les quatre régions d'Afrique de l'Ouest (Sénégal-Fouta, Nordgolfe, Guinée et Niger), la tendance à la diminution des précipitations est continue depuis le début de la période d'étude. Ce qui

n'est pas le cas pour les quatre régions d'Afrique centrale (Adamaoua, Congo, Équateur et Angola), où les années les plus humides sont observées durant les années 60. Les précipitations sont plus faibles au cours des deux dernières décennies mais la décennie 80 n'est pas la plus déficitaire partout : pour le Congo et l'Équateur, le déficit est plus élevé durant la décennie 70. Les déficits de pluie diminuent depuis le nord-ouest de l'Afrique de l'Ouest (Sénégal-Fouta, Guinée) vers l'Afrique centrale (Équateur, Congo), puis augmentent de nouveau en Angola, dans un contexte climatique proche de celui de la bande soudano-sahélienne. À latitude égale, la variabilité interannuelle des pluies est plus faible dans les régions situées à l'est des monts du Cameroun, ceux-ci constituant un des plus importants reliefs d'Afrique de l'Ouest situés sur le trajet de la mousson.

### Diminution des écoulements

Les hydraulicités (rapport de l'écoulement annuel total sur l'écoulement annuel moyen) de trente-quatre fleuves d'Afrique de l'Ouest et centrale sont présentées sur la figure 5, de gauche à droite suivant leur ordre d'apparition à la côte depuis le Congo jusqu'au Sénégal. Les hydraulicités sont globalement positives avant 1970 et négatives après. Cette configuration est renforcée à l'ouest de l'embouchure du Niger et devient moins visible au sud de la Sânga. Les périodes de variations de même sens des hydraulici-

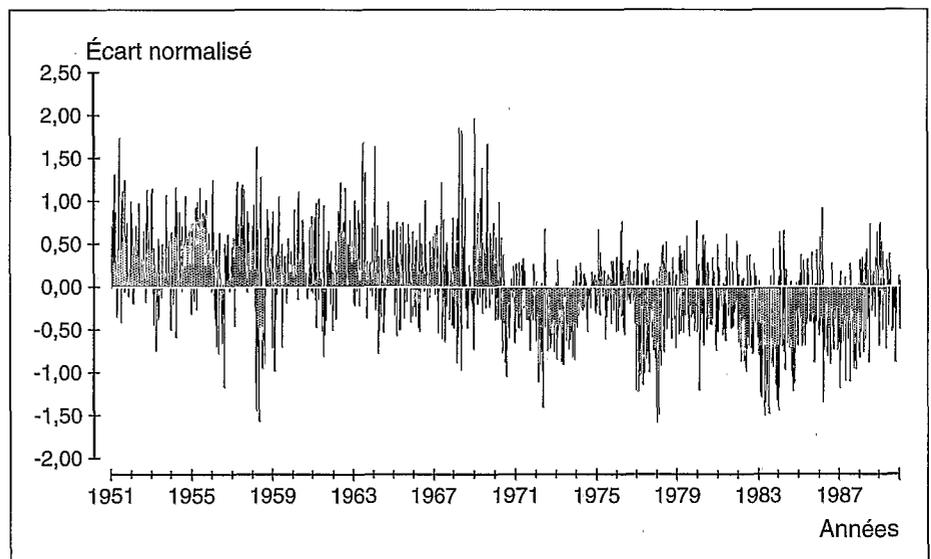
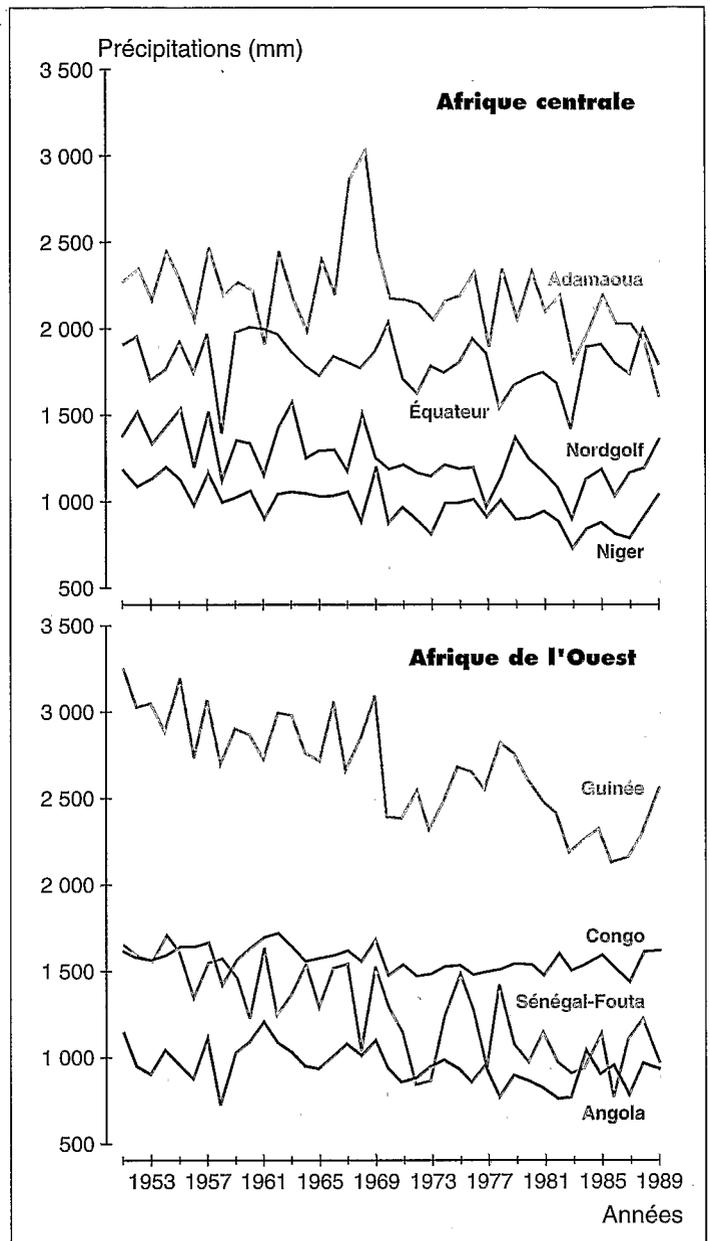


Figure 3. Indices normalisés des précipitations annuelles de 1951 à 1989. Pour chaque année, les indices des quarante-quatre unités climatiques sont représentés par des traits verticaux juxtaposés.

tés sur tous les fleuves sont rares : 1983 est la seule année de déficit généralisé, aucun fleuve ne présente d'hydraulicité supérieure à 0,94. En 1962, on n'observe aucune hydraulicité négative, de même qu'en 1963, à l'exception du Mungo et du Wouri. Entre 1972 et 1973, on note également que chaque fleuve passe par une période déficitaire. On remarque également qu'au cours de la dernière décennie, les fleuves de la région Adamaoua (Sanaga, Mungo, Wouri) présentent des hydraulicités différentes de celles des fleuves voisins. Elles sont plus proches en fait de celles des fleuves au régime plus tropical qui s'écoulent des monts de Guinée depuis le Pampana jusqu'au Sénégal. La figure 5 met en évidence des types de situations opposant les fleuves du nord et ceux des régions côtières plus méridionales du pourtour du golfe de Guinée. C'est le cas de 1958, année de déficits jusqu'à la latitude de la Sewa, vers 10° N. en Sierra Leone. Un cas presque inverse se produit en 1968. En 1989 on constate un retour à une hydraulicité supérieure ou égale à la moyenne pour de nombreux fleuves. Depuis 1970, les seuls fleuves qui comptent au moins quatre années d'hydraulicité supérieure à la moyenne sont le Kouilou, la Nyanga, l'Ogoué, le Kienké et le Nyong, de la région Equateur, ainsi que la Bénoué, l'Ouémé, le Mono, la Comoé et le St John sur la côte nord du golfe de Guinée. Enfin, durant la dernière décennie, les seuls fleuves qui ne sont pas en constant déficit sont les fleuves équatoriaux, du Nyong au Kouilou, ce qui est confirmé par l'examen de la figure 6, où sont présentées les années d'apparition des maxima et minima des trente-quatre fleuves. La région Equateur est la seule pour laquelle on observe quelques maxima absolus sur la période 1980-1989 (Nyanga, Kienké, Nyong) ; le Mungo et le Wouri présentent également des maxima secondaires en 1982. Tous les fleuves, sauf la Sanaga, la Nyanga et le Kouilou, enregistrent un minimum entre 1982 et 1987. En 1983, sur la totalité des fleuves étudiés, seize enregistrent leur minimum absolu et huit un minimum secondaire. Les débits sont si faibles durant cette dernière décennie que les minima de la décennie 70 n'apparaissent que rarement (Sanaga et Corubal seulement y enregistrent leur minimum absolu). De la région Equateur à la région Nordgolfe, 1958 est une année de déficits marqués, d'intensité parfois inégale depuis (Kouilou, Nyanga, Mono, Ouémé). Enfin, les minima de la Volta en 1965 et 1966 correspondent à la période de mise en eau de la retenue d'Akosombo, en amont de la station de Senchi Halcrow. Les maxima sont répartis sur deux décennies : 50 et 60. Pour la région Sénégal-Fouta et pour le Niger,

Figure 4. Variations interannuelles des précipitations moyennes régionales (valeurs absolues), pour chacune des huit grandes régions hydroclimatiques, pour la période 1951-1989.



la période prépondérante des maxima est la décennie 50. Pour les régions Equateur et Nordgolfe, de l'Ouémé à la Comoé, les maxima sont au contraire concentrés durant la décennie 60. Les trois années qui enregistrent le plus grand nombre de maxima sont 1955, 1963 et 1968.

#### Coefficients d'écoulement

La diminution des écoulements est plus forte, en pourcentage, que celle des pluies, pour toutes les régions sauf l'Angola (tableau III). En cumul sur les deux dernières décennies, elle est limitée à environ 10 % pour les régions Congo, Equateur et Angola. Les écoulements di-

minuent de plus en plus en se déplaçant vers le nord, pour atteindre près de 60 % de déficit cumulé pour la région Sénégal-Fouta, soit environ deux fois et demie le déficit pluviométrique. La diminution d'écoulement la plus forte est enregistrée pour le fleuve Sénégal : - 75,5 % en déficit cumulé sur les deux dernières décennies et - 50 % pour la seule décennie 80. La diminution la moins forte est observée sur la Nyanga (fleuve équatorial gabonais) avec à peine - 0,9 % de baisse cumulée. Les coefficients d'écoulement (tableau III) traduisent les différences de variation entre les pluies et les écoulements. La diminution des pluies observée au cours des deux dernières décennies ne modi-

Tableau II. Variations décennales des précipitations (P) et débits (Q) pour les huit régions hydroclimatiques, exprimés par les écarts (%) à la moyenne 1951-1989

Régions		1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1989	Cumul 1971-1989
Sénégal-Fouta	P	+ 23,0	+ 13,0	- 8,5	- 16,5	- 25,0
	Q	+ 32,6	+ 23,6	- 24,1	- 35,7	- 59,8
Guinée	P	+ 10,3	+ 5,2	- 3,5	- 13,3	- 16,8
	Q	+ 19,6	+ 15,7	- 9,3	- 28,8	- 38,1
Niger	P	+ 11,3	+ 3,1	- 4,2	- 11,2	- 15,4
	Q	+ 14,8	+ 13,4	- 8,7	- 21,5	- 30,2
Nordgolf	P	+ 9,3	+ 4,6	- 5,5	- 9,4	- 14,9
	Q	+ 23,4	+ 21,8	- 18,4	- 29,9	- 48,3
Adamaoua	P	+ 3,1	+ 7,4	- 1,4	- 9,6	- 11,0
	Q	+ 10,5	+ 12,6	- 9,3	- 15,3	- 24,6
Angola	P	+ 2,6	+ 8,3	- 5,2	- 6,1	- 11,3
	Q	+ 1,2	+ 8,7	- 6,9	- 4,0	- 10,9
Équateur	P	+ 1,7	+ 3,6	- 3,2	- 1,4	- 4,6
	Q	- 1,2	+ 11,5	- 6,9	- 3,9	- 10,8
Congo	P	+ 1,3	+ 3,2	- 2,9	- 0,6	- 3,5
	Q	- 4,0	+ 14,7	- 1,8	- 9,9	- 11,7

fié que très peu la nature des écoulements en Afrique centrale, principalement pour les régions Angola et Équateur. Pour le Congo, l'analyse est plus complexe puisque ce fleuve possède des portions de bassin en climat tropical, où les précipitations ont plus diminué qu'à l'équateur, ce qui pourrait en partie expliquer l'amplitude de variation un peu plus élevée que pour les deux régions précédentes. On note que, malgré des pluies proches de la normale durant la dernière décennie, après le déficit des années 70, le coefficient d'écoulement diminue. L'influence des déficits pluviométriques depuis 1970 se fait modérément sentir dans la région Adamaoua, ainsi que sur le bassin du fleuve Niger, ici considéré à son embouchure, soit après la confluence avec la Bénoué au Niger qui draine les eaux tombées sur le versant ouest des monts camerounais, exposé à la mousson et très arrosé. Cela explique que la baisse du coefficient d'écoulement soit modérée. A la sortie du bassin amont du Niger, à Koulikoro au Mali, la situation est toute différente : au cours de la dernière décennie, le déficit de pluie est de 20 % et les

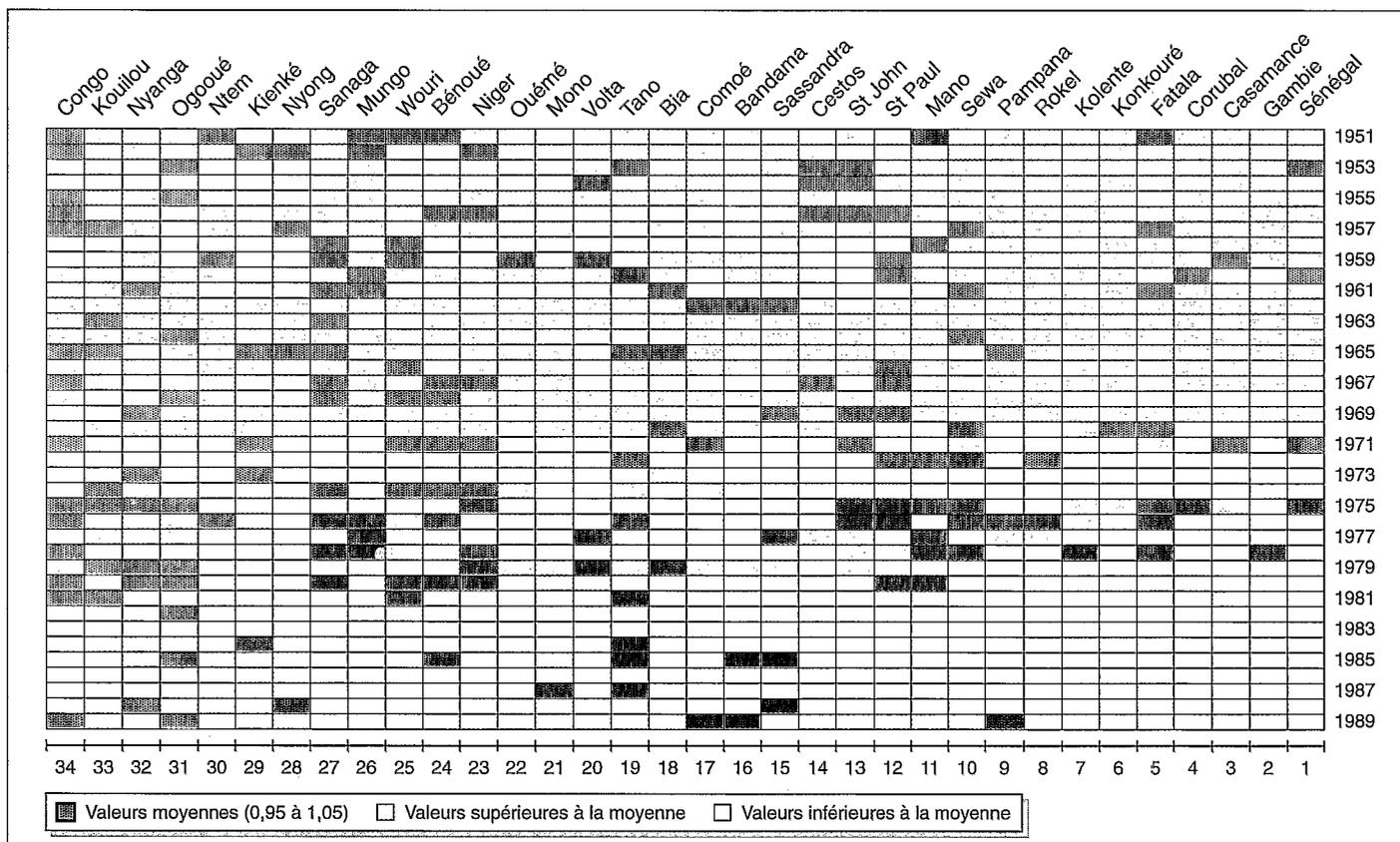


Figure 5. Hydraulicités (débits annuels/débit annuel moyen) de trente-quatre fleuves africains tributaires de l'Atlantique depuis le Sénégal à droite jusqu'au Congo à gauche pour la période 1951-1989, par ordre d'apparition à la côte (trente-trois fleuves plus la Bénoué, affluent principal du Niger).

lames écoulées sont plus faibles de près de 50 %. Pour les autres régions d'Afrique de l'Ouest, la diminution est très prononcée. Ainsi, pour une même quantité de pluie, l'écoulement qui en résulte est devenu plus faible au cours de la dernière décennie qu'il ne l'était jusqu'en 1970.

Le déficit pluviométrique, persistant maintenant depuis plus de vingt ans, a conduit à une très forte diminution des coefficients d'écoulement, dans la bande soudano-sahélienne bien sûr [10], mais plus généralement dans toute l'Afrique de l'Ouest [11, 12] à l'ouest de la chaîne de l'Atakora (à la frontière Togo-Bénin), et à l'exception des alentours du mont Nimba à la frontière Liberia-Guinée. Cette diminution des coefficients d'écoulement est sans doute à relier à une modification des caractéristiques de la réponse des sols aux précipitations et à un changement des relations rivières-aquifères. Autour de l'équateur, au sud du mont Cameroun, les coefficients d'écoulement sont peu modifiés au cours des deux dernières décennies, suivant en cela des variations des totaux annuels de pluies très atténuées par rapport à celles d'Afrique de l'ouest.

Tableau III. Coefficients d'écoulement moyens décennaux pour les huit régions hydroclimatiques

Région	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1989
Sénégal-Fouta	20,9	21,2	16,1	15,0
Guinée	52,3	53,1	45,4	39,6
Niger	17,8	19,0	16,5	15,3
Nordgolf	14,5	15,0	11,1	10,0
Adamaoua	36,7	35,9	31,5	32,1
Angola	16,1	16,3	16,0	16,6
Équateur	36,7	40,7	36,4	36,9
Congo	21,6	25,4	23,1	20,7

#### Étude des tarissements

Le cumul des déficits pluviométriques a entraîné un amenuisement croissant des réserves souterraines des bassins fluviaux. La vidange des nappes de versant, caractéristique de l'hydrogéologie de la plupart des bassins fluviaux étudiés, suit une loi de tarissement à décroissance exponentielle qu'il est d'autant plus facile d'étudier que la saison

sèche est bien marquée. En zone soudano-sahélienne, une rupture marquée du régime du tarissement consécutive à la sécheresse a été mise en évidence [13]. Le tarissement s'est considérablement accéléré depuis les années 70, conduisant à une rapide vidange des nappes. Le coefficient de tarissement est passé de  $2 \cdot 10^{-2}/j$  à  $4 \cdot 10^{-2}/j$  pour le Sénégal et le Niger. Pour les fleuves soumis à un régime tropical humide, l'augmentation

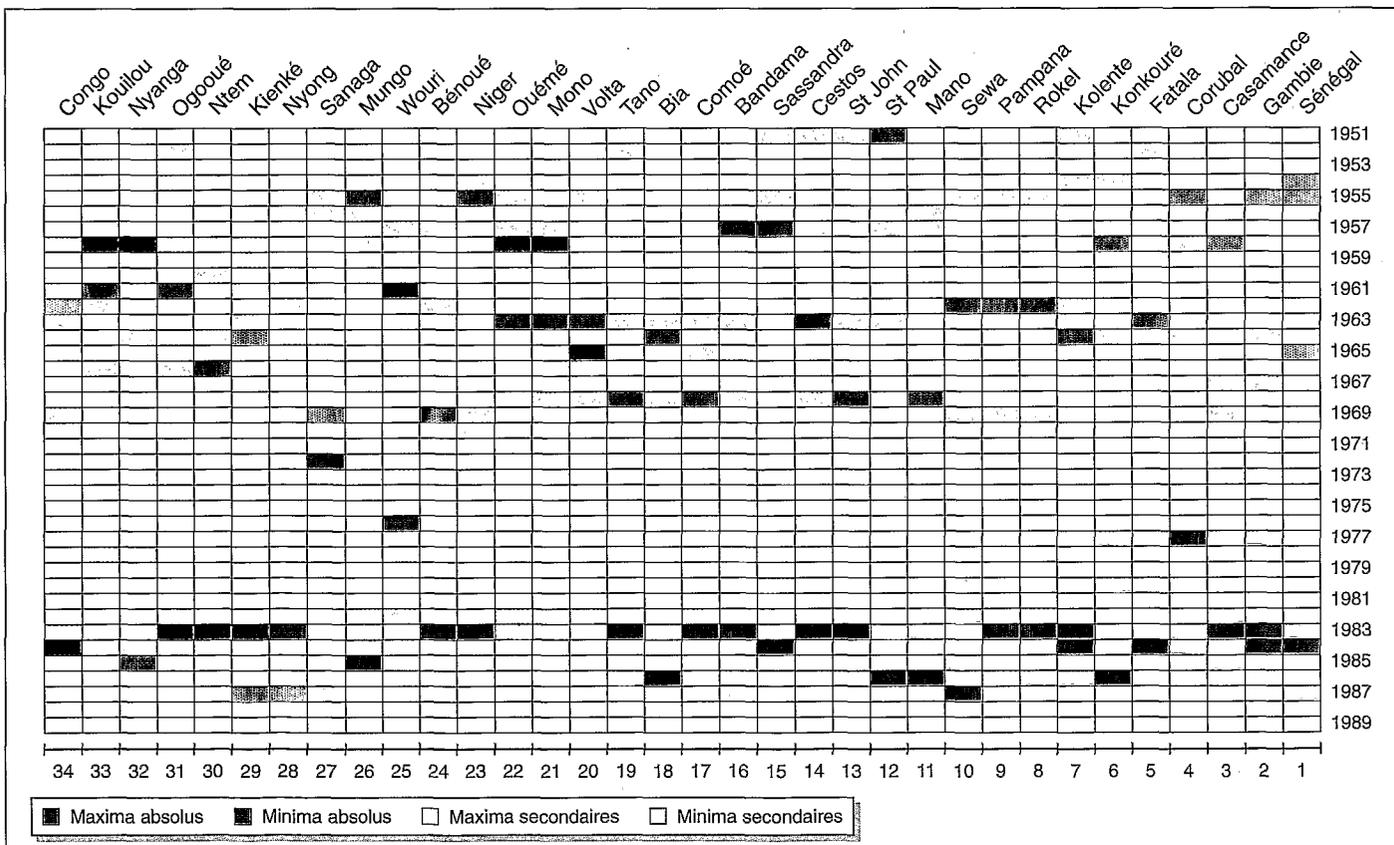


Figure 6. Débits annuels maxima et minima de trente-quatre fleuves africains tributaires de l'Atlantique (voir figure 5).

du coefficient de tarissement est perceptible mais d'ampleur plus faible. De 1980 à 1985 pour l'Oubangui, le coefficient a augmenté en moyenne de 30 % et la valeur maximale est plus élevée que la moyenne antérieure à la sécheresse de 60 %. Sur la Sangha, au sud-ouest de l'Oubangui, la valeur maximale est plus forte que la moyenne antérieure à 1972 de 40 %. Comme pour l'Afrique « sèche », le phénomène s'accélère à partir de 1980 sur la Sangha et l'Oubangui. La figure 7 permet de comparer l'évolution des coefficients de tarissement des fleuves cités. Pour les fleuves équatoriaux, les débits de tarissement sont difficilement appréhendés, soit que la saison de basses eaux est réduite ou perturbée par des précipitations, soit que l'on observe des débits composites, d'origines diverses. Il est probable que les aquifères de ces régions soient également touchés, comme cela est d'ailleurs observé en pays Batéké (Congo).

Il faut remarquer enfin que les régions équatoriales, aussi faibles qu'y soient les effets à long terme des variations interannuelles de pluies, enregistrent également d'importantes modifications climatiques. Ainsi, la différence entre maxima journaliers des crues de printemps et d'automne de l'Ogooué à Lambaréné (203 500 km<sup>2</sup>) est de l'ordre de 1 000 m<sup>3</sup>/s jusqu'aux années 50, puis de 2 000 m<sup>3</sup>/s jusqu'au milieu des années 70 et passe à 3 000 m<sup>3</sup>/s dans la dernière décennie, pour un maximum d'automne ayant peu varié et d'environ 10 000 m<sup>3</sup>/s [14]. Cet amoindrissement de la crue de printemps est à rattacher à des conditions moins pluvieuses du flux de mousson lors de la migration septentrionale de la zone de convergence intertropicale. On retrouvera, plus au nord, ce fonctionnement dégradé lors de la crue annuelle des fleuves tropicaux.

#### Bilan des apports fluviaux à l'océan Atlantique intertropical

Les variations des apports fluviaux décennaux moyens à l'océan Atlantique intertropical (en milliards de m<sup>3</sup>/an) sont présentées dans le tableau IV. Les apports les plus abondants se situent entre 1951 et 1960 en Afrique de l'Ouest, et entre 1961 et 1970 en Afrique centrale. La diminution des apports durant les deux dernières décennies n'est pas seulement considérable (perte moyenne annuelle de 22 % entre 1981 et 1989 par rapport à la moyenne 1951-1989), mais elle est également particulièrement disproportionnée entre l'Afrique centrale, où le déficit est modéré et non continu, et l'Afrique de l'Ouest, où le déficit est fort et continu. Le minimum d'apport de la période est observé en 1983,

avec 34 % de déficit par rapport à la moyenne 1951-1989, soit près de 900 milliards de m<sup>3</sup>. Cette valeur correspond, en année normale, à la totalité des écoulements annuels de toute l'Afrique de l'Ouest depuis le Sénégal jusqu'au mont Cameroun, soit une surface d'environ 3 millions de km<sup>2</sup>.

### Conclusion

Depuis 1970 environ, les plus importantes diminutions de pluies et débits sont enregistrées dans les régions soudano-sahéliennes et celles exposées au vent des monts de Guinée ; pluies et débits y diminuent depuis les années 50. Ce phénomène est de moins en moins accentué vers l'équateur, jusqu'à n'être pratiquement plus visible au pied du mont Cameroun et dans le sud du Gabon et du Congo (ce qui n'exclut pas

une certaine variabilité). Les climats des régions côtières, spécialement autour du golfe de Guinée, présentent des singularités par rapport à ceux des régions plus intérieures : la variabilité interannuelle des pluies côtières augmente fortement du nord au sud depuis le mont Cameroun jusqu'aux côtes de l'Angola, alors que celle des régions intérieures reste faible. Enfin, l'est de la République centrafricaine, la majorité de la surface du Zaïre et l'est et le sud de l'Angola sont saisonnièrement sous l'influence de flux en provenance de l'océan Indien ou de l'Afrique du Sud, qui y introduisent certainement une variabilité interannuelle un peu différente de celle observée en Afrique de l'Ouest.

L'étude des tarissements des fleuves nous apprend que la vidange des réserves souterraines d'eau s'accélère depuis les années 70, et s'est particulièrement accrue dans le courant des années 80, conséquence du déficit pluviométrique persistant depuis le début des an-

Tableau IV. Apports moyens interannuels d'eaux fluviales à l'océan Atlantique depuis les huit régions hydroclimatiques (milliards de m<sup>3</sup>/an). Valeurs décennales et moyennes 1951-1989

Région	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1989	Moyenne
Sénégal-Fouta	127	119	73	62	96
Guinée	278	269	211	165	233
Nordgolfe	173	171	115	98	140
Niger	214	211	170	146	186
Adamaoua	294	300	241	225	266
Équateur	321	362	303	312	325
Congo	1 280	1 530	1 310	1 200	1 330
Angola	87	94	80	83	86
Volume total	2 780	2 870	2 500	2 290	2 680

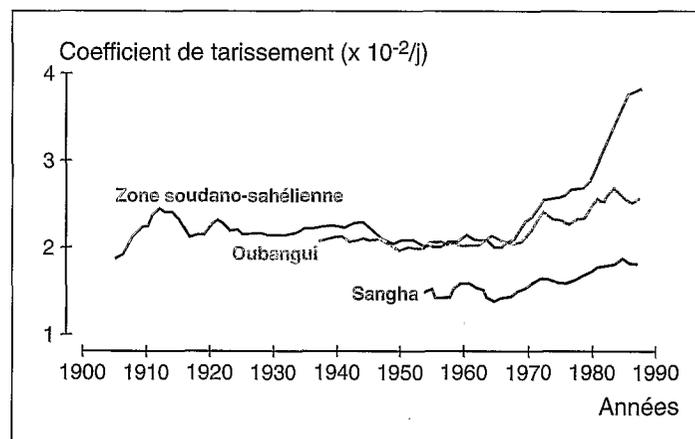


Figure 7. Évolution du coefficient de tarissement pour quatre fleuves d'Afrique soudano-sahélienne (Gambie, Sénégal, Niger et Chari), et sur deux cours d'eau d'Afrique centrale. Le débit de tarissement est donné à l'instant  $t$  par l'expression  $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t \cdot t}$ .

nées 70. En Afrique de l'Ouest, la diminution des écoulements, constitués d'une partie provenant directement de la pluie et d'une autre restituée lentement au lit du fleuve par les réserves souterraines, est amplifiée par rapport à celle des pluies, car le niveau des réserves souterraines s'amenuise au fur et à mesure que le déficit pluviométrique se prolonge. Ceci se traduit par une diminution des coefficients d'écoulement. La reconstitution des stocks de réserves souterraines nécessitera probablement plusieurs années consécutives de bonne pluviométrie. Pour exemple, les premières données sur la saison des pluies 1994 à Bamako au Mali indiquent une pluviométrie totale annuelle de près de 1 300 millimètres, supérieure de 25 % à la moyenne interannuelle 1926-1992. Il semble également que les précipitations aient été très abondantes sur tout le haut bassin du Niger en Guinée. Pourtant, la crue, si elle est semblable à la plus forte enregistrée depuis 1967, n'atteint qu'une cote moyenne d'écoulement. Ceci traduit clairement que la nature des écoulements a été durablement modifiée par la sécheresse des vingt-cinq dernières années.

---

#### Remerciements

Nous adressons nos plus vifs remerciements à tous les instituts météorologiques et hydrologiques africains qui nous ont permis l'actualisation des données jusqu'en 1989.

---

---

#### Hommage

Cet article est dédié à la mémoire du Professeur Jean-Charles Fontes, dont le soutien ne s'est jamais démenti à l'interface de la paléoclimatologie et des phénomènes climatiques actuels en Afrique au sud du Sahara.

---

## Résumé

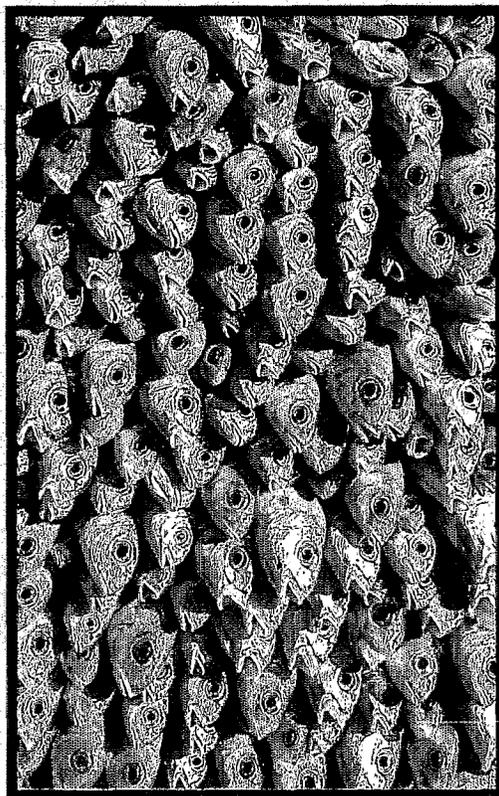
La variabilité spatio-temporelle des pluies et des débits dans les régions d'Afrique occidentale et centrale soumise au flux d'humidité originaire de l'océan Atlantique austral est analysée sur une période allant de 1951 à 1989. Les données annuelles de trente-quatre fleuves et neuf cents postes pluviométriques sont utilisées sur une surface totale d'environ 8 millions de km<sup>2</sup>. Le bassin du fleuve Congo couvre à lui seul près de la moitié de la surface totale et est également le véhicule de la moitié des apports d'eau fluviale à l'Atlantique intertropical. Depuis 1970, la diminution des pluies et des écoulements est très forte dans les régions soudano-sahéliennes et les versants exposés au vent des monts de Guinée, mais elle est également très sensible dans toute l'Afrique de l'Ouest, à l'ouest du massif de l'Atakora à la frontière du Togo et du Bénin. Le déficit diminue en direction de l'équateur, pour n'être presque plus sensible en moyenne interannuelle dans le sud du Gabon et du Congo, bien qu'on y enregistre une variabilité interannuelle importante qui se traduit notamment par une modification sensible de la répartition saisonnière des pluies : diminution des pluies de printemps et légère augmentation des pluies d'automne. En Afrique centrale également, la variabilité interannuelle des pluies est plus grande sur les côtes qu'à l'intérieur du continent. En Afrique de l'Ouest surtout, et à un degré moindre en Afrique centrale, le tarissement des fleuves s'accélère depuis le début des années 70 et s'est même considérablement accru dans le courant des années 80, conséquence du déficit pluviométrique persistant depuis le début des années 70. Ceci se traduit par une diminution des coefficients d'écoulement.

## Summary

The present paper analyses the spatio-temporal variations of rainfall and runoff from 1951 to 1989 in the entire region of western and central Africa affected by the south Atlantic humidity flow. Annual data from 34 rivers and 900 rainfall stations were used, covering a total area of some 8 million km<sup>2</sup>. Half of this is represented by the Congo river basin, which also transports half the total continental water flow from Africa to the intertropical Atlantic ocean. Since 1970, the decrease in rainfall was not only very high in the Sudan-Sahel region and coastal areas off the Guinea mountains, but also high in the whole of western Africa, particularly west of the Atakora mountains between Togo and Benin. The decrease falls off towards the equator, becoming almost unnoticeable in southern Gabon and Congo in terms of interannual mean. Nevertheless, substantial interannual variability occurs; this results in a noticeable change in the seasonal distribution of rainfall: reduction of spring rainfall and slight increase in autumn rainfall. In central Africa, interannual rain variability was also greater on the coast than inland. In western Africa especially and to a lesser degree in central Africa, river depletion has speeded up since the beginning of the seventies and increased considerably during the eighties due to the persistent rainfall deficit since the start of this period, resulting in a reduction of runoff coefficients.

# VERSION ORIGINALE

le trimestriel de réflexion



Maghreb

N°4 - 1994

VIENT DE PARAITRE

*Version Originale, 150 F,  
est en vente  
dans les grandes librairies  
et les Fnac.*

*Une édition anglaise est  
également disponible.*

Le N°4 de Version Originale,  
la revue créée et dirigée par Christian Desjeunes,  
vient de paraître.

Une livraison superbement illustrée de 368 pages  
qui traite de tous les aspects du Maghreb  
(politiques, économiques, ethnologiques,  
historiques et géographiques),  
avec un avant-propos d'Alain Juppé  
et des articles écrits par les meilleurs spécialistes.