

# 11 • La variabilité des apports fluviaux au golfe de Guinée utilisée comme indice climatique

GIL MAHÉ

Allocataire de Recherche de l'ORSTOM/Université Paris-Sud,  
CRODT/ISRA B.P. 2241 Dakar, Sénégal

## RÉSUMÉ

L'analyse des débits de plusieurs fleuves qui se jettent dans le golfe de Guinée entre 5°N et 6°S indique que la pluviométrie des années cinquante a été moyenne dans les régions arrosées par la mousson atlantique, que durant les années soixante elle a été excédentaire et qu'à partir de 1970 elle présente des déficits plus ou moins importants dans l'ensemble des pays riverains du golfe. Des variations locales existent principalement entre les fleuves de la côte nord du golfe et ceux de l'Afrique équatoriale, ces derniers accusant en moyenne des baisses beaucoup plus faibles de débit. Les grandes variations climatiques sont donc inscrites dans les variations de débit des fleuves. A la baisse générale des débits depuis 1970, on peut mettre en parallèle la diminution quasi continue de l'intensité de l'upwelling équatorial atlantique, proche de 1°C depuis vingt ans. Ces observations ainsi que la sécheresse au Sahel sont le fruit d'une évolution climatique sensible et d'une durée jamais observée au cours de ce siècle.

## ABSTRACT

*The rivers' runoff variations depend directly on climatic fluctuations which regulate precipitations. In the regions of Africa around the Guinea gulf in which the monsoon flow penetrates largely, climatic studies which use precipitation data often lead to controversial conclusions from one author to another. The analysis of the runoff of several rivers from the Ivory-Coast to the Congo river, from 1951 to 1980, indicates that the total amount of precipitations during the fifties was near the global mean of 1951-1980, that during the sixties the mean runoff for the whole rivers is above the global mean, and that since 1970 to the middle of the eighties, the down trend is continuous. Some local variations can be evidenced, mainly between the North coast of the Guinea gulf and the Equatorial rivers, for which the runoff down trend is very slight. The continuous runoff down trend since 1970 can be compared to the increasing, of about 1°C, of the mean July-September sea surface temperature from 1964 to 1987 in the region of the Equatorial Atlantic upwelling. Conditions that appeared twenty years ago during drought years over Sahel, i.e. runoff decrease and warming of the Equatorial Atlantic upwelling, are more frequently observed as the drought over Sahel persists.*

## INTRODUCTION

Depuis la grande sécheresse de 1972-1973 au Sahel, les variations du climat en Afrique et les mécanismes de la mousson ont été au centre de nombreuses études. L'analyse spatio-temporelle des pluies sur de longues séries permet la distinction d'années sèches et d'années humides sur le Sahel, à partir d'indices qui sont calculés en utilisant les données de stations réparties dans la bande sahélienne (15° à 20° nord) (Nicholson, 1981) ou sahélo-soudanienne (10° à 20° nord) (Lamb, 1983;

Bah, 1987). Lamb (1983) et Bah (1987) obtiennent des valeurs très différentes pour les années 1959, 1960, 1961, 1963, 1966, 1969 et 1970, principalement à cause de l'hétérogénéité de la répartition des pluies dans ces régions où l'essentiel des précipitations provient de phénomènes de type ligne de grain. Ces perturbations locales et violentes sont opposées dans la littérature aux précipitations régulières qui arrosent les monts de Guinée, toutes les côtes du golfe de Guinée depuis le cap des Palmes jusqu'au sud du Zaïre et l'Afrique centrale. Outre l'inégalité de répartition géographique des pluies, la représentativité des stations pluviométriques vis-à-vis de périmètres plus étendus se heurte aux problèmes liés à l'influence du relief (Guillot *et al.*, 1988).

Citeau *et al.* (1986, 1988) à partir des travaux d'Olivry (1983), ainsi que Mahé (1987), ont utilisé les débits des fleuves dans le même but d'obtenir un indice de qualité de la saison des pluies. Un fleuve intègre les précipitations d'une grande surface géographique et le calcul des variations de son débit fournit un indice directement corrélé à la qualité de la pluviométrie du bassin-versant. L'étude de la variabilité interannuelle des apports fluviaux au golfe de Guinée nous renseigne sur les grandes variations climatiques de ces trois dernières décennies: années cinquante moyennes, apports excédentaires dans les années soixante et déficitaires depuis 1970. La répartition spatiale et temporelle des apports fluviaux depuis le cap des Palmes jusqu'à l'embouchure du Congo de 1951 à 1980 est présentée et quantifiée. Les variations de débit, concomitantes à celles des précipitations, ont des répercussions sur la qualité des eaux océaniques de surface, en particulier sur la salinité - dessalure très prononcée du fond de la baie de Biafra (moins de 20 g.l<sup>-1</sup>) et de l'embouchure du Congo - et par là sur le fonctionnement de l'écosystème marin (Binet 1983a et 1983b).

Enfin, l'examen de séries de températures de surface de la mer en Atlantique équatorial amène à discuter d'une éventuelle rupture climatique à partir de 1970, comme le suggèrent Carbonnel et Hubert (1985).

## DONNÉES ET MÉTHODES

### *Les fleuves*

Nous avons étudié 13 fleuves sur l'intervalle 1951-1980, période de référence définie par l'organisation météorologique mondiale. Ces fleuves sont de l'ouest à l'est et du nord au sud: le Sassandra, la Comôé (Côte-d'Ivoire), le Mono (Togo), l'Ouémé (Bénin), le Mungo, le Wouri, la Sanaga, le Nyong et le Ntem (Cameroun), l'Ogooué, la Nyanga (Gabon), le Kouilou (Congo) et le Congo (fig.1). Les données de débits mensuels proviennent de l'ORSTOM et sont complétées par différents annuaires hydrologiques nationaux. Les données des fleuves camerounais sont extraites d'Olivry (1986). Nous n'avons pas obtenu de renseignements du Ghana ni du Nigéria. Le Niger n'est connu à Onitsha (avant le delta) qu'au niveau moyen (Rodier, 1964; Balek, 1983) et le barrage d'Akosombo à l'aval de la Volta ne permet

pas une étude des débits réels à l'embouchure, de même pour le Bandama en Côte-d'Ivoire.

Depuis 1970, un barrage module les débits de la Sanaga en amont d'Edea, les moyennes mensuelles sur la période 1951-1980 en sont donc affectées, surtout en période d'étiage. Pour calculer l'apport total d'eau continentale au golfe de Guinée nous avons dû estimer les débits de certains fleuves, côtiers pour la plupart, soit à partir d'études préexistantes, soit par extrapolation entre deux zones connues, compte tenu des variations de précipitations. Quand les moyennes dataient d'avant 1970 (cas du Niger et de la Volta en particulier), nous avons appliqué un facteur correcteur tenant compte de la baisse générale des débits au cours de cette décennie. Calculé à partir des données du Mono à Tététo, de l'Ouémé à Savé, du Wouri à Yabassi, de la Sanaga à Edea, du Ntem à Ngoazik et du Kouilou à Sounda, il vaut 1,075.

### *Les pluies*

Nous avons analysé les valeurs de précipitations mensuelles de 96 stations réparties dans l'ensemble du bassin versant global, sur la période 1951-1980. Les données proviennent du service hydrologique de l'ORSTOM et sont complétées par différents annuaires nationaux, les annuaires de la France d'Outre-Mer et des microfiches de l'ASECNA. Les données de pluie du Ghana et du Nigéria sont extraites de résumés mensuels publiés par les services de la météorologie américaine.

### *Les données océanographiques*

Les températures de surface de la mer proviennent du fichier élaboré à partir des données bateaux marchands sur la période 1964-1984 (Picaut *et al.*, 1985, actualisé par Servain jusqu'en 1984) et des données bateaux collectées par la météorologie nationale française pour les années 1985 à 1987.

## LE CADRE PHYSIQUE

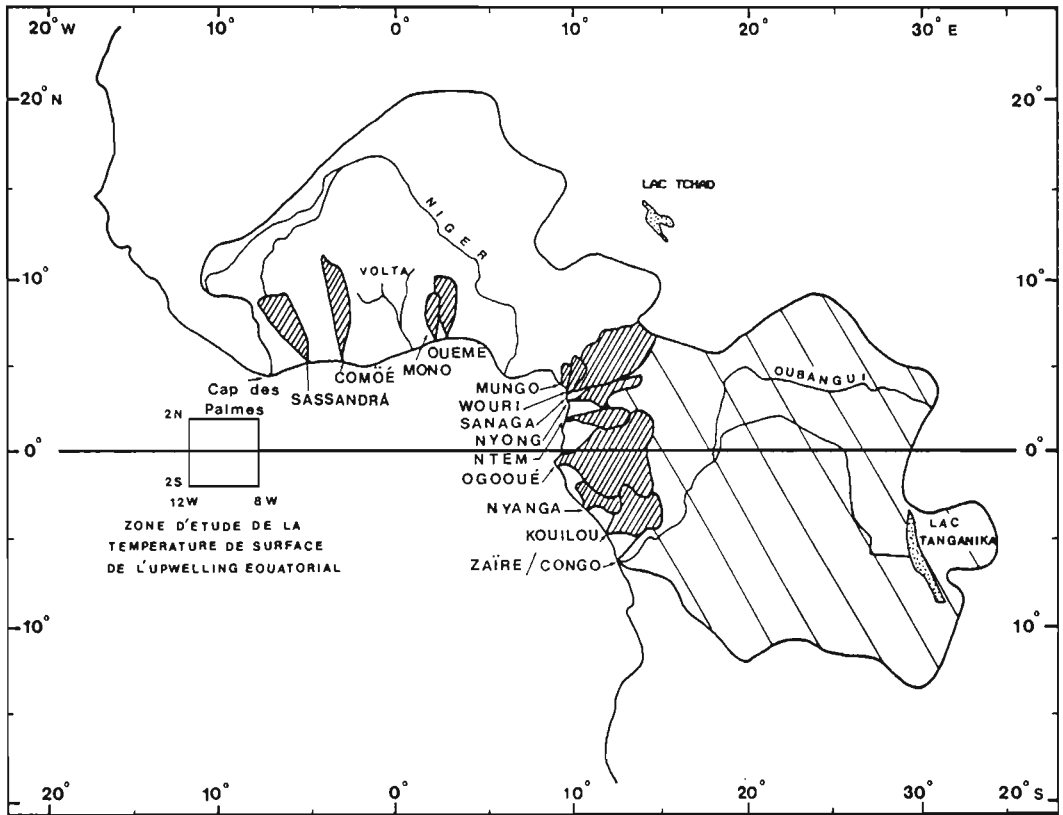
Le bassin-versant global des fleuves qui se jettent dans le golfe de Guinée entre le cap des Palmes (5°N) et l'embouchure du Congo (6°S) couvre une superficie de 7,5 millions de km<sup>2</sup> dont 3,5 pour le seul bassin versant du fleuve Congo.

«L'essentiel de l'humidité apportée sur l'Afrique occidentale et centrale provient de l'hémisphère sud et est transportée par le flux dirigé par l'anticyclone de Sainte-Hélène. Avant d'atteindre le continent, ce flux transite par le golfe de Guinée, où il peut subir des transformations importantes» (Leroux, 1980; Wauthy, 1983), dues en particulier aux variations de la température de surface de la mer (Lamb, 1978. Hisard, 1980).

En Afrique centrale et dans le sud de l'Afrique occidentale, les pluies sont principalement de type mousson. Les lignes de grain apportent l'essentiel de la pluie dans les régions sahéliennes, qui sont les plus sensibles aux variations de précipitations. Elles utilisent la vapeur d'eau advectée par le flux de mousson de sud-ouest,

Fig. 1

Localisation des bassins versants étudiés. En grisé, les bassins étudiés sur la période 1951-1980.



mais trouvent leur origine dans la circulation zonale (Leroux, 1980).

Au nord de 5°N, la répartition des pluies est principalement zonale ainsi que dans les régions côtières situées sous 3-4°S (nord Congo, Zaïre) (fig.2). C'est entre ces deux régions au coeur du golfe de Guinée que les précipitations sont les plus abondantes et principalement autour de Libreville au Gabon et du Mont Cameroun. Les isohyètes y sont orientées nord-sud et la charnière entre les deux types de répartition suit les massifs camerounais de l'Adamawa à partir du Mont Cameroun en direction du nord-est.

## RÉSULTATS

### *Analyse globale des débits*

La figure 3 représente les variations d'hydraulicité des 13 fleuves étudiés de 1944 à 1986 (13 données par an de 1951 à 1980). Ces variations reflètent celles de cinq grandes zones géographiques (fig. 4): la zone Afrique occidentale (Sassandra, Comôé, Mono, Ouémé), la zone Cameroun nord (Mungo, Wouri, Sanaga), la zone Cameroun sud (Nyong, Ntem), la zone Equateur (Ogooué, Nyanga, Kouilou) et le Congo.

L'hydraulicité moyenne des années cinquante est proche de 1, sauf pour les fleuves de la zone Afrique occidentale (1,2). Ces fleuves ont une extension nord-sud, le nord de leurs bassins versants s'approche des zones sahélo-soudaniennes qui ont connu durant les années cinquante des excédents de pluie (Nicholson, 1981).

En 1958, un déficit important est enregistré à la fois dans les pluies et dans les débits (fig.5), pour presque tous les fleuves, sauf le Wouri. Dans toute la zone Cameroun nord, l'année 1958 n'est pas ressentie comme très déficitaire (hydraulicité moyenne de 0,96). Les pluies y sont proches de la moyenne en général et même supérieures à Douala. De même, les pluies sont excédentaires dans les régions sahéliennes. Le débit moyen du Niger cette année là est de  $1318 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  à Niamey, par conséquent supérieur à la moyenne  $52-79 (1017 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$  (Brunet-Moret *et al.*, 1986), alors que partout ailleurs la baisse de débit est considérable.

Durant les années soixante, dans toutes les zones, l'hydraulicité moyenne est supérieure à la normale 1951-1980. Durant cette décennie, on observe une augmentation générale des débits, sauf dans la région Cameroun nord (fig.4). La majorité des maximums est concentrée dans les années soixante (fig.5). Le Congo atteint en 1962 un module d'amplitude séculaire:  $56000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (année civile). En 1963, le Mungo et le Wouri sont déficitaires (minimum pour le Mungo), alors que c'est l'année record pour l'écoulement entre 1944 et 1986 dans la zone d'étude globale autour du golfe de Guinée. En 1966, toutes les régions situées au sud du Mont Cameroun enregistrent une forte hausse des débits qui ne se ressent pas dans la zone Cameroun nord (fig. 4 et 6).

En 1967, les débits des fleuves de Côte-d'Ivoire sont

déficitaires alors que ceux de l'Ouémé et du Mono, un peu plus à l'est, sont excédentaires. Dans le même temps, l'upwelling ivoirien est plus intense cette année là que son homologue béninois (Hisard, 1980). De même, l'année 1968 est marquée en Afrique occidentale par une hausse très forte des débits (fig.4 et 5) (maximums de la Comôé et du Mono) qui n'est pas observée ailleurs. L'hydraulicité moyenne de la zone Afrique occidentale en 1968 est de 2 pour 4 fleuves. Cette valeur déporte vers le haut l'hydraulicité moyenne de l'ensemble des fleuves du golfe (fig.3). Hisard (1980) relie là encore ces variations locales aux anomalies de température de surface au large des côtes ivoiro-bénoises et à l'anomalie de température de surface de l'upwelling équatorial atlantique (presque inexistant).

En 1961, la zone équatoriale sud enregistre une hausse générale des débits, alors qu'ailleurs la tendance est à la baisse (fig.4 et 6). Dans cette zone, comme dans la zone d'Afrique occidentale, se produisent des upwellings côtiers. Leur variabilité en intensité et en durée peut être là aussi mise en parallèle avec les variations de pluies et de débits sur le continent, ce qui n'implique pas a priori de relation de cause à effet (Leroux, 1982).

Enfin, en 1970, alors que la majorité des fleuves présente des débits supérieurs à la moyenne, les fleuves d'Afrique occidentale amorcent déjà une baisse (fig.4 et 6). La limite est nette, sur les figures 4 et 5, entre les années soixante, durant lesquelles les maximums sont concentrés et les hydraulicités supérieures à la moyenne, et la décennie suivante qui enregistre la majeure partie des minimums depuis 35 ans.

Au cours de la décennie soixante-dix, et plus encore pendant les années quatre-vingt, tous les fleuves ont enregistré des déficits de débit très importants, en particulier ceux de la zone Afrique occidentale. Les minimums se situent principalement sur deux périodes (fig. 5): 1983-84 et 1972-73. En 1972 et 1973, 75% des stations pluviométriques étudiées sont en déficit par rapport à la normale 1951-1980. Sur la figure 6, la transition est nette entre les années soixante à hydraulicité supérieure à la moyenne (rectangles noirs) et la période de déficits qui suit (rectangles blancs). Les 5 grandes zones définies précédemment se retrouvent sur cette figure. Le découpage est surtout visible à partir de 1970. La région du Mont Cameroun s'individualise par des variations parfois inverses de la tendance générale comme en 1984, 1982, 1973 et 1963. Les grandes quantités d'eau, qui s'écoulent depuis cette région vers le fond de la baie de Biafra (plus de 10 m par an à Débundscha au pied du Mont Cameroun), participent à la dessalure importante qui y est enregistrée (moins de  $20 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ ). De fortes variations de précipitation autour de la baie pourraient induire en surface des contrastes importants de salinité, que ce soit entre 3°N et la côte entre Fernando-Poo, le Mont Cameroun et Douala où les précipitations influencent très nettement la salinité (Donguy *et al.*, 1964), ou plus au large «où le rôle des apports fluviaux semble dominer».

Fig. 2

Carte des isohyètes annuelles moyennes (1951-1980)  
au dessus de l'Afrique occidentale  
et centrale.

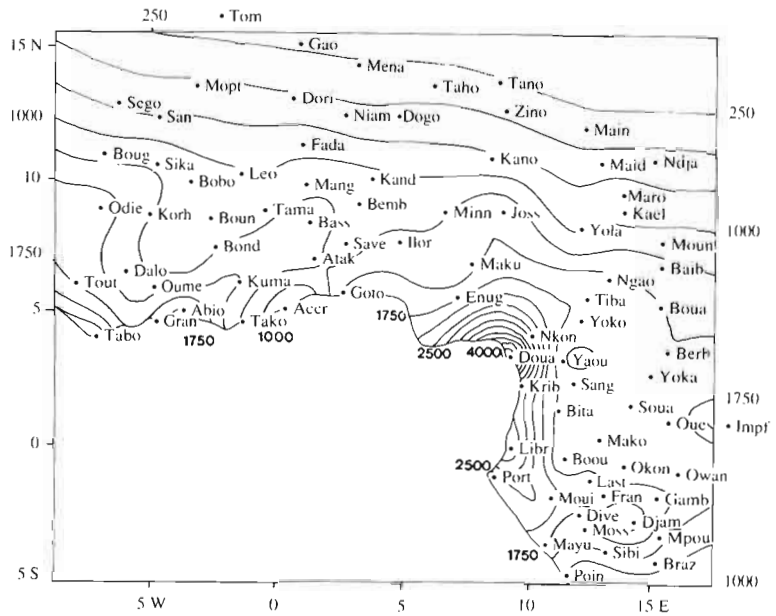


Fig. 3

Variations de l'hydraulicité moyenne des 13 fleuves  
étudiés de 1944 à 1986.

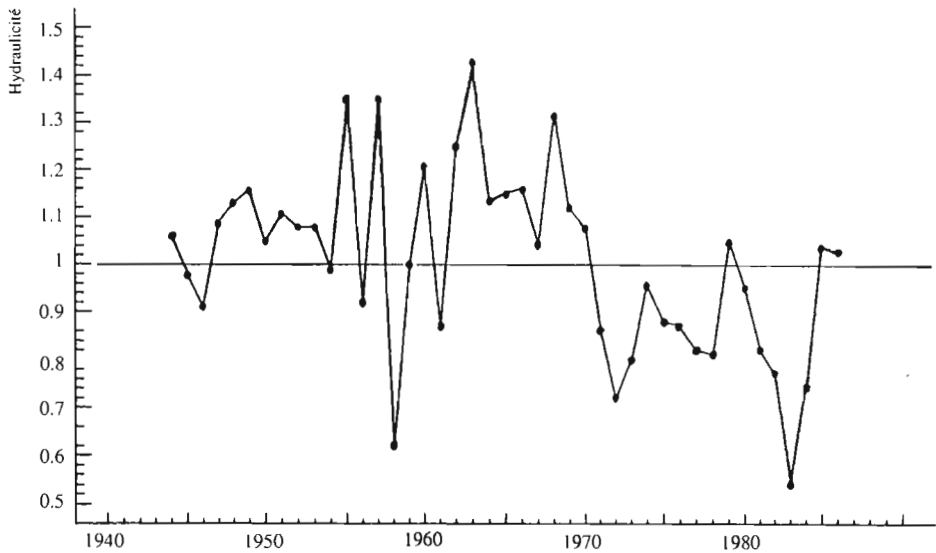
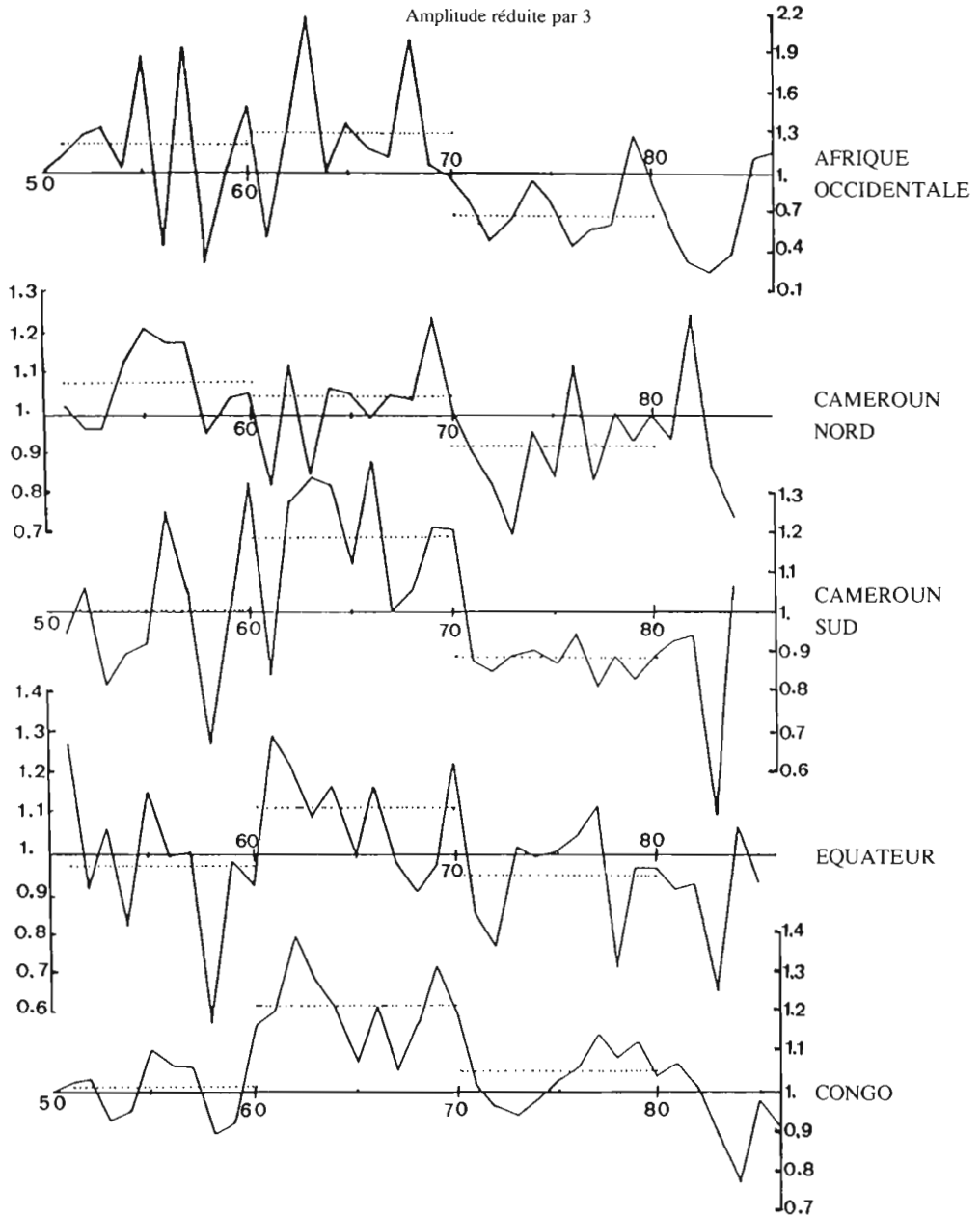


Fig. 4

Variations de l'hydraulicité moyenne des 5 zones.  
L'hydraulicité du Congo est définie à partir de son débit moyen calculé sur la période 1903-1986.  
Les pointillés représentent les hydraulicités moyennes par groupes de 10 années. Compte tenu de la très forte variabilité des débits des fleuves de la zone Afrique occidentale, l'échelle de la première courbe a été multipliée par trois.



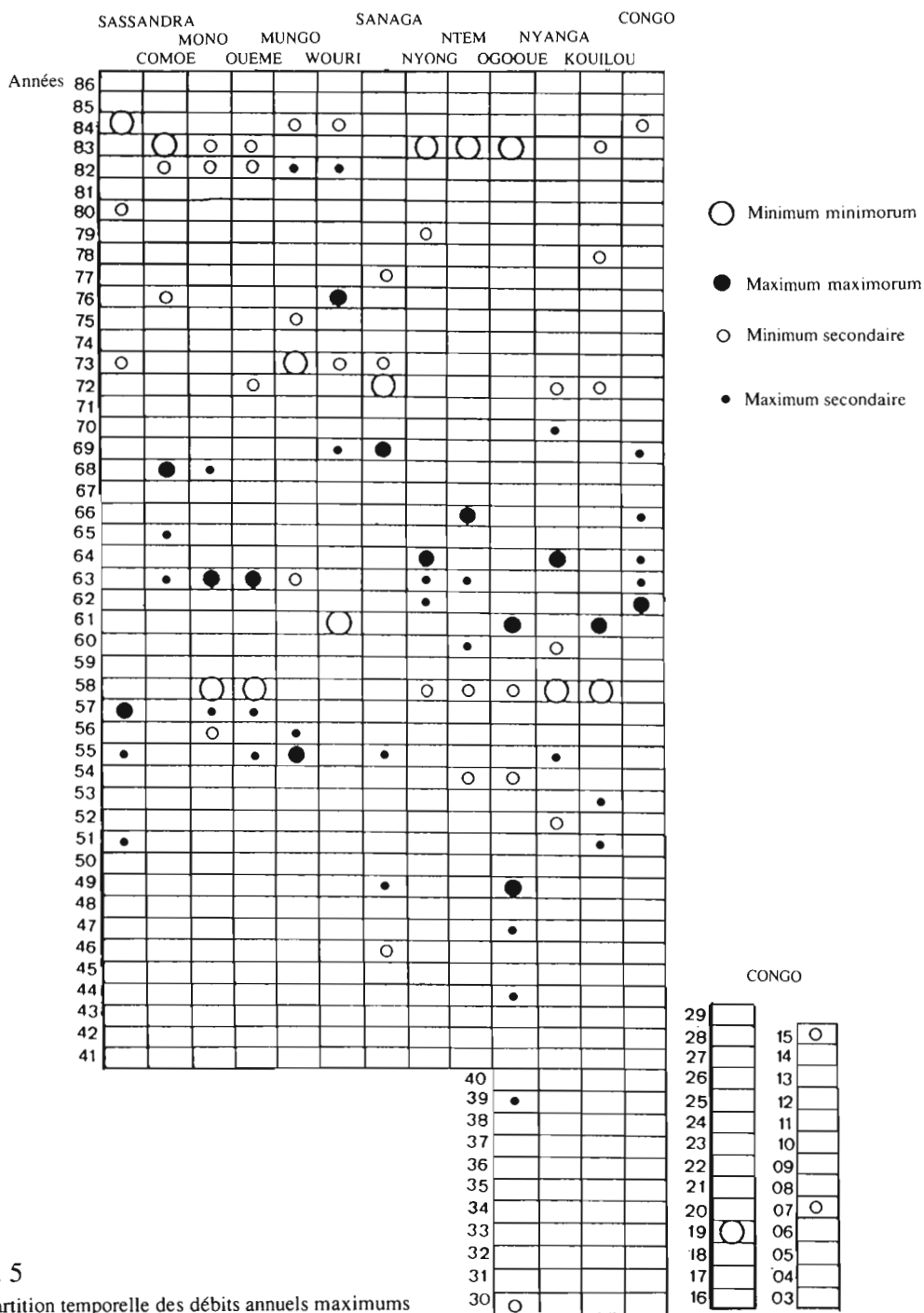


Fig. 5

Répartition temporelle des débits annuels maximums et minimums des 13 fleuves. Les fleuves sont cités suivant leur ordre d'apparition le long de la côte depuis le cap des Palmes (5°N) jusqu'à l'embouchure du Congo (6°S).

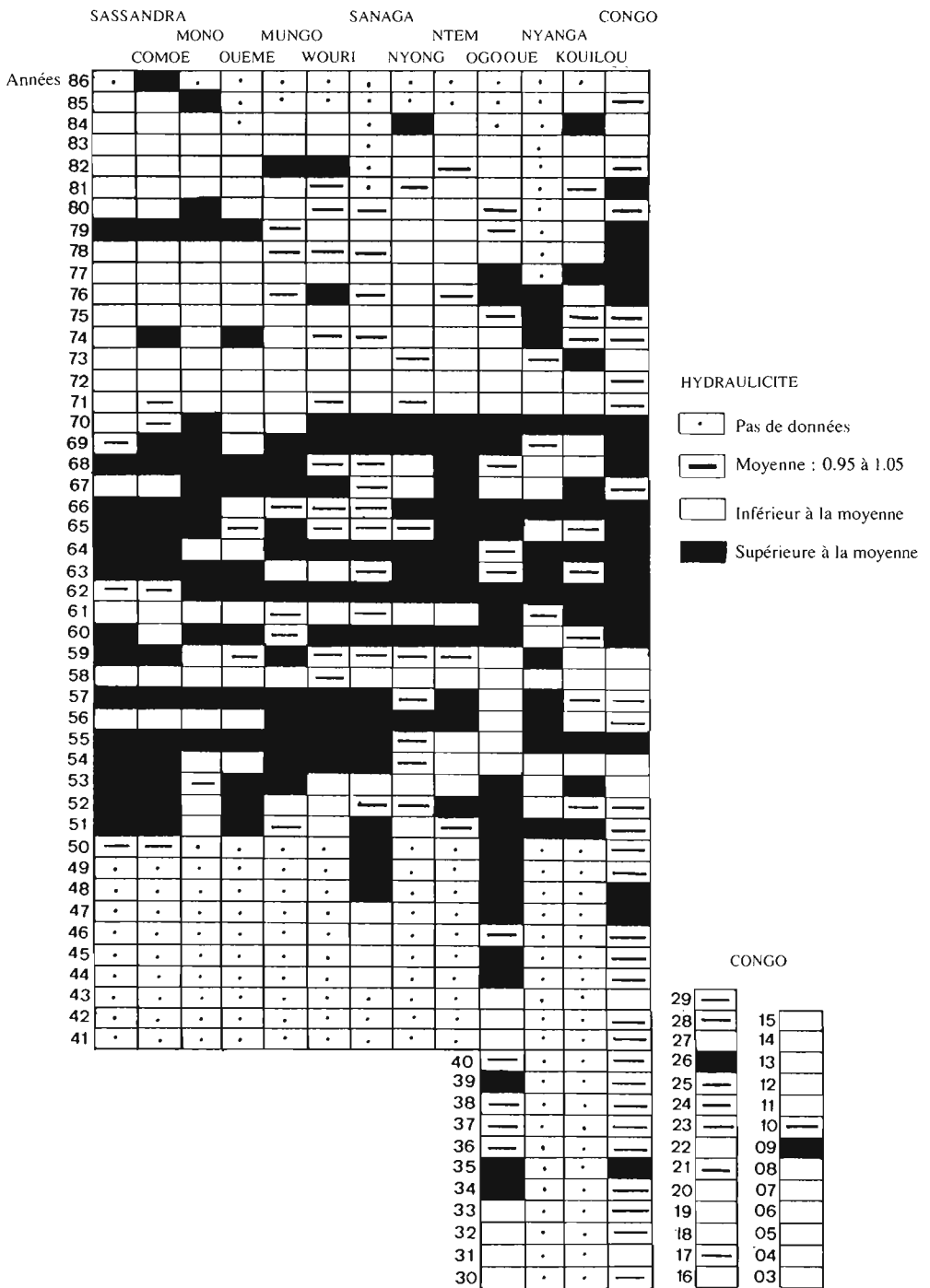


Fig. 6  
 Hydraulicités comparées des 13 fleuves étudiés.  
 Même ordre que la figure 5.



Binet a étudié l'influence des apports fluviaux sur la production primaire de phyto et zooplancton au large des côtes ivoiriennes et de l'embouchure du Congo. Il observe au large de la Côte-d'Ivoire que certains blooms phytoplanktoniques sont reliés aux régimes des crues qui précèdent et suivent la principale saison d'upwelling. De même, «au large d'Abidjan, des groupes d'espèces associées ont été reliés à diverses conditions du milieu» dont les crues et les eaux oligotrophes (Binet, 1983a). Enfin, «le suivi d'une station pendant plusieurs années devant Abidjan a montré que les déficits du régime pluviométrique et des débits fluviaux se répercutent plus fortement sur les biovolumes zooplanctoniques que les différences d'intensité des upwellings» (Binet, 1983b).

Bien que l'ensemble des fleuves ne manifeste que rarement une variabilité annuelle homogène, les variations à une échelle de temps plus importante suivent des tendances identiques.

### *Bilan des apports*

Un bilan des apports en milliards de  $m^3$ , et en pourcentages a été réalisé sur différentes échelles de temps (tab.1). Les apports décennaires du Niger et de la zone Lagos (côte nigériane entre l'Ouémé et le Mont Cameroun, plus le bassin de la Cross-River) ont été obtenus par corrélation avec les variations observées dans les autres zones. La répartition des apports est schématisée sur la figure 7 par des cubes dont l'arrête est proportionnelle à la racine cubique du volume annuel déversé.

Les apports du Congo sont de loin les plus importants dans le golfe de Guinée (60% du total des apports au golfe), mais leur influence reste limitée car ses eaux sont entraînées vers le large par le courant sud-équatorial et n'atteignent que rarement la baie de Biafra.

Depuis la côte nord du golfe de Guinée, à partir du cap des Palmes jusqu'aux bassins du nord Cameroun (région NORD), où il n'y a qu'une seule saison des pluies en été boréal, il s'écoule 30% du total au golfe. Ces eaux sont reprises par le courant de Guinée qui les entraîne vers le fond de la baie de Biafra; elles participent sans doute à la dessalure du fond de la baie. 10% de l'écoulement total provient des bassins situés entre le Mont Cameroun et l'embouchure du Congo (région CENTRE), où on enregistre en moyenne deux saisons des pluies.

Si l'on ramène l'ensemble des apports moyens (1951-1980) à 100 et que l'on trace leur répartition mensuelle (fig. 8a), on met en évidence que, durant les mois d'août, septembre et octobre, 50% ou plus de l'écoulement total au golfe provient de la région NORD, ce qui coïncide avec la période où les coefficients d'écoulement mensuel de cette région sont les plus élevés (fig. 8b). La variabilité interannuelle des écoulements diminue depuis les côtes du Togo-Bénin, vers l'ouest (monts de Guinée), et vers l'est et le sud (Mont Cameroun et Equateur). Le Congo présente la plus faible amplitude de variation.

Entre le cap des Palmes et l'embouchure du Congo il

arrive en moyenne 23.000 milliards de  $m^3$  d'eaux fluviales en 10 ans. L'excédent est de 3000 milliards de  $m^3$  (13%) durant la décennie soixante, alors que de 1971 à 1980 le déficit est de 1700 milliards de  $m^3$ . Mais la baisse modérée des apports du Congo (-5% par rapport à la moyenne 1951-1980) masque le déficit plus important des régions nord et centre du golfe (-29% dans la zone Afrique occidentale et -15% en moyenne du Niger au sud du Cameroun). Il faut cependant remarquer que dans la zone Equateur, comprise entre 2°N et 6°S et limitée à l'est par le bassin du Congo, comprenant les fleuves Ogooué, Nyanga et Kouilou, la diminution de débit de ces dernières années est moins sensible et ne représente que 3% en moyenne sur la période 1971-1980. De même, l'apport supérieur à la moyenne en Afrique occidentale pour les années cinquante est aussi masqué par les apports du Congo inférieurs à la moyenne. La variabilité interannuelle des apports d'Afrique occidentale est très importante: 190% en 1963 contre 38% en 1983 (par rapport à la moyenne 1951-1980). Ces variations sont de moindre amplitude dans les autres régions où le régime des pluies est plus régulier.

En 1962 et 1963, les apports au golfe sont respectivement de 25% et 20% supérieurs à la normale, soit 460 et 370 milliards de  $m^3$  supplémentaires à 1860 milliards de  $m^3$ , valeur normale pour un an, compte non tenu du Niger et de la zone Lagos dont nous ne connaissons pas la variabilité interannuelle. Les déficits les plus importants sont enregistrés en 1983 et 1958 avec -27% et -26% (tab.1), soit -460 et -430 milliards de  $m^3$ .

### DISCUSSION ET CONCLUSION

Les pays riverains du golfe de Guinée et intéressés par le flux de mousson Atlantique sont soumis aux variations d'intensité de ce dernier, qui se traduisent concrètement par des modifications du régime des pluies et des quantités annuelles précipitées, les régions soudano-sahéliennes étant les plus sensibles aux diminutions de précipitations.

L'étude de la répartition des pluies se heurte toujours aux problèmes de représentativité des stations ce qui nécessite l'utilisation d'un outillage statistique élaboré. Cette étape statistique est très réduite dans le cas de l'utilisation des données de débit des fleuves, ce dernier étant représentatif des précipitations des bassins versants correspondants. Depuis 1970, on observe une tendance générale à la baisse des débits, alors que les années soixante avaient été excédentaires et les années cinquante moyennes. Cette baisse est moins marquée dans les débits des fleuves équatoriaux - Ogooué, Nyanga et Kouilou -, mais tous, y compris le Congo, ont enregistré de grands déficits en 1972-73 et 1983-84. La diminution des débits a été assez brutale au début de 1970 et depuis, en Afrique occidentale, aucun retour durable à la situation antérieure à 1970 n'a été enregistré. «La sécheresse actuelle du Sahel correspond à une phase climatique nouvelle d'après l'analyse statistique des séries pluviométriques de longue durée (depuis 1920) du Burkina-Faso (10 stations de 1940 à 1983). La date

Fig. 7

Apports interannuels comparés des différents tributaires du golfe de Guinée, moyenne pour la période 51-80. L'arête de chaque cube est proportionnelle à la racine cubique du volume annuel déversé. Le cube situé en bas à gauche représente les volumes annuels moyens comparés de chaque fleuve ou région par rapport au Congo (arête totale).

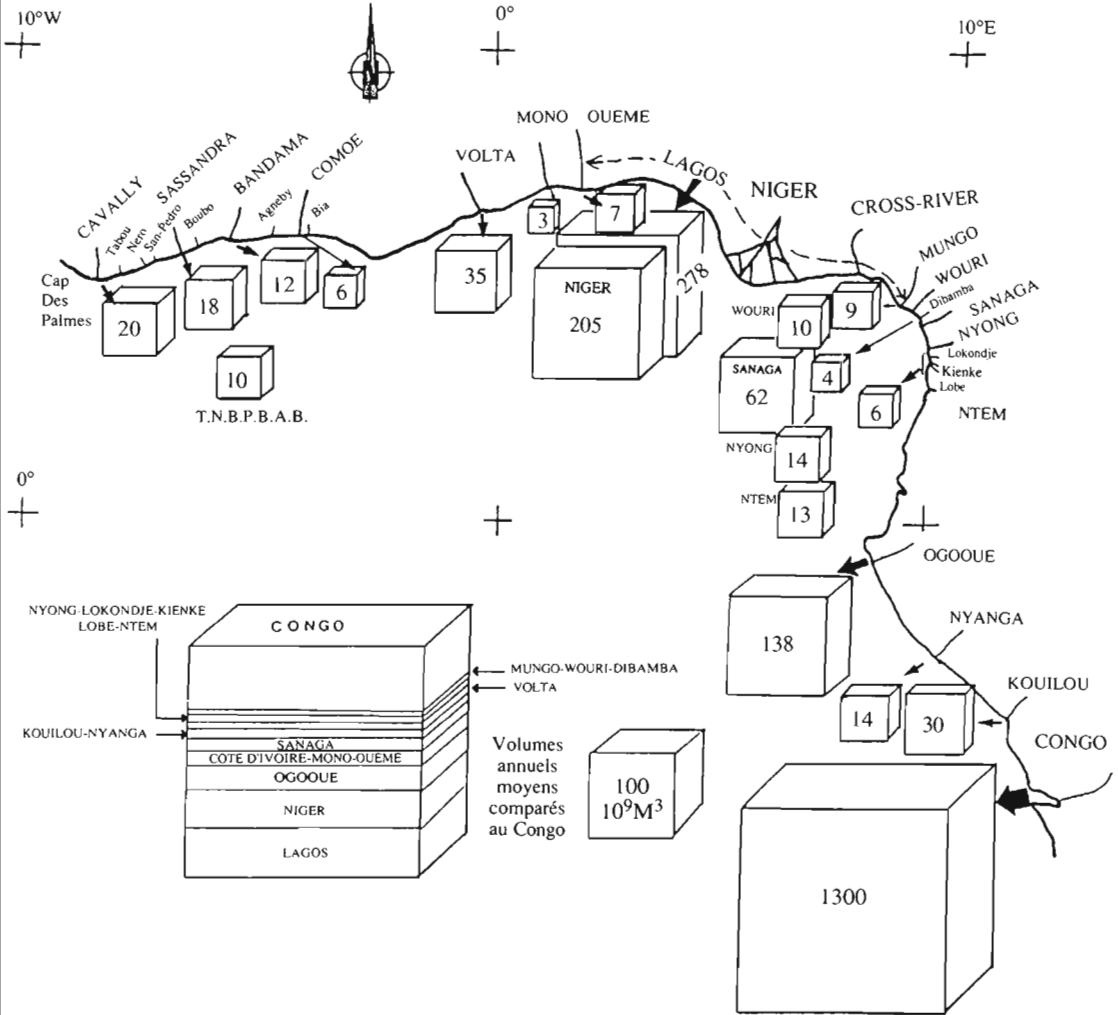


Fig. 8

(a) Répartition régionale mensuelle des apports fluviaux au golfe de Guinée en pourcentage de l'apport total (moyenne 1951-1980). Région Nord (Afrique occidentale, Niger, zone Lagos, Cameroun nord), région Centre (Cameroun nord, Equateur) et Congo.

(b) Coefficients régionaux moyens d'écoulement pour les mêmes régions, soulignant les particularités climatiques de chacune d'elles: une saison des pluies dans la région nord, deux dans la région centre, mais la variabilité intermensuelle des débits du fleuve Congo est faible.

- CONGO
- Région Nord : Afr. Occ. + NIGER + zone LAGOS + CAMEROUN Nord
- Région Centre : CAMEROUN Sud + EQUATEUR (jusqu'au CONGO)

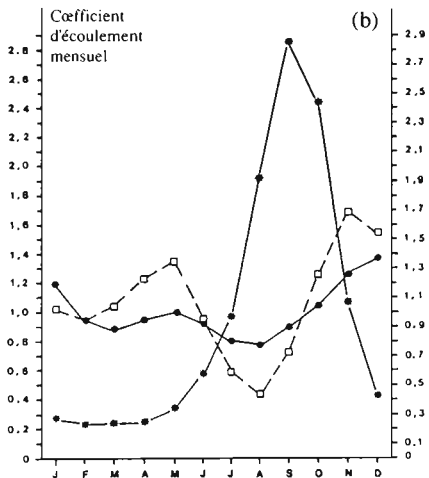
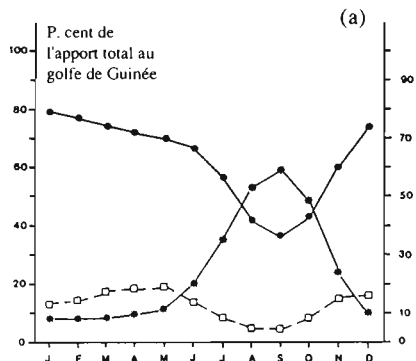


Fig. 9

Température de surface de la mer. Upwelling atlantique, carré 2°N, 2°S, 8°W, 12°W. Moyennes janvier-juin (haut), et juillet-septembre (bas), sur la période 1964-1987.

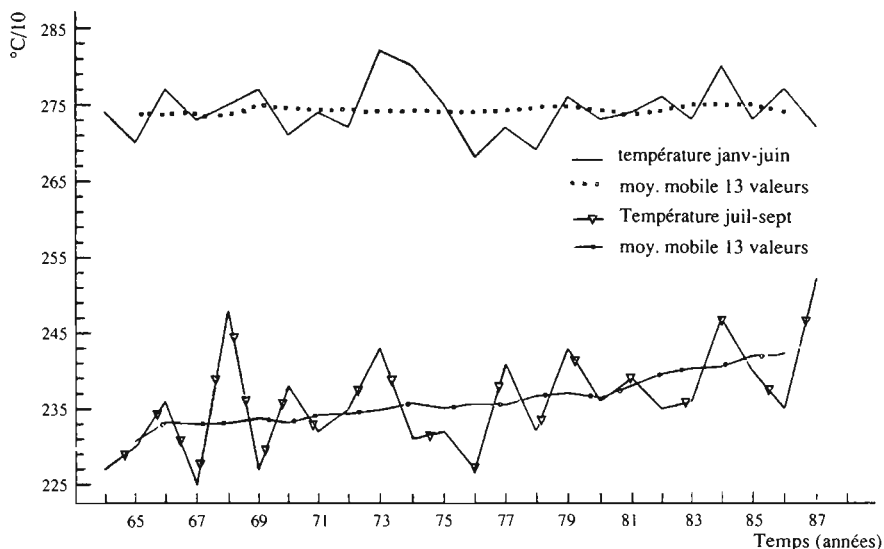


Fig. 10

Température de surface de la mer. Atlantique, carré 2°N, 2°S, 8°W, 12°W. Valeurs moyennes mensuelles sur les périodes 1964-1969 et 1980-1987, et sur des années humides types (1964, 1967, 1985, 1986) et sèches types (1968, 1972, 1973, 1977, 1982, 1983 1984) au Sahel.

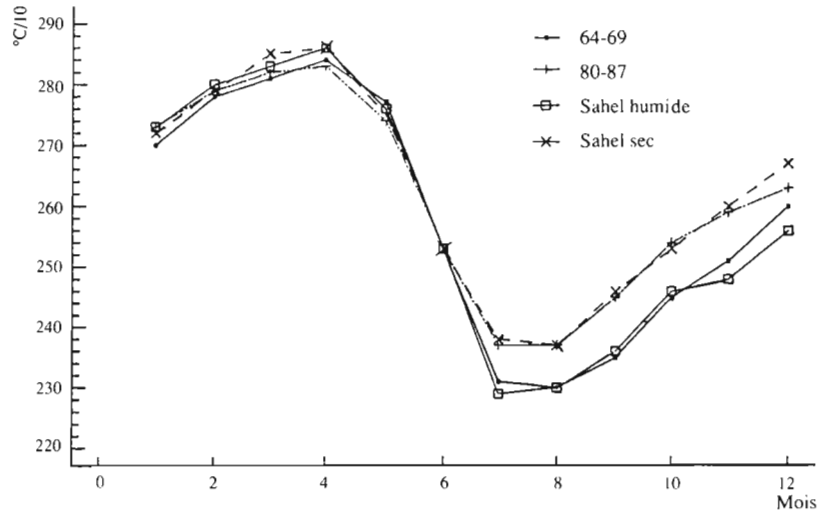


Fig. 11

Anomalies de température de surface dans la zone de l'upwelling équatorial atlantique, carré 2°N, 2°S, 8°W, 12°W, sur la période 1964-1987. Tracé de la tendance, par moyenne pondérée de 25 valeurs.

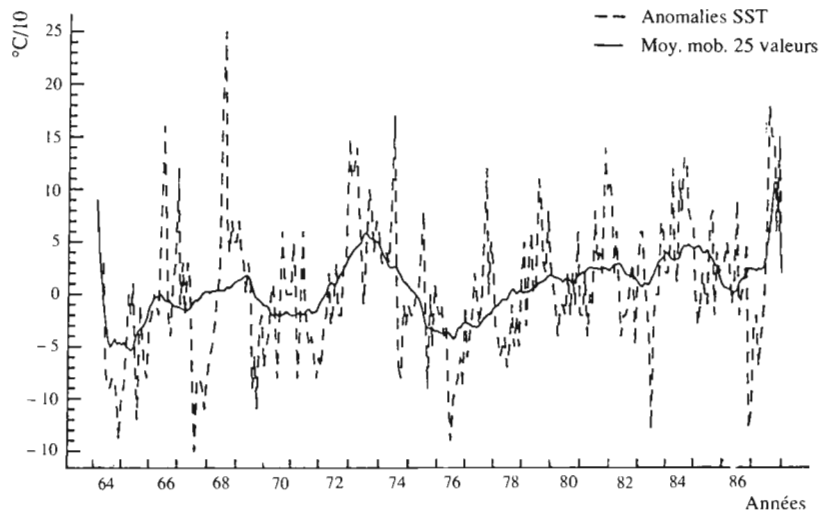


Tableau 1

Variabilité des apports fluviaux régionaux au golfe de Guinée au cours de la période 1951-1983 en milliards de mètres cubes et en pourcentages. Seules certaines années contrastées en elles ont été traitées.

	Afr. Occ		Niger		Lagos		Cam. Nord		Cam. Sud		Equateur		Congo		Total	
Moy. 51-80 pour	m <sup>3</sup> % x10 <sup>9</sup>		m <sup>3</sup> % x10 <sup>9</sup>		m <sup>3</sup> % x10 <sup>9</sup>		m <sup>3</sup> % x10 <sup>9</sup>		m <sup>3</sup> % x10 <sup>9</sup>		m <sup>3</sup> % x10 <sup>9</sup>		m <sup>3</sup> % x10 <sup>9</sup>		m <sup>3</sup> % x10 <sup>9</sup>	
10 ans	1230		2050		2750		850		470		2210		13800		23000	
Moy 51-60	1530	125	2180	106	2880	105	916	108	450	96	2160	98	11480	83	21600	94
Moy. 61-70	1420	116	2270	111	3010	109	886	104	530	113	2440	110	15320	111	25900	113
Moy. 71-80	880	71	1770	86	2350	85	697	82	400	85	2140	97	13130	95	21300	93
Moy 51-80 pour l an	123						85		47		221		1380		1860	
1955	229	186					105	124	42	89	228	103	1400	101	2000	108
1957	229	186					100	118	48	102	215	97	1340	97	1930	104
1958	56	46					81	95	31	66	144	65	1120	81	1430	77
1963	234	190					79	93	61	130	237	107	1620	117	2230	120
1968	221	180					86	101	48	102	224	101	1480	107	2060	111
1972	67.5	55					65	76	38.5	82	190	86	1220	88	1580	85
1973	70	57					64	75	41	87	204	92	1190	86	1570	84
1976	67.5	55					91	107	43	91	225	102	1350	98	1780	96
1983	46.5	38					67	79	23	50	146	65	1120	81	1400	76

de 1971 peut être proposée comme début de cette phase nouvelle.» (Carbonnel et Hubert, 1985). Ce qui ne va pas sans supposer des modifications concomitantes d'autres paramètres de l'environnement tels le champ de vent en altitude et la température de surface de la mer.

Suivant une étude de Citeau *et al.* (1986), nous avons étudié la température de surface de la mer dans le carré 2°N, 2°S, 8°W, 12°W, situé en Atlantique équatorial, sur la période 1964-1987. Durant la période de l'upwelling équatorial (juillet-septembre), des températures très basses pour cette latitude peuvent être enregistrées dans cette zone (22 à 24°C). De plus, elle est située sur la ligne maritime Dakar-Le Cap fréquentée par les navires marchands. Servain et Seva (1987) ont déjà analysé la série de températures de surface dans le rectangle plus large 2°N, 2°S, 6°W, 14°W, sans insister sur un réchauffement.

La figure 9 montre un réchauffement continu des eaux de cette zone depuis 1964 jusqu'à nos jours pendant la période de l'upwelling (juillet à septembre). La différence atteint 0,8 à 1,0 degrés Celsius en moyenne. Sur la même période de temps, les moyennes des températures de janvier à juin ne montrent aucune évolution à long terme. Il a été remarqué (Bah, 1987) que les années de mauvaise pluviométrie au Sahel correspondaient à des anomalies positives de température de surface en Atlantique équatorial oriental, et inversement durant

les bonnes années de pluies. Sur la figure 10, des moyennes mensuelles de températures ont été établies pour des groupes d'années qui ont été répertoriées comme significativement sèches ou humides au Sahel (selon Lamb (1983), Nicholson (1981), Bah (1987), Citeau *et al.* (1988)). Durant les trois dernières décennies, il existe des années humides telles 1964, 1967, 1974, 1985, 1986 et des années sèches 1968, 1972, 1973, 1977, 1982, 1983, 1984. Les courbes moyennes des années humides et des années sèches sont très proches de janvier à juin, mais dès juillet et jusqu'à décembre durant les années humides au Sahel l'upwelling équatorial est plus intense d'environ 0,8 degrés que durant les années sèches. Les valeurs mensuelles de températures de surface des années humides et sèches sont très proches respectivement de la courbe moyenne sur la période 1964-69 et de celle sur la période 1980-87, pour ce qui est des températures des mois de juillet à novembre. Ceci indique que les températures de surface, que l'on observait durant les mois de juillet à novembre uniquement pendant les années sèches précédant 1970 (1968 par exemple), deviennent beaucoup plus fréquentes depuis 20 ans. Il est possible que cette baisse d'intensité de l'upwelling soit reliée soit à un déplacement du centre d'action de l'anticyclone de Sainte-Hélène, soit à une diminution d'activité de ce dernier.

Une tendance globale au réchauffement peut être tracée

à partir du diagramme des anomalies de température de surface dans le carré d'étude. Entre 1964 et 1987, elle est de +0,6 à +0,8°C (fig. 11).

Le fait que les débits des fleuves tributaires du Golfe de Guinée évoluent à la baisse depuis 1970, et que l'on détecte une diminution simultanée de l'intensité moyenne de l'upwelling équatorial Atlantique va dans le sens des conclusions de Carbonnel et Hubert (1985), à savoir que des conditions moins favorables pour les pluies du Sahel apparaissent d'une manière anormalement fréquente depuis 1970 (comparativement à leur probabilité d'apparition antérieurement). L'étude des variations du champ de vent en altitude devrait, à la lumière des précédents résultats, apporter de nouveaux éléments dans la connaissance des mécanismes du climat dans cette région d'Afrique.

## DISCUSSION

**BELVEZE:** Assiste-t-on à un balancement de la situation climatique? En France, les glaciers ont commencé à avancer depuis les années soixante. Au Maroc, on observe une diminution des températures moyennes depuis 20 ans qui a une répercussion très nette sur l'agriculture: les floraisons et les vendanges sont retardées. Certains (Lamb, par exemple) parlent d'un retour vers une nouvelle glaciation.

**BINET:** Ce refroidissement risque d'être annulé par l'effet de serre lié à l'augmentation du gaz carbonique atmosphérique.

**MAHE:** Les répercussions possibles du réchauffement du à l'effet de serre font actuellement l'objet de nombreux débats. Une des conséquences possibles sur la circulation atmosphérique serait une limitation des échanges méridiens et la diminution des flux de mousson à l'équateur.

**BINET:** Quel est l'effet des barrages sur les débits des fleuves présentés dans cette étude ?

**MAHE:** Les fleuves avec barrage n'ont pas en général été inclus dans cette étude.

**FAGGIANELLI:** Il y a pourtant des données sur le fleuve Volta qui couvre une longue période.

**MAHE:** Je n'ai pas utilisé les données de ce fleuve. Après la construction du barrage, un débit presque nul à l'étiage a été observé.

**BELVEZE:** Est ce que la déforestation a eu un effet sur les débits des fleuves ?

**MAHE:** Peut-être pas directement. Des travaux sur les effets de la déforestation sur les précipitations ont été réalisés, en particulier sur le recyclage de l'évapotranspiration au niveau des côtes nord du golfe de Guinée.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bah A. 1987. Towards the prediction of sahelian rainfall from sea surface temperatures in the Gulf of Guinea. *Tellus*, 39A, p. 38-49.
- Balek J. 1983. Hydrology and water resources in tropical region. Elsevier. *Developements in water science*. N°18, 271 p., 3 cartes.
- Binet D. 1983a. Phytoplankton et production primaire des régions côtières à upwellings saisonniers dans le Golfe de Guinée. *Océanographie tropicale*, vol. 18, n°2, pp. 331-355, Ed. ORSTOM, Paris.
- Binet D. 1983b. Zooplancton des régions côtières à upwellings saisonniers du Golfe de Guinée. *Océanographie tropicale*, vol. 18, n°2, pp. 357-380, Ed. ORSTOM, Paris.
- Brunet-Moret Y., Chaperon P., Lamagat J.P. et Molinier M. 1986. Monographie hydrologique du fleuve Niger. Tome 2: cuvette lacustre et Niger moyen. ORSTOM, Paris. 506 p. 6 cartes.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier MM Jean Claude Olivry et Philippe Hisard, hydrologue et océanographe de l'ORSTOM Montpellier, qui sont à l'origine de cette étude et qui m'ont constamment prodigué leurs conseils. Je remercie aussi MM Jean Citeau et Hervé Demarcq, océanographes de l'ORSTOM à Dakar, de leur aide pour le traitement des données océanographiques.

- Carbonnel J.P. et Hubert P. 1985. Sur la sécheresse au Sahel d'Afrique de l'Ouest. Une rupture climatique dans les séries pluviométriques du Burkina Faso (ex Haute-Volta) C.R. Acad. Sci. Paris, t.301, série II, 13: 941-944.
- Citeau J., Finaud L., Cammas J.P. et Gouriou Y. 1986. Questions about the ITCZ migration over the tropical atlantic, sea surface temperature in the Gulf of Guinea and the runoff of Senegal river. Proc. 6th Meteosat Sci. User's Meet., Amsterdam, 25-27 Nov. 1986. EUM P 01, Vol. 2, edited by Eumetsat, Darmstadt (RFA).
- Citeau J., Berges J.C., Demarcq H. et Mahe G. 1988. The watch of ITCZ migrations over the tropical atlantic ocean as an indicator in drought forecast over sahelian areas. Tropical Ocean Atmospheric Newsletter, 45: 1-3.
- Donguy J.R., Hardiville J. et Leguen J.C., 1964. Essai de représentation du bilan d'eau douce dans une région marine. Application à la Baie de Biafra. Centre d'Océanographie et des Pêches. Pointe-Noire, Congo, ORSTOM, 13 p.
- Guillot B., Cam M. et Dagorne D. 1988. Remarques à propos de l'effet des facteurs locaux sur l'activité convective en Afrique de l'ouest et dans l'Atlantique intertropical. Veille Climatologique Satellitaire, n°21, février, Ed. ORSTOM-CMS, pp. 33-48.
- Hisard P. 1980. Observations de réponses de type El-Nino dans l'Atlantique tropical oriental. Golfe de Guinée. Oceanol. Acta., 3, 1: 69 à 78.
- Lamb P. 1978. Large-scale Tropical Atlantic surface circulation patterns associated with subsaharan weather anomalies. Tellus, 30: 240-251.
- Lamb P. 1983. West African water vapor variations between recent contrasting rainy seasons. Tellus, 35A:198-212.
- Leroux M. 1980. Le climat de l'Afrique tropicale. Dakar. Thèse d'Etat. Université de Dijon. 3 tomes, 1427 p.
- Leroux M, 1982. Températures marines et précipitations sur les littoraux de l'Afrique tropicale. Norois, n°116, Poitiers, octobre-décembre, pp.479-497.
- Mahe 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. Université d'Orsay/Centre ORSTOM de Montpellier. 103 p., plus annexes.
- Nicholson S. 1981. Rainfall and atmospheric circulation during drought periods and wetter years in West Africa. Monthly Weather Review, 109: 2191-2208.
- Olivry J.C. 1983. Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégal et aux îles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, XX, 1: 47-69.
- Olivry J.C. 1986. Fleuves et rivières du Cameroun. Thèse d'Etat. MESRES-ORSTOM. Collection «Monographies hydrologiques ORSTOM.» n°9. Paris. 733 p., 360 tableaux.
- Picaut J., Servain J., Lecomte P., Seva M., Lukas S. et Rougier G. 1985. Climatic atlas of the Tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature. 1964-1979. Programme FOCAL, Université de Bretagne Occidentale, University of Hawaii. 467 p.
- Rodier J. 1964. Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'ouest du Congo. Mémoires ORSTOM. ORSTOM, Paris, 137 p.
- Servain J. and Seva M. 1987. On relationships between Tropical Atlantic sea surface temperature, wind stress and regional precipitation indices: 1964-1984. Ocean air interactions, vol. n°1, pp. 183-190.
- Wauthy B. 1983. Introduction à la climatologie du Golfe de Guinée. Océanographie tropicale. Vol. 18. N°2. ORSTOM, Paris, pp. 103-138.