

## **Manifestations d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale**

**JEAN EMMANUEL PATUREL, ERIC SERVAT & BROU KOUAME**

*ORSTOM, Programme FRIEND AOC, 06 BP 1203, Cidex 1, Abidjan 06, Côte d'Ivoire*

**HELENE LUBES & JEAN MARIE FRITSCH**

*ORSTOM, Programme FRIEND AOC, BP 5045, F-34032 Montpellier Cedex, France*

**JEAN MARIE MASSON**

*Laboratoire Géofluides-Bassins-Eau, URA-CNRS 1765, Université Montpellier II, Place Eugène Bataillon, F-34095 Montpellier Cedex, France*

**Résumé** Cette étude s'intéresse aux manifestations, en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne, d'une variabilité climatique en phase avec ce qui a pu être étudié plus au nord au Sahel. Un ensemble de représentations cartographiques et de méthodes statistiques de détection de ruptures est utilisé pour analyser les séries chronologiques de précipitations annuelles et de débits moyens annuels. Les ruptures sont généralement localisées à la fin des années 1960 et au début des années 1970, en accord avec ce qui est observé au Sahel. On met ainsi en évidence une baisse généralisée de la pluviométrie de l'ordre de 20%. Les déficits d'écoulement atteignent, quant à eux, environ 45%, et ponctuellement plus de 60%. Dans bon nombre d'endroits les volumes écoulés ont donc diminué de près de moitié, ce qui ne va pas sans conséquences en terme de gestion de ressource.

### **INTRODUCTION**

La sécheresse observée depuis plus de 20 ans au Sahel y a de sérieuses conséquences. Des études ont situé l'apparition de ce phénomène vers la fin de la décennie 60 et au début de la décennie 70 (Hubert & Carbonnel, 1987; Sircoulon, 1987; Hubert *et al.*, 1989; Demarrée, 1990). Cependant, plus au sud, dans des régions au climat plus humide, il semble que ce phénomène soit également ressenti (Sutcliffe & Knott, 1987; Nicholson *et al.*, 1988; Mahé & Olivry, 1991; Olivry *et al.*, 1993). Ce sentiment est partagé par la population des pays riverains du Golfe de Guinée, qui appartiennent, avec d'autres, à ce que l'on appelle communément "l'Afrique humide". Il peut donc sembler paradoxal d'y parler de "sécheresse" car les conséquences d'un tel phénomène y sont moins sévères et moins dommageables. Toutefois, la diminution de la pluviométrie et la baisse des écoulements sont telles qu'elles peuvent y pénaliser de nombreux projets de développement.

L'étude présentée ici, menée dans le cadre du thème "variabilité climatique" du projet FRIEND Afrique de l'Ouest et Centrale de l'UNESCO, a pour but d'identifier et de mesurer les conséquences de cette variation climatique supposée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. L'analyse des données de 16 pays (du Sénégal à la Centrafrique et du Mali au Cameroun) a permis d'effectuer ce travail dans un cadre régional couvrant les zones non sahéliennes au sens large et donc limité au nord par le

14ème parallèle. Variabilité pluviométrique et variabilité des ressources en eau de surface ont été successivement abordées.

## DONNEES ET METHODES

Les données utilisées proviennent de la banque de données du Projet FRIEND AOC. L'étude a principalement concerné la période 1950-1989. L'information pluviométrique y est importante et bien répartie sur l'ensemble de la zone d'étude (près de 200 postes de mesure). L'information débitmétrique est, quant à elle, moins dense, tant dans l'espace que dans le temps.

Des outils d'interpolation et de cartographie, ainsi que des méthodes statistiques de détections de ruptures au sein de séries chronologiques ont permis l'exploitation de ces données. Rappelons ici qu'une "rupture" se définit comme un changement de la loi de probabilité de la série étudiée.

Des cartes d'isovaleurs de précipitations annuelles et d'indices pluviométriques annuels ont été établies. L'indice pluviométrique est une variable centrée réduite qui traduit une "intensité" d'excédent ou de déficit pluviométrique annuel dans le cas où la variable étudiée est la pluviométrie annuelle. Les méthodes statistiques de détection de ruptures retenues sont: test de corrélation sur le rang afin de déterminer le caractère aléatoire ou non de la série, et, pour détecter un changement de la moyenne dans les séries étudiées, test de Pettitt, statistique de Buishand, procédure Bayésienne de Lee et Heghinian et procédure de segmentation de Hubert. Ces méthodes font l'hypothèse d'une stationnarité de la variance des séries et sont adaptées à la détermination d'une rupture unique (à l'exception de la méthode de segmentation de Hubert).

## VARIABILITE DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES

La Fig. 1 représente l'évolution des isohyètes durant les quatre dernières décennies. On observe que c'est le long des côtes que la pluviométrie annuelle est la plus importante. Cependant, entre la Côte d'Ivoire et le Bénin, le tracé des isohyètes est très irrégulier et les précipitations plus faibles. La présence de phénomènes d'upwellings en mer à ce niveau stabilise les masses d'air et entraîne donc une pluviométrie plus faible. L'irrégularité constatée des isohyètes est habituellement reliée à la présence des Monts Togo prolongés, au Bénin, par la chaîne de l'Atakora ainsi qu'à l'orientation de la côte. Celle-ci est, par endroits, parallèle à l'orientation des flux de mousson et donc moins favorable aux précipitations (Eldin, 1971). Sur le reste de la zone, le gradient pluviométrique est pratiquement nord-sud. Plus à l'intérieur des terres, la distance à l'Océan Atlantique constitue un facteur primordial d'homogénéité des régimes des précipitations.

Au cours de ces quatre décennies, on note une tendance à la diminution de la pluviométrie. Toutefois, c'est durant la décennie 1960 que la pluviométrie moyenne annuelle a été la plus forte de la Côte d'Ivoire au Bénin. Durant les années 1980, tout le nord de la zone étudiée a une pluviométrie inférieure à 800 mm, ce que l'on n'observait pas durant la décennie 1950. Dans l'ensemble de la région, la tendance à la diminution de la pluviométrie moyenne annuelle semble débiter pendant la décennie 1970 et s'amplifier pendant les années 1980.

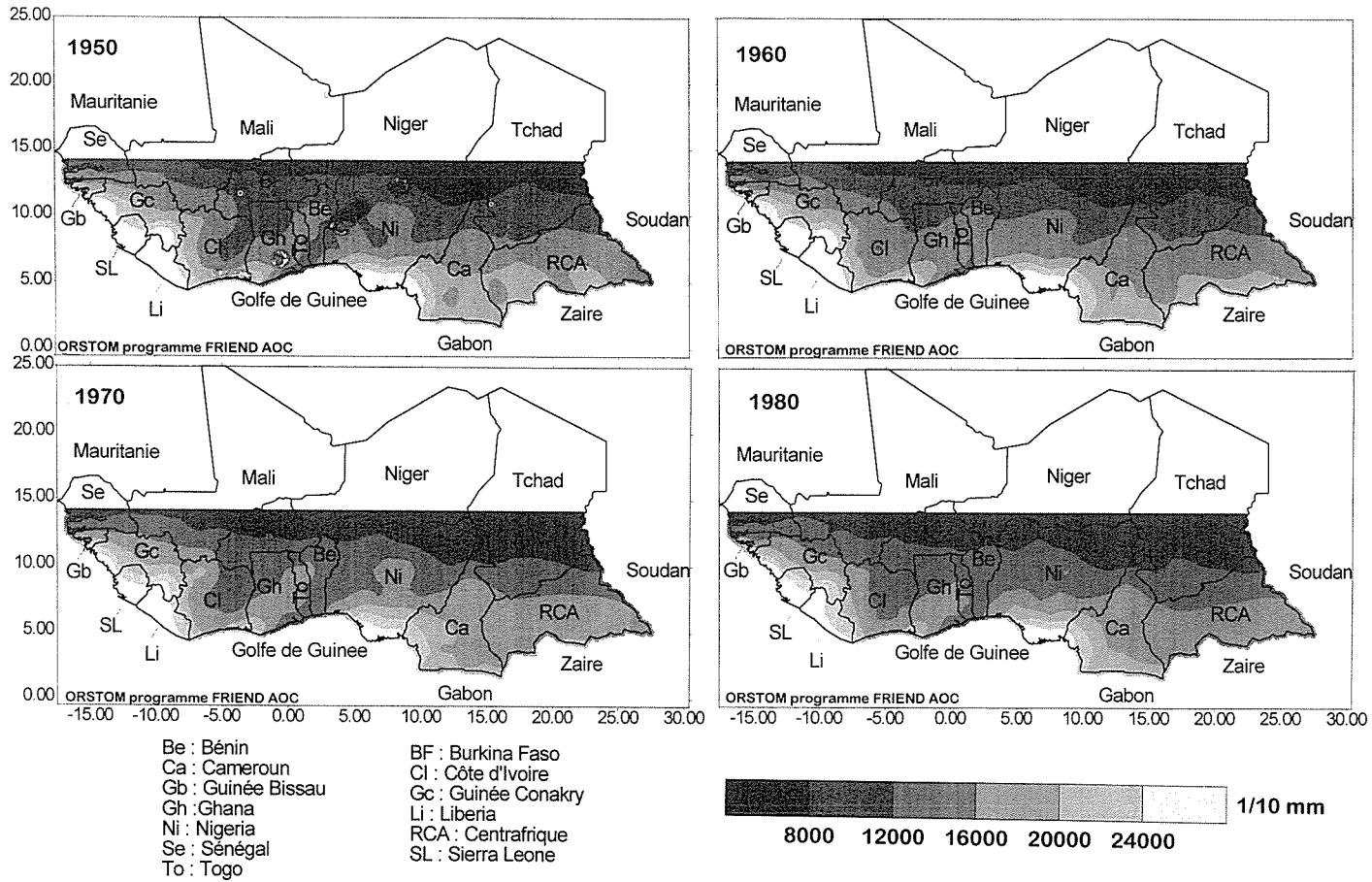


Fig. 1 Evolution de la pluviométrie moyenne annuelle en Afrique de l'Ouest et Centrale durant les quatres dernières décennies.

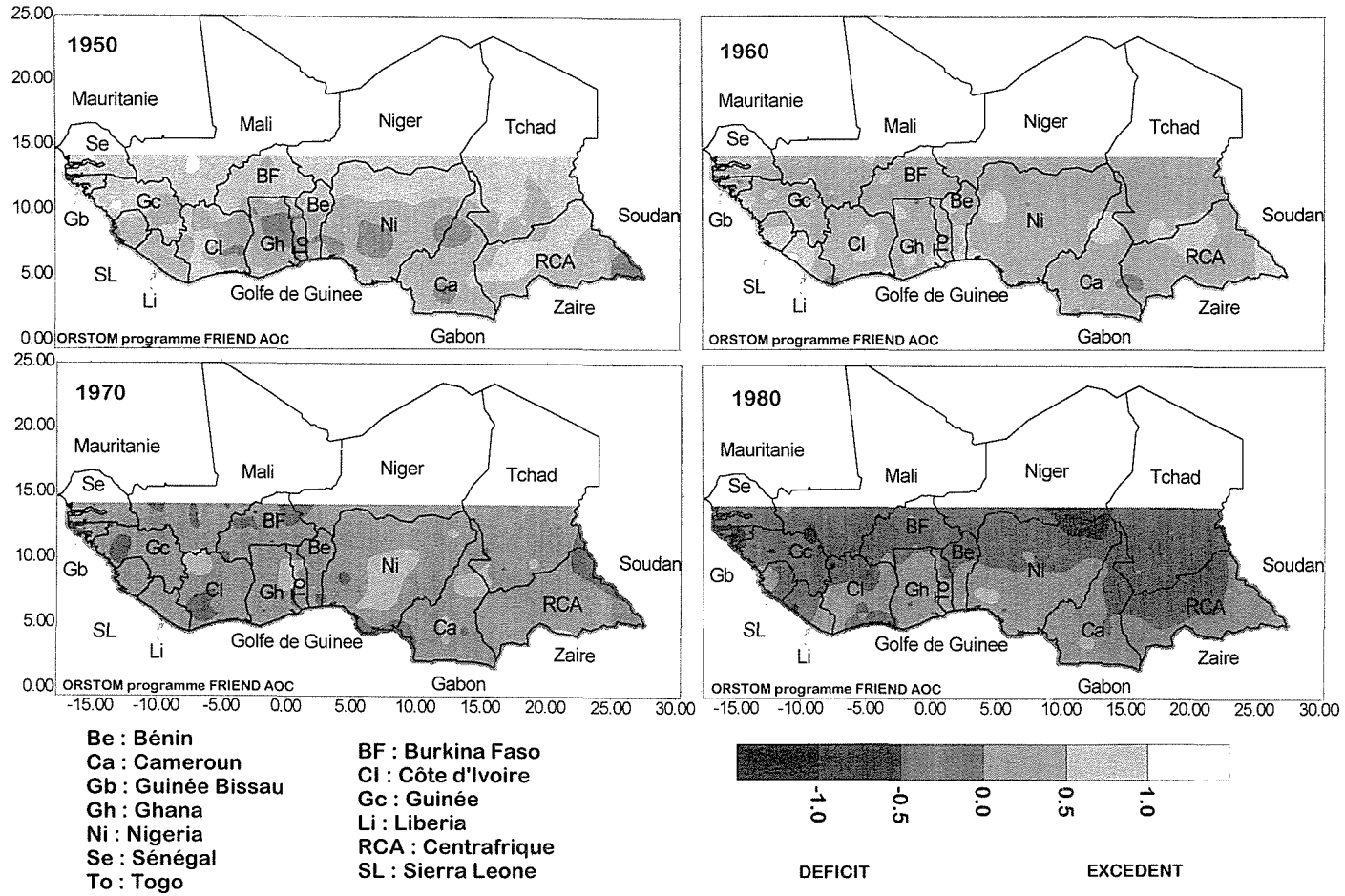


Fig. 2 Evolution des indices pluviométriques en Afrique de l'Ouest et Centrale durant les quatre dernières décennies.

La Fig. 2 traduit des intensités de déficit ou d'excédent pluviométrique de chacune des décennies par rapport à la période de référence. Globalement, les décennies 1950 et 1960 sont excédentaires alors que les deux décennies suivantes apparaissent comme déficitaires. Les régions les plus touchées par cette baisse des précipitations se situent au nord et à l'ouest de la zone d'étude, c'est à dire dans les secteurs habituellement les moins et les plus arrosés. Vers l'est on observe le même phénomène mais avec une moindre ampleur.

Les résultats des tests de détection de rupture ont été reportés sur la Fig. 3. On note qu'il y a plus de postes à l'ouest qu'à l'est pour lesquels une rupture a pu être détectée. Ce phénomène apparaît donc bien, comme étant plus marqué en Afrique de l'Ouest qu'en Afrique Centrale.

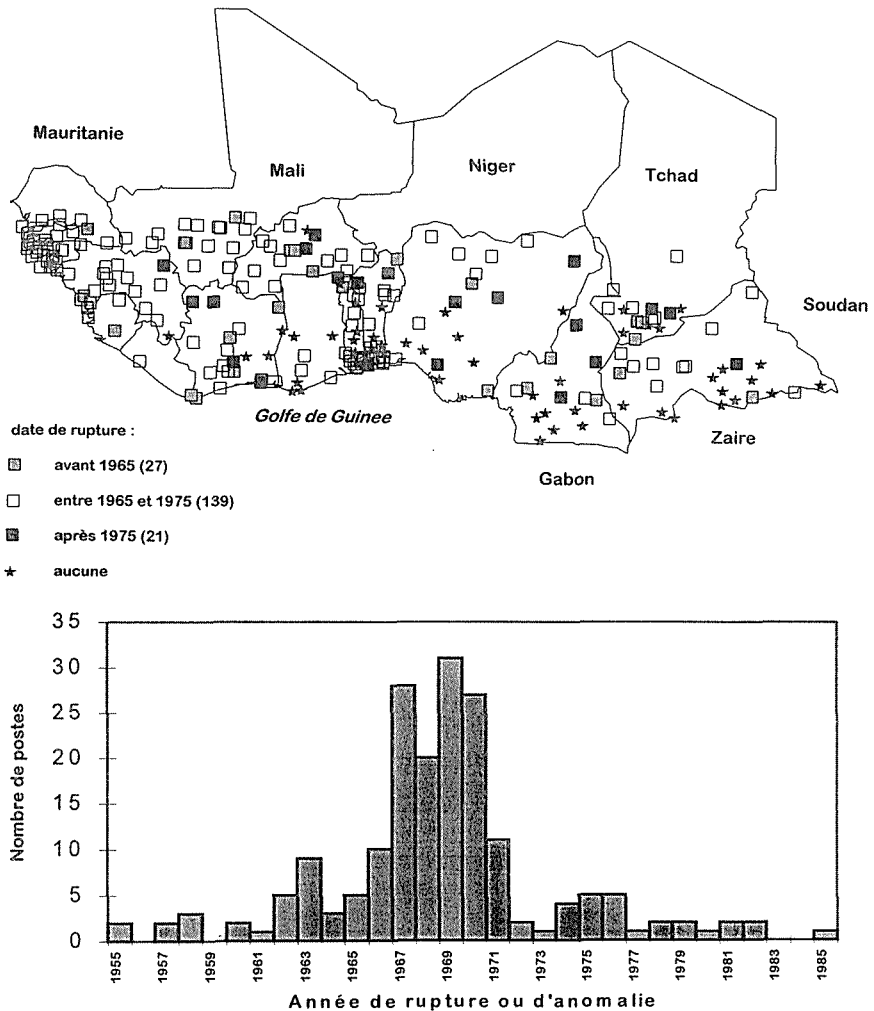


Fig. 3 Répartition des résultats des tests de détection de ruptures dans les séries chronologiques de pluviométrie annuelle.

En cas de rupture dans les séries chronologiques, les déficits calculés de part et d'autre sont généralement de l'ordre de 20%, mais parfois supérieurs à 25%. Les dates d'occurrence des ruptures détectées se situent autour de 1969-1970 (Servat *et al.*, 1996; Paturel *et al.*, 1996).

Un travail analogue a été mené sur des séries chronologiques de pluviométrie mensuelle. Quels que soient les mois ou les régions étudiés, on observe toujours une diminution de la pluviométrie. Seule exception, la zone à deux saisons des pluies (de la Côte d'Ivoire à certaines régions du Nigéria) qui connaît un mois d'Août plus pluvieux qu'auparavant alors qu'il correspond, théoriquement, à la "petite saison sèche". Cette exception pourrait indiquer une réduction de l'extension spatiale de la zone à deux saisons des pluies au profit de celle à une saison des pluies unique.

Les différentes méthodes s'accordent donc sur la réalité d'une importante baisse de la pluviométrie sur l'ensemble de la zone non sahélienne d'Afrique de l'Ouest et Centrale. Si l'amplitude du phénomène, apparu aux alentours des années 1970, n'est pas uniforme, toutes les régions ont cependant été touchées. En saison sèche comme en saison des pluies, toutes les périodes de l'année ont subi cette diminution des précipitations. Cette variabilité est en tous points comparable à ce qui avait été décrit jusque là plus au nord dans le Sahel. Bien que la région étudiée soit qualifiée d'"humide", cette modification du régime pluviométrique ne peut qu'avoir des conséquences importantes sur la disponibilité des ressources en eau de surface.

## VARIABILITE DES REGIMES HYDROMETRIQUES

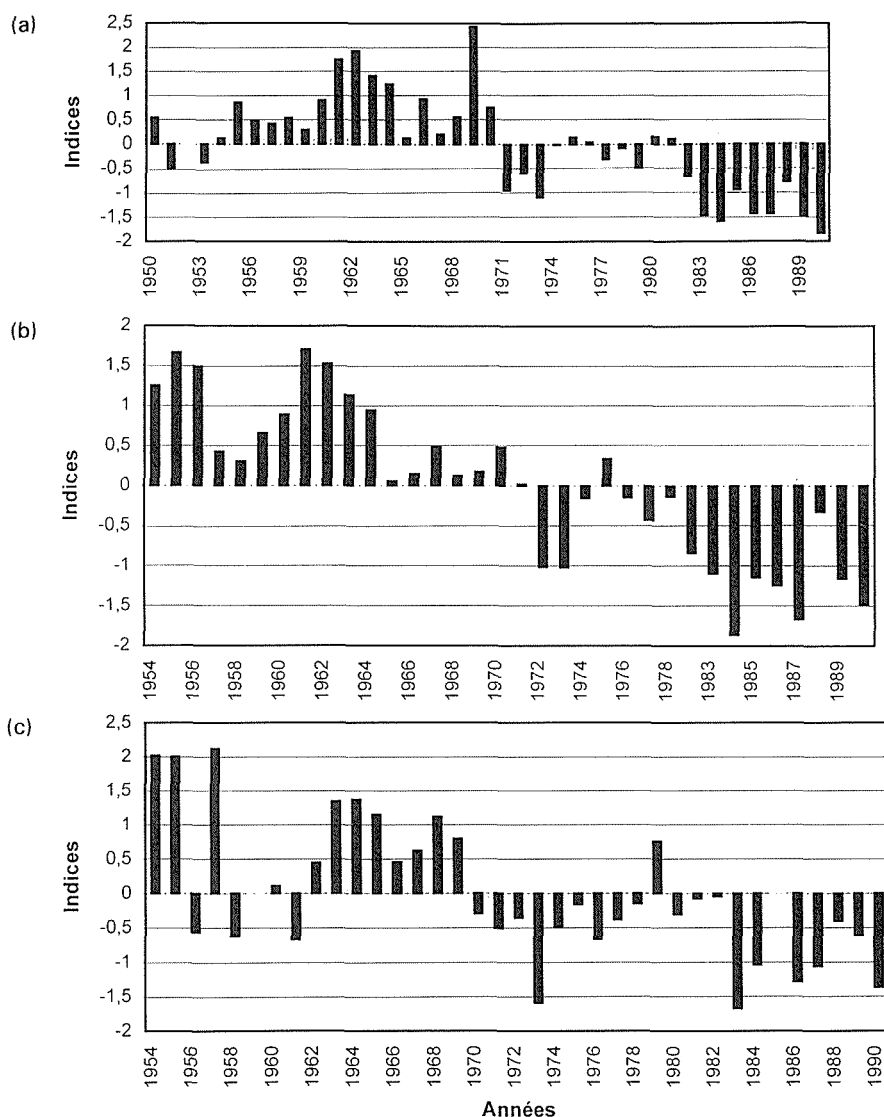
En matière d'hydrométrie, l'information disponible n'est malheureusement pas aussi dense que pour la pluviométrie. On note, en particulier l'existence d'une forte hétérogénéité en matière de répartition spatiale, ce qui limite la pertinence et l'intérêt des représentations cartographiques. Les stations hydrométriques sélectionnées sont, cependant, suffisamment nombreuses pour traduire de manière significative, à l'échelle régionale, la réalité de la variabilité temporelle des ressources en eaux de surface. Comme pour la pluviométrie, un intérêt plus marqué a été porté à la période 1950-1989 qui correspond à une densité maximale de données disponibles.

Les premiers résultats obtenus concernent les modules annuels, ou débits moyens annuels, d'un ensemble de cours d'eau d'Afrique de l'Ouest et Centrale, représentatifs de la zone non sahélienne. Les bassins versants correspondants sont de superficie très variables (1990-600 000 km<sup>2</sup>). Néanmoins, comme le montrent, à titre d'exemple, les Figs 4 et 5, sur la période 1950-1989 la quasi totalité des stations étudiées fait état d'une nette diminution de l'hydraulicité depuis près de 25 ans maintenant. En effet, depuis le début de la décennie 1970, à quelques rares exceptions près, toutes les années apparaissent comme ayant une hydraulicité inférieure à la moyenne, traduisant en cela une baisse des ressources en eau de surface.

Les indices représentés sur la Fig. 4 ont été calculés de façon analogue aux indices pluviométriques selon l'expression:

$$\text{indice d'hydraulicité} = (X_i - \bar{X})/s \quad (1)$$

avec  $X_i$ : débit moyen annuel de l'année  $i$ , en m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, à la station considérée;  $\bar{X}$ : débit moyen interannuel calculé sur la période 1950-1989, en m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, à la station considérée;



**Fig. 4** Indices d'hydraulicité (a) de l'Oubangui à Bangui (Centrafrique); (b) du Chari à N'Djamena (Tchad); et (c) du Sassandra à Semien (Côte d'Ivoire).

et  $s$ : écart-type des débits moyens annuels, en  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ , à la station considérée.

Les séries chronologiques de débits moyens annuels ont été étudiées à l'aide des méthodes de détection de ruptures évoquées plus haut. Les résultats montrent que sur les 95 stations retenues à ce niveau de l'étude, 77 (soit légèrement plus de 80%) présentent une rupture. La grande majorité est localisée entre 1968 et 1972 comme en témoigne la Fig. 5. La précision de cette localisation dans le temps souligne le lien indiscutable qui existe entre la baisse de la pluviométrie et la diminution des écoulements de surface en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne.

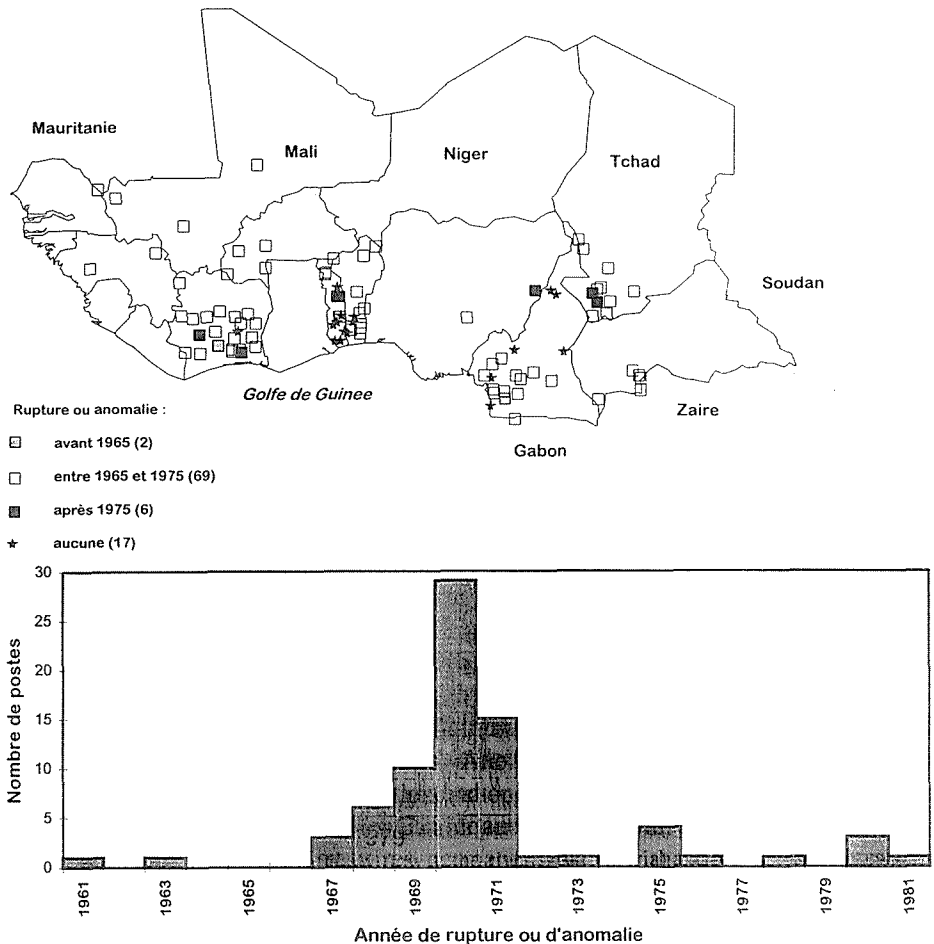


Fig. 5 Répartition des résultats des tests de détection de ruptures dans les séries chronologiques de débits moyens annuels.

De part et d'autre des dates de rupture dans les séries chronologiques, et sur la période 1950-1989, on atteint des différences importantes en ce qui concerne les débits moyens annuels. Elles sont rarement inférieures à 30% et parfois supérieures à 55% voire 60%. Le Tableau 1 présente quelques valeurs moyennes de déficit pour certains grands fleuves et pays. Ces valeurs doivent être prises comme un ordre de grandeur car elles n'ont pas toutes été calculées dans les mêmes conditions: périodes de calculs parfois légèrement différentes et nombre de stations prises en compte très variable (de deux sur le Fleuve Sénégal à 13 en Côte d'Ivoire). Néanmoins on constate, à l'examen du Tableau 1, que la diminution des écoulements, et donc des ressources en eau de surface, est considérable dans ces régions situées au sud du Sahel. Le déficit d'écoulement atteint, en effet, près de 45% en général. C'est à dire que, dans cette région et à quelques exceptions près, les volumes qui transitent dans les cours d'eau ont diminué de près de moitié depuis le début de la décennie 1970, ce qui est considérable. Le

**Tableau 1** Ordres de grandeur (en %) de certains déficits d'écoulements annuels calculés depuis la date de rupture observée dans les séries chronologiques et sur la période 1950-1989.

Fleuve ou pays	Déficit d'écoulement (%)
Fleuve Niger (stations du Mali et de Guinée)	40
Fleuve Sénégal (stations du Sénégal et du Mali)	60
Bénin	52
Burkina	48
Centrafrique	29
Côte d'Ivoire	47
Guinée	39
Tchad	47
Togo	44

décalage quantitatif qui semble exister entre les déficits pluviométriques et hydro-métriques pourrait être lié à un déficit d'alimentation des cours d'eau par les nappes phréatiques (Mahé & Olivry, 1995). Les conditions pluviométriques persistantes, l'augmentation progressive des coefficients de tarissement et la dégradation continue du niveau des nappes ne permettant pas à la relation "nappe-rivière" de fonctionner comme avant 1970.

## CONCLUSION

Comme on vient de le montrer, les régions situées au sud du Sahel ont également subi une variabilité climatique. Les régions dites "humides" d'Afrique de l'Ouest et Centrale ont vu leur régime hydrologique (pluie et cours d'eau) modifié depuis plus de 25 ans maintenant.

Sur l'ensemble de la zone étudiée, les régimes pluviométriques ont subi d'importantes modifications qui se traduisent par des diminutions de hauteurs annuelles précipitées pouvant atteindre 20 à 25%. Cette baisse des précipitations affecte chaque mois qu'il soit de saison sèche ou humide. On constate également, dans bon nombre de zones de savane, une tendance à passer d'un régime climatique "guinéen" à un régime "soudanien" plus sec.

Les régimes hydrométriques ont également subi de profondes modifications. Dans toute la zone étudiée, les volumes écoulés ont considérablement diminué, cette baisse atteignant près de 45% en moyenne et plus de 60% par endroits. Une étude complète est actuellement en cours qui s'intéresse aux manifestations de ces modifications: basses eaux, hautes eaux, tarissement, etc.

Du point de vue de la ressource et de son utilisation, de telles modifications ne sont pas sans conséquences. L'agriculture, l'alimentation des retenues et la production hydro-électrique, entre autres, sont fortement pénalisées par cette diminution des ressources.

Les conséquences de ce phénomène sont donc très inquiétantes en ce qui concerne le bon fonctionnement et la rentabilité des projets déjà réalisés ou envisagés. Si la carence pure et simple n'est pas à craindre dans ces régions situées au sud du Sahel, où les quantités précipitées restent importantes dans l'absolu, les effets de cette variabilité climatique peuvent, malgré tout, se révéler désastreux, en ce sens qu'ils modifient les données d'un équilibre déjà souvent mis à mal par ailleurs.

**Remerciements** Les auteurs remercient MM. A. Aka, J. F. Boyer, B. Marieu, M. Ouedraogo et M. Travaglio pour leur contribution à la réalisation de cette étude.

## REFERENCES

- Demarrée, G. (1990) An indication of climatic change as seen from the rainfall data of a Mauritanian station. *Theor. Appl. Climatol.* **42**, 139-147.
- Eldin, M. (1971) Le climat. In: *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire* (Avenard et al.), Mémoires ORSTOM no. 50, ORSTOM, Paris.
- Hubert, P. & Carbonnel, J. P. (1987) Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'ouest. *J. Hydrol.* **95**, 165-183.
- Hubert, P., Carbonnel, J. P. & Chaouche, A. (1989) Segmentation des séries hydrométriques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest. *J. Hydrol.* **110**, 349-367.
- Mahé, G. & Olivry, J. C. (1991) Changements climatiques et variations des écoulements en Afrique occidentale et centrale du mensuel à l'interannuel. In: *Hydrology for the Water Management of Large River Basins* (Proc. Vienna Symp., August 1991) (ed. by F. H. M. van de Ven, D. Gutknecht, D. P. Loucks & K. A. Salewicz), 163-172. IAHS Publ. no. 201.
- Mahé, G. & Olivry, J. C. (1995) Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'ouest et centrale de 1951 à 1989. *Sécheresse* **1**(6), 109-117.
- Nicholson, S. E., Kim, J. & Hoopingarner, J. (1988) *Atlas of African Rainfall and Its Interannual Variability*. Department of Meteorology, Florida State University, Tallahassee, Florida, USA.
- Olivry, J. C., Bricquet, J. P. & Mahé, G. (1993) Vers un appauvrissement durable des ressources en eau de l'Afrique humide. In: *Hydrology of Warm Humid Regions* (Proc. Yokohama Symp., July 1993) (ed. by J. S. Gladwell), 67-78. IAHS Publ. no. 216.
- Paturel, J. E., Servat, E., Kouamé, B., Lubès, H., Ouedraogo, M. & Masson, J. M. (1996) Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. 2. An integrated regional approach. (Accepté pour publication à *J. Hydrol.*)
- Servat, E., Paturel, J. E., Lubès, H., Kouamé, B., Ouedraogo, M. & Masson, J. M. (1996) Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. 1: Detailed analysis of the phenomenon in Côte d'Ivoire. (Accepté pour publication à *J. Hydrol.*)
- Sircoulon, J. (1987) Variation des débits des cours d'eau et des niveaux des lacs en Afrique de l'ouest depuis le début du vingtième siècle. In: *The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources* (Proc. Vancouver Symp., August 1987) (ed. by S. I. Solomon, M. Beran & W. Hogg), 13-25. IAHS Publ. no. 168.
- Sutcliffe, J. V. & Knott, D.G. (1987) Historical variations in African water resources. In: *The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources* (Proc. Vancouver Symp., August 1987) (ed. by S. I. Solomon, M. Beran & W. Hogg), 463-475. IAHS Publ. no. 168.