

## Variabilité des régimes hydrologiques des cours d'eau de la bande méridionale du plateau sud-camerounais

LUC SIGHA-NKAMDJOU, DANIEL SIGHOMNOU,  
GASTON LIENOU, GASPARD AYISSI, J. PIERRE BEDIMO

*Centre de Recherches Hydrologiques, IRGM, BP 4110, Yaoundé, Cameroun*  
e-mail: sighthomno@camnet.cm

EMMANUEL NAAH

*Hydrologue Régional de l'UNESCO, BP 30592, Nairobi, Kenya*

**Résumé** L'étude porte sur la zone forestière équatoriale du plateau sud-camerounais, drainée à l'ouest par le Nyong et le Ntem, fleuves côtiers, et à l'est par le Dja et la Boumba, affluents du fleuve Congo. La pluie moyenne a été évaluée à 1650 mm sur l'ensemble de la zone. Une période de faible hydraulicité s'observe avant 1960, suivie d'une séquence humide interrompue dès 1972 par une séquence sèche. Globalement, depuis 1985, la tendance est normale à humide, contrairement aux bassins soudano-sahéliens où les écoulements ont continué à diminuer en dépit des précipitations excédentaires. Les débits d'étiage et le tarissement ont peu varié sur les bassins strictement forestiers. Sous forêt dégradée, on a observé une accélération de la vidange des nappes à partir de 1983. La sécheresse qui sévit en Afrique depuis trois décennies paraît moins marquée en milieu forestier équatorial, probablement en raison du rôle régulateur de la forêt sur les régimes hydroclimatiques.

### INTRODUCTION

De par sa forme étirée depuis l'équateur jusqu'au lac Tchad, le Cameroun est soumis à deux grands ensembles climatiques—le climat tropical humide dans sa bande méridionale et le climat soudano-sahélien, dans sa partie septentrionale—séparés par le climat intermédiaire du plateau de l'Adamaoua. Si la modification des régimes hydrologiques caractérisée par une faible hydraulicité a fait l'objet de nombreux travaux en zone soudano-sahélienne (Mahé & Olivry, 1991; Olivry *et al.*, 1993; Bricquet *et al.*, 1996; Sighthomnou *et al.*, 1997), elle a été très peu étudiée en milieu forestier équatorial (Sigha-Nkamdjou, 1994; Bricquet *et al.*, 1997). Pourtant, cette zone a été également affectée par la diminution des ressources en eau, avec un paroxysme en 1983–1984. Cette note porte sur la variabilité des ressources en eau de quatre bassins forestiers équatoriaux (Nyong à Mbalmayo: 13 500 km<sup>2</sup>; Ntem à Ngoazik: 18 100 km<sup>2</sup>; Boumba à Biwala: 10 310 km<sup>2</sup> et Dja à Somalomo: 5473 km<sup>2</sup>) du plateau sud-camerounais. Les observations sur ces cours d'eau ont été régulièrement effectuées d'abord par l'ORSTOM, ensuite par le Centre de Recherches Hydrologiques du Cameroun, depuis la décennie 1950 (sauf à Biwala sur la Boumba) jusqu'en 1987, date à laquelle elles ont été interrompues avant d'être reprises de 1989 à 1992 dans le cadre

de l'étude hydrochimique de la Ngoko (Sigha-Nkamdjou, 1994). Dans cet article, après une brève caractérisation des bassins versants et une présentation des données, l'étude s'appuiera sur l'analyse des modules et des étiages.

## SITUATION DES BASSINS ET ENVIRONNEMENT PHYTOGEOGRAPHIQUE

L'étude porte sur la bande méridionale du plateau sud-camerounais, délimitée par les latitudes 1°30' et 5°N et les longitudes 8°30'E et 16°10'E. Cette zone constitue le domaine camerounais de la forêt équatoriale dense humide ou "moist forest". Sa partie occidentale est drainée principalement par deux fleuves côtiers, le Nyong et le Ntem et sa partie orientale par la Boumba et le Dja qui s'unissent à Moloundou pour former la Ngoko, tributaire exclusivement forestier de la Sangha qui est l'un des principaux affluents rive droite du fleuve Congo (Fig. 1).

Le Dja, la Boumba et le Nyong prennent naissance au voisinage de la ville d'Abong-Mbang à environ 700 m d'altitude tandis que le Ntem prend la sienne à 1100 m d'altitude au Gabon. La pente moyenne est faible (inférieure à 1‰) sur les trois premiers bassins. Elle est plus forte (2.69‰) sur le Ntem à Ngoazik. Le substratum est constitué de granites calco-magnésiens, des gneiss et des micashistes. Les sols qui en dérivent sont des sols ferrallitiques sur les versants et les sols hydromorphes dans les bas-fonds où le niveau de la nappe phréatique est élevé pendant toute l'année. Les bassins étudiés se rattachent au domaine de la forêt congolaise toujours verte. D'après Letouzey (1986), celle-ci reste quasiment intacte sur les versants de la Boumba et du Dja, avec dans les bas-fonds la forêt ombrophile périodiquement inondée; par contre, le phénomène d'anthropisation est très avancé sur les bassins du Nyong et du Ntem.

## ENVIRONNEMENT CLIMATIQUE

La zone d'étude est soumise au climat équatorial de transition. La répartition des saisons résulte globalement du phénomène bien connu de la circulation de deux masses d'air atmosphériques, la Mousson et l'Harmattan, qui se fait de l'équateur vers les pôles et *vice versa*. On distingue quatre saisons dans l'année: une grande saison sèche de décembre à mars, caractérisée par une atmosphère chargée de poussières sahariennes amenées par l'Harmattan; une petite saison des pluies de mars à juillet; une petite saison sèche de la mi-juillet à la mi-septembre et une grande saison de pluies de septembre à novembre.

La pluviosité (cf. isohyètes interannuelles de la Fig. 1) décroît très rapidement de la façade atlantique (10 000 mm à Debundscha au pied du Mont Cameroun) vers les confins du pays à l'est (1380 mm à Moloundou) en passant par Douala (4000 mm) et Kribi (3000 mm). Elle diminue aussi mais de manière plus régulière de l'équateur (1700 mm à Ambam/Ngoazik) vers la partie septentrionale du pays (600 mm à Kousséri).

La présence de la forêt joue un rôle sur le mouvement des masses d'air. La température moyenne est de 25°C. En empêchant tout réchauffement excessif, la forêt



oppose un obstacle aux advections d'air sec d'origine saharienne et participe ainsi à l'élaboration de la masse d'air dite équatoriale dont l'humidité permanente génère les pluies en toute saison, quelle que soit la distance par rapport à la mer (Leroux, 1983; cité par Suchel, 1987). D'après Suchel (1987), dans cette région forestière, l'état hygrométrique de l'air n'est jamais éloigné de la saturation, ce qui limite l'évaporation dont les valeurs plafonnent à peu près partout à 750 mm tandis que l'évapotranspiration potentielle oscille autour de 1200 mm.

## VARIABILITE DES REGIMES HYDRO-PLUVIOMETRIQUES

### Les régimes saisonniers

L'étude des régimes saisonniers a porté sur les lames précipitées et écoulées moyennes mensuelles normalisées par rapport à leur valeur interannuelle (en année hydrologique; elle débute le 1<sup>er</sup> avril et s'achève le 31 mars de l'année suivante). Si sur l'ensemble de la zone 30% du volume d'eau précipité annuellement sont enregistrés en septembre–octobre, c'est en octobre–novembre qu'on observe le volume écoulé correspondant (35% du volume annuel écoulé). On en déduit que les variations saisonnières des débits sont calquées sur celles des précipitations, mais avec un différé d'un mois en hautes eaux. Les étiages sont enregistrés sur tous les bassins en février–mars dont les apports contribuent pour 6% aux volumes écoulés annuels, sauf à Ngoazik sur le Ntem où l'étiage d'août est légèrement plus accentué que celui de février (2.94% contre 3.07%). Cette particularité du Ntem à Ngoazik s'explique par sa position plus équatoriale.

### Le bilan hydrologique

Sur la période de référence (1950–1991), les modules manquants ont été calculés au moyen des corrélations entre les différentes stations. Les lacunes des hauteurs pluviométriques ont été complétées à partir de celles homogénéisées par Mahé (1993) sur la période 1951–1989. La pluie moyenne sur les bassins a été calculée par la méthode de Thiessen. En moyenne, pour une lame d'eau précipitée d'environ 1600 mm, la lame d'eau écoulée est de l'ordre de 350 mm sur l'ensemble des bassins; le déficit d'écoulement (1250 mm) est comparable à l'évapotranspiration potentielle.

A l'échelle des quatre décennies, celles de 50 et 80 sont proches de la normale sauf à Ngoazik où elles sont légèrement déficitaires de 5% et à Mbal Mayo où la décennie 80 l'est de 4%. La décennie 60 est humide alors que celle de 70 est sèche. Les coefficients d'écoulement par décennie sont proches de la moyenne interannuelle qui est de l'ordre de 20% sur le Nyong, le Dja et la Boumba et de 25% sur le Ntem, sauf pour la décennie 60 où ils sont plus élevés, soulignant son caractère plus humide.

### Évolutions interannuelles des précipitations et des écoulements

Notre analyse de l'évolution des précipitations porte sur la variable centrée réduite (rapport de l'écart à la moyenne sur l'écart type) des moyennes pluviométriques calculées sur chaque bassin versant. La Fig. 2(a) illustre l'ensemble des résultats. Elle

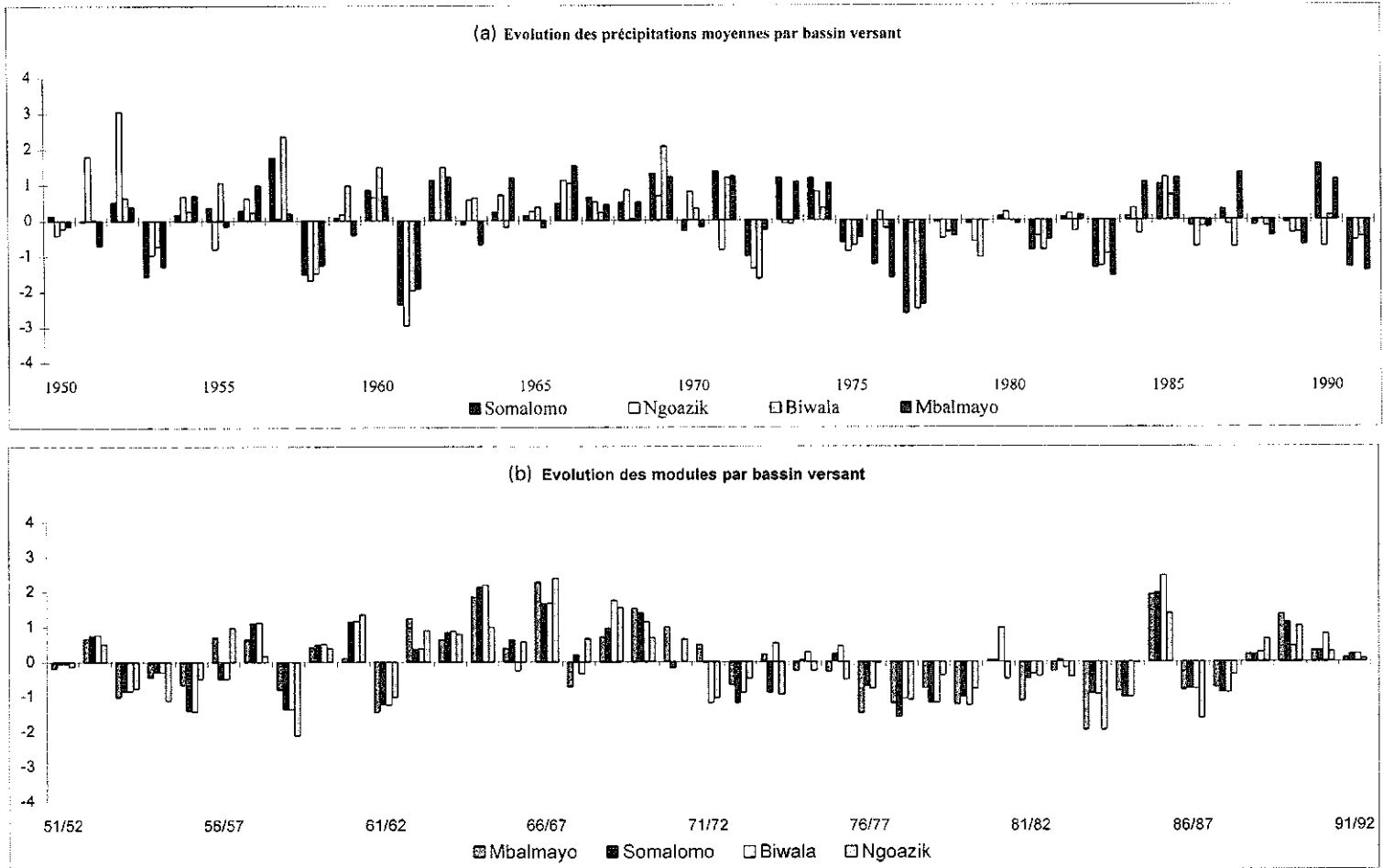


Fig. 2 Evolution (a) des précipitations moyennes et (b) des modules par bassin versant de 1950 à 1992 (variables centrées réduites).

montre une période humide de 1950 à 1974 perturbée par quatre années déficitaires non consécutives. Elle est suivie par une séquence sèche interrompue en 1985 par une année excédentaire et depuis, la tendance est normale à humide. L'année 1977 est la plus sèche.

Les écoulements générés par ces précipitations sont étudiés à partir des modules des principaux cours d'eau calculés en année hydrologique et ramenés aux écarts réduits sur l'ensemble des quatre bassins. Les résultats sont représentés sur la Fig. 2(b). Quatre séquences principales se dégagent de cette figure: la première, qui va de 1950 à 1962, est marquée par une alternance des années humides et sèches; la seconde, qui s'étend de 1963 à 1971, est humide; elle est suivie par une séquence sèche qui va jusqu'en 1984, avec un débit minimum absolu en 1983–1984. Depuis lors, on observe une séquence moyenne à humide. Cette évolution suit, mais de façon plus marquée, celle des précipitations et permet de mieux apprécier la sécheresse qui sévit en Afrique depuis la décennie 70. Les écoulements sont sensibles à la baisse pluviométrique enregistrée dès 1972 et en dépit des deux années de pluviométrie excédentaire qui la suivent, les écoulements restent déficitaires jusqu'à l'année pluvieuse 1985. Toutefois, cette diminution reste moins importante que celle des régions soumises au climat tropical sec. En effet, elle est de 5 à 10% contre 15 à 25% en milieu soudano-sahélien (Bricquet *et al.*, 1997). Le couvert végétal dense et la régularité des pluies ont largement contribué à préserver la nappe phréatique et soutenir les écoulements de base.

### Evolution des étiages et du tarissement

Aux deux saisons sèches de notre zone d'étude correspondent deux périodes de basses eaux de comportement différent suivant les bassins versants. L'analyse des dates d'apparition des étiages absolus montre que dans 75 à 95% des cas ils surviennent en février et mars sur le Dja à Somalomo et le Nyong à Mbalmayo contre 61% de cas entre le 21 mars et le 30 avril sur la Boumba à Biwala. A l'inverse de ces bassins, plus de 52% des débits d'étiage absolu du Ntem à Ngoazik ont été observés en août. Ce décalage est en accord avec les faibles hauteurs pluviométriques de la petite saison sèche qui est plus marquée sur ce bassin, du fait de sa situation plus équatoriale.

En raison de la particularité du Ntem à Ngoazik soulignée ci-dessus, nous limiterons l'examen de l'évolution annuelle des débits d'étiage aux stations de Mbalmayo (Nyong), Somalomo (Dja) et Biwala (Boumba). Elle est représentée sur la Fig. 3(a). En dehors des valeurs élevées observées de 1962 à 1964 et du minimum minimorum enregistré en 1983, les débits d'étiage des trois cours d'eau ont très peu varié. On en déduit que les déficits pluviométriques ont peu affecté les réserves souterraines en milieu forestier sud-camerounais.

La décroissance régulière des débits en fonction du temps résultant de l'épuisement progressif des nappes souterraines suit une loi de type exponentiel définie par Maillet dès 1902. Elle correspond, en régime non influencé, à la courbe de tarissement dont l'expression simplifiée est la suivante:

$$Q_t = Q_0 e^{\alpha(t-t_0)}$$

dans laquelle  $Q_t$  et  $Q_0$  sont les débits respectifs aux temps  $t$  et  $t_0$  et  $\alpha$  le coefficient de tarissement exprimé en ( $t^{-1}$ ). Sur chaque bassin, les coefficients de tarissement ont été

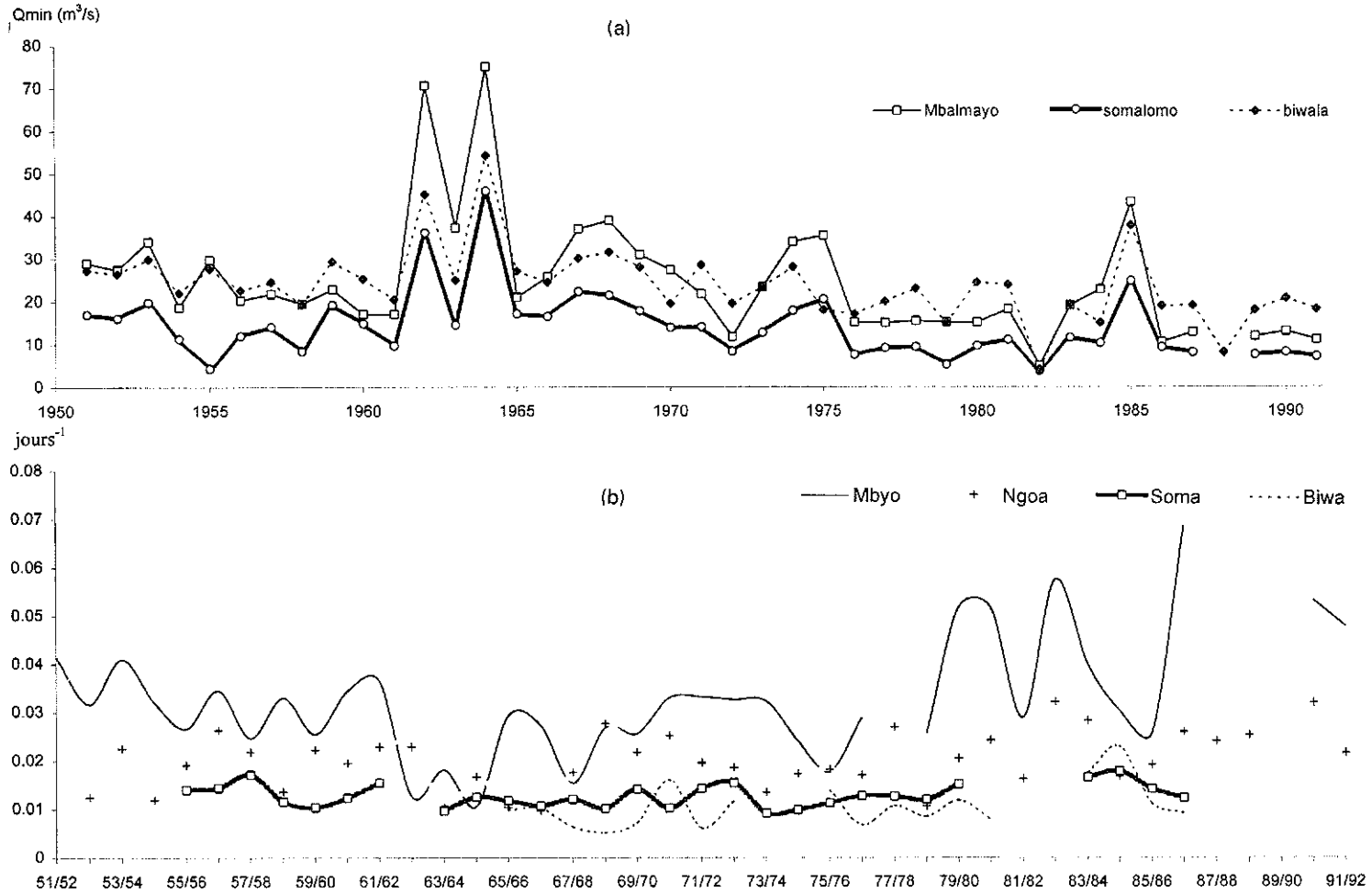


Fig. 3 Evolution (a) des étiages et (b) du tarissement.

déterminés de l'origine des observations à 1992 (avec des lacunes de 1987 à 1990). Ils sont représentés sur la Fig. 3(b). Sur le Nyong à Mbalmayo et le Ntem à Ngoazik, bassins sous forêt dégradée, les coefficients de tarissement évoluent dans le même sens. Globalement constants jusqu'en 1976, ils augmentent à partir de l'année sèche 1977. La valeur maximale (0.07 jour<sup>-1</sup>) est atteinte en 1987/1988 et depuis, la tendance est à la baisse. A l'inverse, le Dja et la Boumba qui drainent des bassins sous forêt dense ont des coefficients de tarissement quasiment constants (0.01 jour<sup>-1</sup>) sur toute la période d'observation. Les fortes valeurs des coefficients de tarissement du Nyong et du Ntem et leur accroissement à partir de 1977 seraient liés non seulement à la baisse de la pluviosité, mais aussi à la forte pression humaine qui s'exerce sur ces bassins.

## CONCLUSION

Au cours de la période de référence (1950–1991) de notre étude, le domaine forestier sud-camerounais a enregistré un déficit pluviométrique de 1975 à 1984 de l'ordre de 5%. Sur la même période, les écoulements ont diminué de l'ordre de 10%. La reprise de la pluviosité en 1985 s'est immédiatement accompagnée de celle des écoulements. On peut donc dire qu'à l'opposé du domaine soudano-sahélien, l'effet mémoire de la nappe souligné par Olivry et al. (1995) sur les bassins de cette région ne se ressent pas sur ceux de l'Afrique équatoriale. Le tarissement et les débits d'étiage ont très peu varié sur les bassins sous forêt dense du Dja et de la Boumba. Sur le Nyong à Mbalmayo en particulier, les activités anthropiques pourraient expliquer l'augmentation des coefficients de tarissement à partir de 1983. En définitive, dans le contexte de la péjoration climatique de l'Afrique tropicale, les bassins forestiers sud-camerounais ont été moins affectés par la sécheresse qui sévit depuis bientôt trois décennies que ceux de la région soudano-sahélienne.

## REFERENCES

- Bricquet, J. P., Mahé, G., Bamba, F. & Olivry, J. C. (1996) Changements climatiques récents et modification du régime hydrologique du fleuve Niger à Koulikoro (Mali). In: *L'Hydrologie Tropicale: Géoscience et outil pour le développement* (éd. par P. Chevallier & B. Pouyaud) (Mélanges à la mém. J. Rodier), 157–166. IAHS Publ. no 238.
- Bricquet, J. P., Bamba, F., Mahé, G., Touré, M. & Olivry, J. C. (1997) Evolution récente des ressources en eau de l'Afrique Atlantique. *Rev. Sci. Eau* no. 3, 10, 321–337.
- Letouzey, R. (1986) *Etude phytogéographique du Cameroun*. Lechevallier, Paris, France.
- 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*. (éd. by F. H. M. van De Ven, D. Gutrecht, D. P. Loucks & K. A. Salewitz), 163–172. IAHS Publ. no. 201.
- Mahé, G. (1993) *Les écoulements fluviaux de la façade atlantique de l'Afrique. Etude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle. Analyse des situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes*. Coll. Etudes et Thèses. ORSTOM Paris, France.
- Olivry, J. C., Bricquet, J. P. & Mahé, G. (1993) Vers un appauvrissement durable des ressources en eau de l'Afrique humide? In: *Hydrology in Warm Humid Regions*. (éd. by J. S Gladwell)(Proc. Yokohama Symp.), 67–78. IAHS Publ. no. 216.
- Olivry, J. C., Bricquet, J. P. & Mahé, G. (1995) Les études de PEGI sur le bassin du Congo-Zaïre dans le contexte déficitaire des ressources en eau de l'Afrique Humide. *Actes du colloque PEGI, INSU-CNRS-ORSTOM*, 3–12. Paris, France.
- Sigha-Nkamdjou, L. (1994) Fonctionnement hydrochimique d'un écosystème forestier de l'Afrique Centrale: La Ngoko à Moloundou (sud-est du Cameroun). Thèse Doc. Uni Paris XI (Orsay), Coll. TDM no. 111, ORSTOM, Paris, France.
- Sighonnou, D., Sigha-Nkamdjou, L. & Molinier, M. (1997) Pertubaço no meio natural do Yaere no Norte dos Camaroes: mudanças climáticas ou ação antropica? *XII Simposio Brasileiro de Recursos Hidricos*, 399–406.
- Suchel, J. B. (1987) Les climats du Cameroun. Thèse Doc. d'Etat, Univ. Bordeaux III, France.