

Changements des régimes hydrologiques des rivières du sud-Cameroun: un impact de la variabilité climatique en zone équatoriale

**GASTON LIENOU¹, GIL MAHE²,
 JEAN-EMMANUEL PATUREL², ERIC SERVAT²,
 HELENE LUBES-NIEL², DANIEL SIGHOMNOU³,
 GEORGES EMMANUEL EKODECK¹ & ALAIN DEZETTER²**

¹ *Université de Yaoundé I, Département des Sciences de la Terre, c/o IRD BP 1857 Yaoundé, Cameroun*
liengast@yahoo.fr

² *IRD, UMR HydroSciences Montpellier, BP 64 501, F-34394 Montpellier Cedex 5, France*

³ *Centre de Recherches Hydrologiques, BP 4110 Yaoundé, Cameroun*

Résumé Des données de pluie et de débit ont été collectées et mises à jour en zone équatoriale camerounaise, notamment pour la décennie 1990. A travers des représentations graphiques et l'application de tests statistiques de détection de rupture, l'analyse a porté sur des totaux pluviométriques, des débits et des coefficients d'écoulements, aux pas de temps mensuel, saisonnier et annuel. Les résultats montrent que les valeurs annuelles de pluie et débit ont diminué lors des phases aigües de sécheresse (1972–73, 1983–84). La variabilité climatique la plus significative résulte des modifications des pluies des "saisons sèches" qui induisent une tendance à un changement à long terme du déroulement du cycle hydrologique annuel. La diminution de la pluviométrie de la "saison sèche" d'hiver boréal (décembre à février) crée un déficit hydrique plus important qui entraîne une baisse des coefficients d'écoulement de la saison des pluies de printemps boréal (mars à juin). Inversement, l'augmentation des écoulements en automne (septembre à novembre), alors que la pluviométrie correspondante a peu varié, tient probablement au fait que les pluies de la "saison sèche" d'été (juillet et août) sont plus élevées depuis quelques décennies, ce qui entretient vraisemblablement une humidité du sol plus élevée favorable au ruissellement au début de la crue d'automne.

Mots clefs changement climatique; climat équatorial; séries chronologiques; sud Cameroun

Changes in the hydrological regime of the rivers of southern Cameroun: an impact of climate variability in the equatorial zone

Abstract Rainfall and flow data were collected and updated in equatorial Cameroon, notably for the 1990s. Rainfall, runoff and runoff coefficients were analysed at different time-scales: monthly, seasonal and annual, using graphical and statistical techniques to identify trends and changes in time series. The results show that the annual rainfall and runoff values declined during the acute drought periods of 1972–1973 and 1983–1984. The most significant climatic variation resulted from rainfall change during dry seasons, which over the long term induce a tendency for change to the regime of the annual hydrological cycle. The reduction of rainfall during the boreal winter dry season (December–February), creates an more important hydrological deficit that leads to lower runoff coefficients during the boreal spring rainfall (March–June). Conversely, the enhancement of flows during autumn (September–November), while the autumn rainfall does not significantly change, is probably linked to the increase of rainfall during the summer dry

season (July–August) for several decades, which keeps the soil more humid and favours runoff at the beginning of the autumn flood.

Key words Cameroon; climatic change; equatorial climate, time series

INTRODUCTION

Les conséquences souvent tragiques de la baisse persistante de la pluviométrie et des écoulements, sur les économies des pays en développement en Afrique de l'ouest et Centrale justifient l'intérêt constant porté sur l'analyse des changements climatiques. Même dans les régions équatoriales dites "humides", la sécheresse se fait ressentir, avec cependant un léger décalage dans le temps. La sécheresse constatée en Afrique humide, dont le climat est notamment tributaire de la façade atlantique, présente quelques analogies avec le domaine soudano-sahélien (Olivry *et al.*, 1993; Bricquet *et al.*, 1997; Servat *et al.*, 1999).

Cette zone équatoriale est un milieu hydrologiquement très contrasté (Mahé, 1993), avec une grande variabilité interannuelle des précipitations et un fort gradient de pluie annuelle entre la côte et l'intérieur (3000–1500 mm) (Fig. 1). Ce gradient est lié à la complexité du système océan-atmosphère qui génère les précipitations, complexité due à sa position à cheval sur les deux hémisphères. Pour ces différentes raisons, la variabilité du climat équatorial demeure mal connue.

Nous proposons une étude complète des variations des pluies et des écoulements sur trois bassins versants en climat équatorial camerounais. La décomposition du régime hydropluviométrique annuel en saisons des pluies et en "saisons sèches" permet de montrer que la variabilité la plus importante est enregistrée durant les "saisons sèches" (hiver et été boréal) et que cette variabilité constitue un signal déterminant de l'évolution des écoulements au cours des saisons des pluies (printemps et automne boréal).

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE, DES DONNEES ET DES METHODES

Cette étude porte sur le plateau sud-camerounais, approximativement entre le deuxième et le quatrième parallèle Nord, à la bordure septentrionale du grand massif forestier de la cuvette congolaise. Cette région est drainée par un ensemble de fleuves côtiers comme la Kienké (1435 km² à Kribi), le Nyong (13 555 km² à Mbalmayo) et le Ntem (18 100 km² à Ngoazik).

Par sa position près de l'équateur, le régime climatique équatorial y est régi essentiellement par la mousson atlantique qui s'engouffre dans le golfe de Guinée, entraînant un renforcement des précipitations sur la côte (Fig. 1). Les précipitations annuelles y dépassent fréquemment 3000 mm mais diminuent rapidement vers l'intérieur du continent. Cette diminution est due à l'altération du flux de mousson qui est renforcée par l'effet restrictif de quelques massifs dépassant 1000 m sur le plateau (Suchel, 1987).

Les données de pluies sont issues de la banque de données de la météorologie nationale du Cameroun et du Gabon. Les stations pluviométriques sont observées

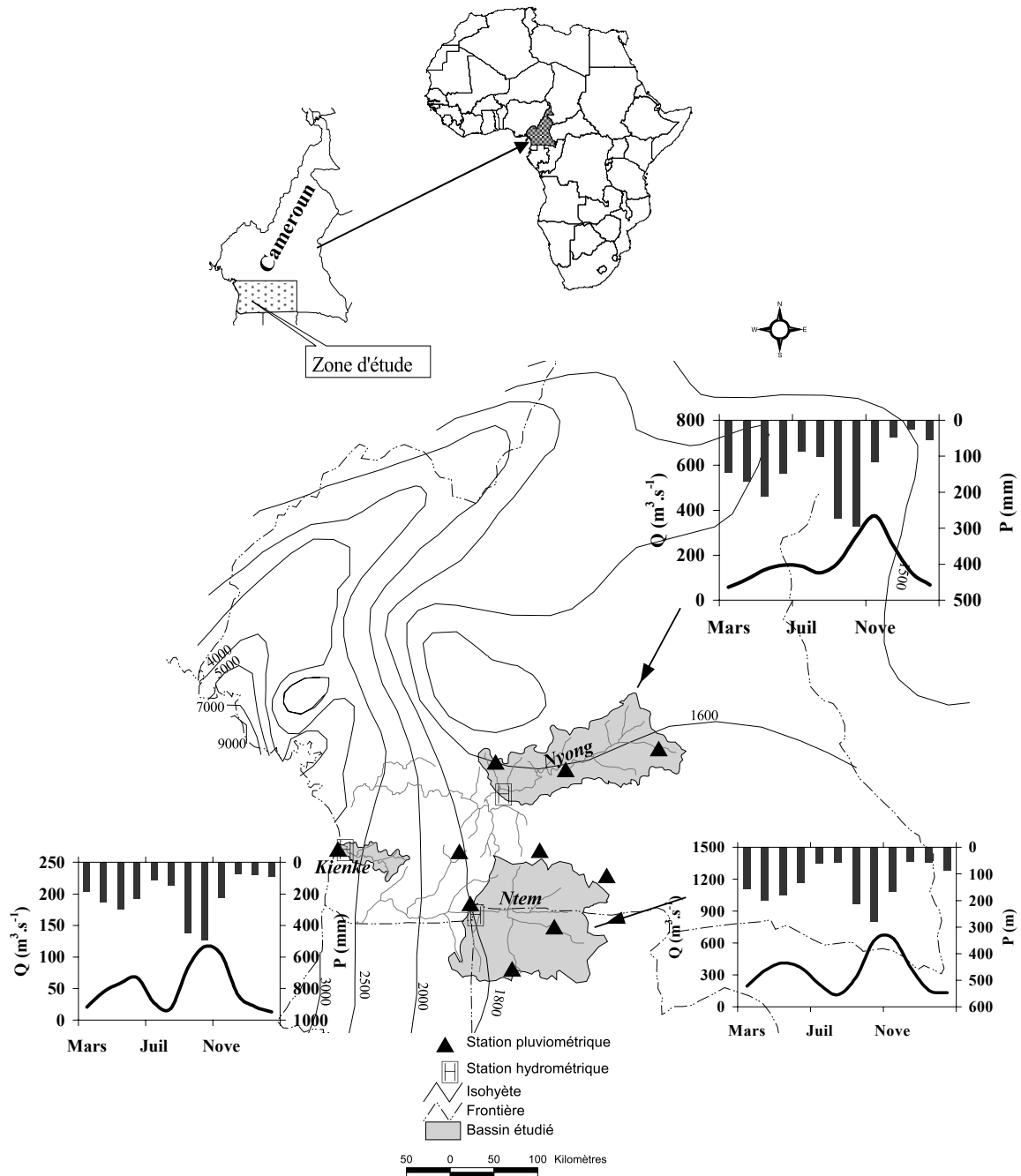


Fig. 1 Profils saisonniers des pluies et des écoulements sur trois bassins du sud-Cameroun.

parfois depuis 1930. Mais nous n'avons retenu que la période 1950 à 2000, pendant laquelle nous disposons des données de débit. Les pourcentages de lacunes sont faibles, inférieurs à 10% pour toutes les stations. Les données de débit n'ont pas pu être entièrement complétées à partir de 1988, malgré des tentatives de reconstitution, et, donc, les séries sont lacunaires à partir de cette année. L'étude pluviométrique couvre globalement la période 1950–2000 alors que l'étude des écoulements s'est limitée globalement à la période 1950–1987.

A travers des représentations graphiques et l'application de tests statistiques de détection de rupture (corrélation sur le rang et test de Pettitt (Lubès *et al.*, 1998), l'analyse a porté sur des totaux pluviométriques, des débits et des coefficients d'écoulements, à différent pas de temps: mensuel, saisonnier et annuel.

Les pluies moyennes mensuelles sont calculées sur chaque bassin versant et pour chaque mois par la méthode des polygones de Thiessen.

VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE OBSERVEE EN REGION ÉQUATORIALE CAMEROUNAISE

Répartition saisonnière de la pluviométrie annuelle

Le profil des précipitations mensuelles est directement lié aux migrations de la Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT). Le Tableau 1 reflète la répartition des précipitations annuelles en quatre saisons, caractéristique du climat équatorial. Les périodes de mars à juin et de septembre à novembre correspondent respectivement à la première et deuxième saison des pluies avec le maximum principal vers octobre. Les deux saisons des pluies contribuent pour plus de 80% aux précipitations annuelles.

Les deux "saisons sèches" constituent des phases originales du cycle climatique annuel en milieu équatorial: la prédominance de la direction des vents du quadrant sud-ouest traduit l'apport permanent des pluies par la mousson (Suchel, 1987) mais qui sont renforcées par le recyclage de la vapeur d'eau due à la biomasse forestière.

Tableau 1 Répartition saisonnière des précipitations annuelles en mm (1950–2000).

	Décembre à Février	Mars à Juin	Juillet à Août	Septembre à Novembre	Moyenne annuelle
Nyong	88	653	201	648	1590
Ntem	159	675	152	679	1665
Kienké	234	1002	454	1130	2820

Variation temporelle des pluies annuelles et saisonnières

Les comparaisons ont porté sur des séries chronologiques de totaux pluviométriques annuels et saisonniers par application de tests statistiques de tendance (corrélation sur le rang) et de détection de rupture au seuil de 95%.

Sur l'ensemble des trois bassins, l'évolution des précipitations annuelles et des deux saisons des pluies montre une tendance très modérée à la diminution entre les deux décennies 1950 et 1960 et leurs suivantes, en accord avec les observations faites à l'échelle régionale. Cependant les tests ne révèlent aucune modification statistiquement significative. Pour les cinq décennies de 1950 à 1990, les écarts par rapport à la moyenne 1950–2000 sont faibles et atteignent rarement 10% en valeur absolue (Tableau 2).

L'étude des pluies des "saisons sèches" (d'été et d'hiver boréaux) montre, quant à elle, que les quantités précipitées ont varié à partir de la décennie 1970 et, de façon plus accentuée, depuis la décennie 1980. Pendant les décennies 1950 et 1960, les

Tableau 2 Moyennes décennales des précipitations annuelles et celles saisons des pluies, et les écarts par rapport à la moyenne interannuelle sur quelques bassins versants au sud du Cameroun.

Décennie	Pluie annuelle (mm)	Ecart-type	Ecart à la moyenne (%)	Pluie de printemps (mm)	Ecart-type	Ecart à la moyenne (%)	Pluie d'automne (mm)	Ecart-type	Ecart à la moyenne (%)
Nyong									
1950	1559.3	107.8	-2.2	677.1	198.8	3.9	650.6	57.8	-0.2
1960	1677.6	204.1	5.2	674.4	124.9	3.5	686.2	77.6	5.2
1970	1573.6	203.4	-1.3	657.9	117.8	0.9	626.5	72.2	-3.9
1980	1572.2	194.7	-1.4	629.7	106.8	-3.4	646.6	87.4	-0.8
1990	1592.3	132.8	-0.2	619.7	69.9	-4.9	650.6	71.8	-0.2
Kienké									
1950	2989.0	486.5	8.3	1141.0	351.9	14.0	1260.2	277.9	10.9
1960	2814.0	355.8	2.0	1025.5	118.8	2.4	1237.1	255.0	8.9
1970	2648.3	378.5	-4.0	975.2	141.7	-2.6	1165.4	265.3	2.6
1980	2464.4	489.4	-10.7	868.7	243.7	-13.2	1013.0	215.7	-10.8
1990	2878.4	494.8	4.3	995.7	155.9	-0.5	1003.8	198.8	-11.6
Ntem									
1950	1567.2	212.0	-1.7	672.6	106.0	0.3	681.0	78.3	0.5
1960	1699.1	143.5	6.6	712.5	103.9	6.2	737.2	91.0	8.8
1970	1563.2	244.2	-1.9	670.4	110.3	-0.1	661.7	133.2	-2.3
1980	1595.0	169.4	0.1	669.5	70.2	-0.2	669.8	81.4	-1.1
1990	1545.4	243.9	-3.0	628.8	125.2	-6.3	636.9	112.2	-6.0

cumuls des précipitations présentent des fluctuations, traduisant l'irrégularité interannuelle. Entre 1972 et 1981, les pluies de la "saison sèche" d'été connaissent une rupture statistiquement significative se traduisant par une hausse des totaux pluviométriques. C'est le phénomène inverse que l'on observe sur la "saison sèche" d'hiver où les totaux pluviométriques diminuent nettement entre 1975 et 1978 (Fig. 2).

La modification la plus notable s'observe sur le Ntem: avant 1970, la "saison sèche" d'hiver était plus pluvieuse que celle d'été; à partir de 1972-1976, c'est l'inverse.

Sur le Nyong et la Kienké, alors que les totaux pluviométriques saisonniers étaient sensiblement identiques auparavant, ils diffèrent nettement à partir de 1975-1981. La "saison sèche" d'été est dorénavant plus pluvieuse que celle d'hiver.

L'augmentation relative des moyennes des précipitations de la "saison sèche" d'été, de part et d'autre de la rupture détectée, atteint 40% sur le Nyong et 62% sur le Ntem. Sur le bassin de la Kienké, les précipitations ont triplé entre la décennie 1950 et la décennie 1990, passant en moyenne de 250 mm à 750 mm mais les totaux saisonniers très importants des années 1998, 1999 et 2000 biaisent notre calcul.

La diminution relative des moyennes des précipitations de la "saison sèche" d'hiver, de part et d'autre de la rupture détectée, atteint 36% sur la Kienké, 41% sur le Ntem et 48% sur le Nyong.

Ce phénomène est en phase avec les résultats obtenus par Ouedraogo (2001) qui font ressortir dans les zones humides de l'Afrique de l'ouest une augmentation des pluies de la saison sèche (mois d'août), parfois supérieure à 80%. Mais ce qui

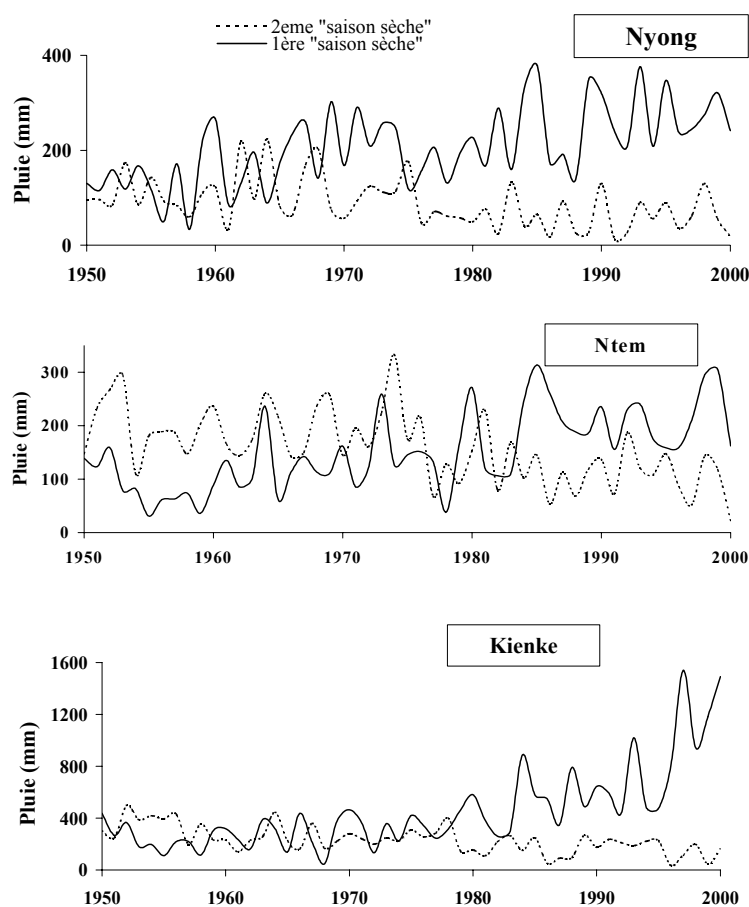


Fig. 2 Evolution de la pluviométrie des “saisons sèches” en zone équatoriale camerounaise sur la période 1950–2000.

différencie ces deux zones concernent les totaux annuels et saisonniers des saisons des pluies: en Afrique Centrale, ces caractéristiques n’ont guère évolué alors qu’en Afrique de l’ouest, les totaux annuels ont baissé significativement, jusqu’à 30% en moyenne (Olivry *et al.*, 1993 ; Bricquet *et al.*, 1997 ; Servat *et al.*, 1999).

Répercussion de la variabilité pluviométrique sur les régimes des écoulements

Les régimes hydrologiques des cours d’eaux équatoriaux sont principalement caractérisés à partir de critères climatologiques. Le schéma des régimes équatoriaux est le suivant: une grande saison sèche pendant l’hiver boréal, une première saison de hautes-eaux, une petite saison sèche, une seconde saison de hautes-eaux. Parfois, la petite saison sèche disparaît, allongeant ainsi la période de hautes-eaux.

Les variables étudiées sont les débits moyens annuels, saisonniers et mensuels, des caractéristiques de hautes-eaux et de basses-eaux et les coefficients d’écoulement.

Les écarts à la moyenne interannuelle des modules annuels révèlent des fluctuations plus ou moins importantes (Tableau 3) mais les différents tests statistiques de détection de tendance et de rupture ne révèlent pas de modification significative

Tableau 3 Moyennes décennales des débits annuels et de ceux des saisons des pluies, et les écarts par rapport à la moyenne interannuelle sur quelques bassins versants au sud du Cameroun.

Décennie	Module annuelle ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	Ecart-type	Ecart à la moyenne (%)	Débit de printemps ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	Ecart-type	Ecart à la moyenne (%)	Débit d'automne ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	Ecart -type	Ecart à la moyenne (%)
Nyong									
1950	144.3	19.7	-2.3	103.3	39.1	7.4	229.6	49.9	-10.7
1960	165.6	32.8	12.1	110.4	37.6	14.8	276.8	39.7	7.7
1970	134.3	25.5	-9.1	88.4	23.8	-8.2	245.7	45.8	-4.4
1980-87	146.5	45.7	-0.8	82.8	37.8	-14.0	276.0	83.2	7.4
1990-91	168.1	27.1	13.8	99.2	38.0	3.1	314.3	73.0	22.3
1998-01	134.8	32.7	-8.7	64.3	21.1	-33.2	241.0	52.4	-6.2
Kienké									
1955-59	50.4	11.0	1.6	45.0	18.5	5.8	92.0	19.1	-7.7
1960	51.4	8.9	3.7	48.0	14.3	13.0	101.0	21.0	1.4
1970	49.0	8.3	-1.2	40.8	9.8	-4.0	103.8	15.2	4.2
1980-87	47.9	12.8	-3.3	38.1	7.2	-10.2	99.5	20.8	-0.2
1990-91	49.2	13.6	-0.8	40.5	4.7	-4.6	102.0	12.2	2.4
Ntem									
1953-59	249.8	63.9	-5.5	246.9	92.8	-1.4	412.4	107.1	-11.2
1960	322.2	44.3	21.8	328.4	81.3	31.2	518.0	87.4	11.6
1970	244.1	27.8	-7.7	230.8	58.1	-7.8	444.3	86.9	-4.3
1980	241.6	51.1	-8.6	195.3	55.9	-22.0	482.4	107.4	3.9

dans les chroniques des débits annuels sauf pour le bassin du Ntem où on note un changement autour de l'année 1970. Ces résultats sur les modules annuels sont bien en phase avec ceux obtenus sur les précipitations annuelles.

En revanche, on constate de façon générale pour les trois bassins versants, que la diminution des débits saisonniers de printemps (mars à juin) est importante, alors que les débits saisonniers d'automne (septembre à novembre) ont parfois modérément augmenté (Tableau 3). Les procédures statistiques de détection de rupture et de tendance identifient un changement significatif dans les séries de débits de printemps, survenu entre 1970 et 1975, tandis que celles d'automne n'ont pas changé. Les débits ne sont pas continus pour la décennie 1990, mais les séquences pour lesquelles nous disposons des données s'inscrivent dans cette même logique (Fig. 3).

SYNTHESE

De façon quasi générale sur les trois bassins au sud du Cameroun, la variabilité des pluies et des écoulements présente quelques aspects particuliers: d'une part, la diminution intense des pluies de la "saison sèche" d'hiver et l'augmentation importante des pluies de la "saison sèche" d'été et, d'autre part une baisse des écoulements pendant la saison des pluies de printemps s'opposant à une augmentation des écoulements pendant la saison des pluies d'automne. Des observations similaires ont été faites pour des rivières voisines en territoire gabonais (Mahé *et al.*, 1990), et congolais (Bricquet *et al.*, 1997).

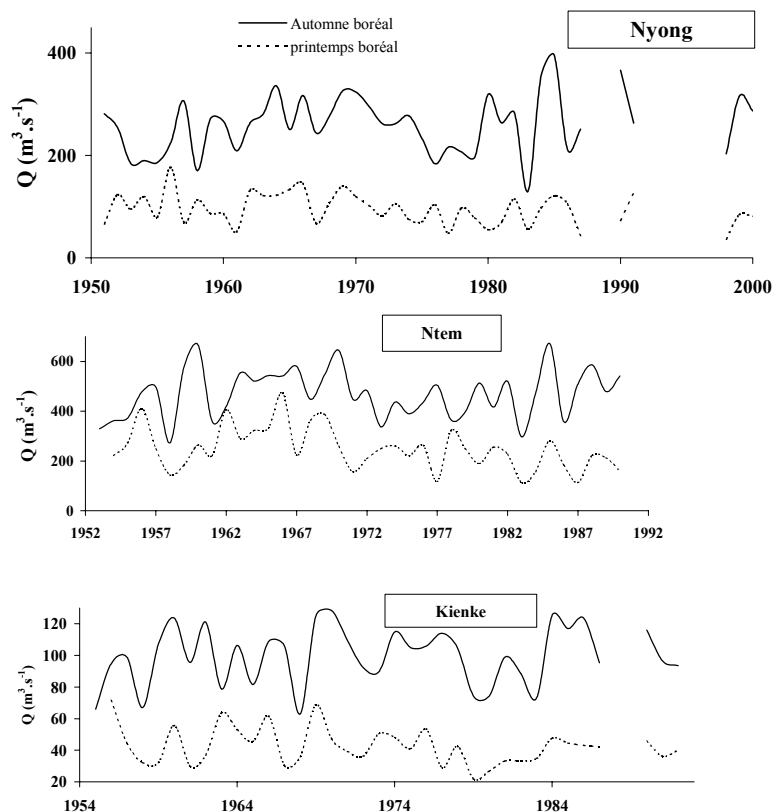


Fig. 3 Evolution des modules saisonniers des crues de printemps et d'automne sur la période 1951-1987.

L'évolution opposée à la baisse des débits de printemps et à la hausse des débits d'automne, découlerait de l'existence de conditions d'écoulement moins favorables au printemps et inversement plus favorables en automne. L'étude des coefficients d'écoulement, rapport de la lame d'eau écoulée à la pluie moyenne, au cours de ces saisons se révèle très instructive. A partir de la fin des années 1970 et début des années 1980, les coefficients d'écoulements augmentent en automne alors que ceux de printemps diminuent (Fig. 4). L'application du test de Pettit aux chroniques des coefficients d'écoulement révèle une rupture intervenue entre 1970 et 1975. Ces résultats ne sont pas en phase avec ceux obtenus sur la pluviométrie saisonnière et nous pousseraient à conclure à une modification très probable de la relation pluie-débit à l'échelle saisonnière.

Plusieurs phénomènes peuvent expliquer la variation sensible du rapport entre les écoulements des deux saisons humides au sud-Cameroun. Mais il semble que les modifications du régime des précipitations, notamment celles des deux "saisons sèches", ont eu un impact prépondérant.

On peut raisonnablement admettre que si la baisse des précipitations de la "saison sèche" d'hiver entraîne un déficit de l'humidité du sol plus important qu'auparavant, les précipitations de la saison des pluies qui suit compensent ce déficit avant de générer un ruissellement. Cela entraîne donc une diminution des écoulements. Inversement, l'augmentation des précipitations de la "saison sèche" d'été maintient une humidité du sol importante qui favorise le ruissellement.

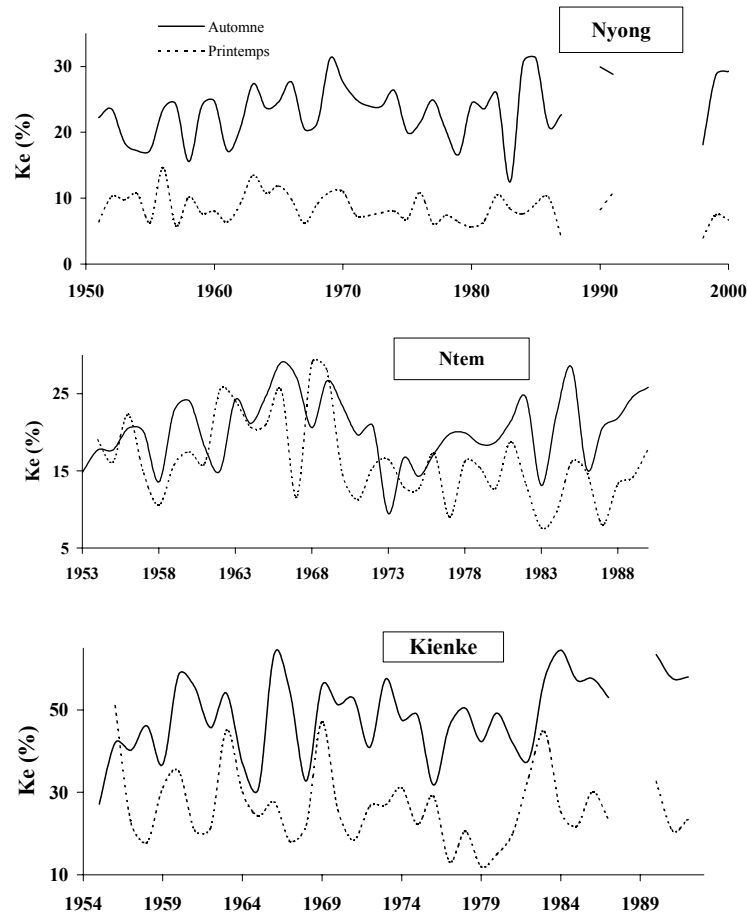


Fig. 4 Evolution des coefficients d'écoulements des crues de printemps et d'automne.

Tableau 4 Ecart par rapport à la moyenne interannuelle des débits mensuels de quelques bassins versants au sud du Cameroun.

Bassin versant	décennie	Printemps:				Automne:		
		mars	avril	mai	juin	septembre	octobre	novembre
Nyong	1950	19.4	11.9	4.4	11.1	-25.1	-13.3	-3.2
	1960	30.9	23.6	18.2	10.2	13.9	4.2	6.9
	1970	-8.8	-9.9	-5.5	-2.8	-5.4	-0.1	-8.1
	1980-87	-18.4	-12.7	-6.8	-13.0	8.9	7.3	5.9
	1990-91	-29.0	4.7	9.9	14.0	38.5	28.1	9.9
1998-01	-38.7	-37.9	-32.9	-24.5	-2.0	-8.9	-6.7	
Kienké	1955-59	61.3	34.9	0.0	-30.8	-22.7	-13.8	10.5
	1960	3.3	14.1	6.2	20.8	-0.9	-4.6	8.2
	1970	-9.4	-10.3	-1.4	-1.6	4.2	11.3	-7.8
	1980-87	-17.3	-16.4	-5.2	-9.8	2.3	0.3	-5.5
	1990-92	-15.2	-15.8	-2.2	3.2	13.0	-4.9	-0.5
Ntem	1954-59	1.6	-2.7	1.7	-2.2	-24.5	-9.9	-9.9
	1960	47.6	40.9	27.4	23.7	19.3	10.9	5.8
	1970	-9.4	-11.0	-5.8	-2.6	-3.3	-5.3	-11.9
	1980	-35.0	-26.4	-15.6	-17.2	7.2	1.2	2.0

Cette hypothèse de l'influence des "saisons sèches" sur les écoulements des saisons des pluies est d'autant mieux vérifiée que le phénomène est plus marqué en début de chaque saison des pluies. La comparaison des écarts par rapport à la moyenne interannuelle des débits mensuels montre, qu'à partir de la décennie 1970, les mois de début de la crue de printemps sont plus déficitaires que les mois de fin et, inversement, en ce qui concerne la crue d'automne (Tableau 4).

CONCLUSION

Au cours de la décennie 1970, un changement important semble survenu dans le déroulement du profil saisonnier des précipitations sur le plateau sud camerounais. Les précipitations de la "saison sèche" d'hiver ont diminué significativement et les précipitations de la "saison sèche" d'été ont augmenté, alors que les cumuls annuels n'ont pas statistiquement varié. Ces changements ont eu des répercussions sur le régime des cours d'eau, qui ont évolué vers une diminution des écoulements de la "saison des pluies" de printemps et une augmentation des écoulements de la "saison des pluies" d'automne.

Alors qu'en zone sahélienne, la décennie 1990 marque une légère reprise de la pluviométrie annuelle, toutefois toujours inférieure à la pluviométrie moyenne sur la période 1950–2000 (Paturel *et al.*, 2002; Ardoïn *et al.*, 2003), les modifications du régime pluviométrique saisonnier en milieu équatorial paraissent s'accroître encore: les écarts observés entre les totaux pluviométriques des saisons sèches d'hiver et d'été sont les plus élevés au cours de la décennie 1990.

L'abondance des précipitations et des écoulements résultant dans les zones humides équatoriales masque cette variabilité des régimes. Pourtant, à long terme, elle est déterminante dans l'évolution floristique et faunistique des forêts équatoriales. Malgré la constance de leur couverture végétale, les forêts équatoriales pourront connaître de nombreuses disparitions et/ou mutations d'espèces du fait de la sélection et/ou de l'adaptation aux nouvelles conditions climatiques.

REFERENCES

- Ardoïn, S., Lubès-Niel, E., Servat, E., Dezetter, A., Boyer J. F. (2003) Analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'ouest: caractérisation de la situation de la décennie 1990. In : *Hydrology of Mediterranean and Semiarid Regions* (ed. by E. Servat, W. Najem, C. Leduc & A. Shakeel) (Proc. Symp., Montpellier, April 2003), 223–228. IAHS Publ. 278. IAHS Press, Wallingford, UK.
- Bricquet, J. P., Bamba, F., Mahé, G., Touré, M. & Olivry, J. C. (1997) Evolution récente des ressources en eau de l'Afrique Atlantique. *Revue des sciences de l'eau* **3**, 321–337.
- Lubès, H., Masson, J. M., Paturel, J. E. & Servat, E. (1998) Variabilité climatique et statistique. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Rev. Sci. Eau* **11**(3), 383–408.
- Mahé, G., Lericque, J. & Olivry, J. C. (1990) Le fleuve Ogooué au Gabon. Reconstitution des débits manquants et mise en évidence de variations climatiques à l'équateur. *Hydrol. Continentale* **5**(2), 105–124.
- Mahé, G. (1993) Les écoulements fluviaux sur la façade atlantique de l'Afrique. Etude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle, analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes. Coll. Etudes et Thèses, ORSTOM Editions, 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 of Warm Humid Regions* (ed. by John Stuart Gladwell) (Proc. Symp. Int. Assoc. Meteorol. Atmo. Physics and IAHS, Yokohama, July 1993), 67–78. IAHS Publ. 216. IAHS Press, Wallingford, UK

- Ouedraogo, M. (2001) Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale. Thèse de Doctorat, Université Montpellier II, France.
- Paturel, J. E., Koukponou, P., Ouattara, F., L'Aour, A., Mahé, G. & Cres, F. N. (2002) Variabilité du climat du Burkina Faso au cours de la seconde moitié du XXème siècle. *Sud Sciences Technologie* **8**, 41–49.
- Servat, E., Paturel, J. E., Lubes-Niel, H., Kouame, B., Masson, J. M., Travaglio, M. & Marieu, B. (1999) De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale. *Revue des sciences de l'eau* **12**(2), 363–387.
- Suchel, J. B. (1987) Les climats du Cameroun. Thèse doctorat d'état, Université de Bordeaux III, France.