

Essais de modélisation avec peu de données en Afrique de l'Ouest

JEAN EMMANUEL PATUREL¹, CHRISTOPHE LAROCHE²,
LAWANI MOUNIROU², LAMINE MAR², SANDRA ARDOIN-BARDIN¹,
ALAIN DEZETTER¹, GIL MAHE¹ & ERIC SERVAT¹

¹ UMII, Hydrosiences Montpellier, case MSE, Place E. Bataillon, F-34095 Montpellier cedex 5, France
jean-emmanuel.paturel@msem.univ-montp2.fr

² Groupe EIER-ETSHER, 01 BP 594, Ouagadougou 01, Burkina Faso

Résumé L'idée de trouver une estimation satisfaisante des paramètres d'un modèle sans aucune estimation de débit n'a pour le moment pas abouti. Nous avons exploré une voie différente où l'on exploite à la fois une information régionale qualitative et une information partielle ponctuelle quantitative sur les débits. Les résultats montrent qu'en Afrique de l'Ouest il est possible d'obtenir une estimation fiable des paramètres à partir d'un faible niveau d'information hydrologique.

Mots clefs Afrique de l'Ouest; estimation de paramètres; modèle hydrologique; PUB

Trying to model with little data in West Africa

Abstract It was decided to give up the idea that good estimation of hydrological model parameters can be achieved without runoff data. Another approach has been investigated in which regional information is mixed with local and incomplete runoff information. In western Africa, the results show that using this combination can lead to good parameter estimation even with very little information.

Key words hydrological modelling; parameter estimation; PUB; West Africa

INTRODUCTION

Dans les pays en développement qui sont largement tributaires des ressources en eau, un modèle pluie-débit est particulièrement intéressant puisqu'il peut permettre d'estimer la ressource disponible en vue d'un aménagement mais aussi prévoir l'évolution de cette ressource dans les années ou décennies à venir en le combinant avec des scénarii climatiques.

Cependant, le calage d'un modèle requiert l'existence de séries de débits observés auxquelles on compare les simulations des modèles pour ajuster les valeurs des paramètres et obtenir la meilleure restitution possible du comportement hydrologique du bassin. Il existe cependant de nombreux cas où les données nécessaires pour le calage des modèles peuvent être inexistantes. L'opération devient alors problématique et des méthodes alternatives d'estimation des paramètres ont été recherchées. Cependant, les degrés de succès obtenus dans ces divers travaux ont été souvent trop peu satisfaisants pour pouvoir envisager une application fiable des modèles sur des bassins non jaugés.

RÉGION ET MATERIEL D'ÉTUDE

Région d'étude

Servat *et al.* (1998) ont permis d'identifier les manifestations de la variabilité climatique observée autour des années 1970 en Afrique de l'Ouest. La baisse de la pluviométrie a, bien entendu, des conséquences sur les régimes des cours d'eau et donc sur la disponibilité des ressources en eau. La sécheresse hydrologique est d'ailleurs bien souvent d'une ampleur plus grande. De même, des changements ont affecté la relation pluie-débit (Lubès-Niel *et al.*, 2003). En milieu sahélien, Mahé *et al.* (2005) ont montré que ces changements pouvaient avoir aussi une origine humaine.

Modèle hydrologique

Le modèle retenu est une version mensuelle, adaptée au contexte africain, des modèles de la classe "GR" (<http://www.cemagref.fr/webgr/index.htm>; Makhlof, 1994). Le modèle est à 2 paramètres, le premier ($0 < X_1 < 1$) est lié au volume annuel total écoulé, le second ($0 < X_2 < 1$) est lié à la vidange d'un réservoir de routage.

Données

Nous avons choisi des bassins versants, disposant de séries hydroclimatiques longues de plusieurs décennies, comportant un nombre de lacunes le plus faible possible. Ainsi, nous avons retenu 29 bassins situés sur 6 pays de l'Afrique de l'Ouest (Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali, Niger, Togo). Le Tableau 1 présente des caractéristiques des stations de mesure et des séries inhérentes.

Les données pluviométriques et d'évapotranspiration potentielle de Penman proviennent des grilles de résolution $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ établies par l'unité de recherche climatologique (CRU) de l'Université d'East Anglia à Norwich (New *et al.*, 1999; 2000). Les données hydrométriques des bassins proviennent de la base de données SIEREM gérée par HydroSciences Montpellier (HSM). La capacité maximale du réservoir sol du modèle GR est assimilée à une capacité de rétention en eau du sol qui est issue du CD-Rom, *Digital Soil Map of the World* (FAO/IIASA, 2000).

MÉTHODOLOGIE

On se propose d'abandonner l'idée de trouver une estimation satisfaisante des paramètres du modèle sans aucune estimation de débit et d'explorer alors une voie différente où l'on exploiterait à la fois une information régionale et une information ponctuelle sur les débits.

Information régionale

L'information régionale retenue est la nature du régime d'écoulement du bassin versant tel qu'il a été défini par Rodier (1964) (Tableau 2). Les régimes des cours d'eau d'Afrique Noire présentent un certain nombre de traits communs qui contribuent à leur donner une réelle unité.

Tableau 1 Caractéristiques des stations de mesure de débits pour les bassins de l'étude (en grisé les bassins de régime hydrologique sahélien—les autres bassins sont de régime hydrologique tropical pur).

Pays	Nom du bassin	Nom de la rivière	Superficie (km ²)	Chroniques de débit		%age de lacune période avant 1970	%age de lacune période après 1971
				début	fin		
BURKINA FASO	Batie	Poni	5605	1971	1993	–	9
	Boromo	Mouhoun	54499	1955	1995	1	1
	Dapola	Mouhoun	86566	1951	1995	1	0
	Folonzo	Comoé	8366	1969	1992	17	25
	Koriziena	Gorouol	2887	1970	1995	0	40
	Nobere	Nazinon	7851	1965	1995	67	11
	Pont Ouessa	Mouhoun	66653	1969	1995	17	18
	Yendere	Leraba	6288	1955	1992	3	1
COTE D'IVOIRE	Wayen	Nakambé	20241	1955	1995	51	4
	Akakomoekrou	Comoé	58305	1956	1992	0	2
	Aniassue Pont	Comoé	70636	1953	1992	3	3
	Bada	Bandama	23809	1962	1992	0	5
	Fetekro	Nzi	10175	1959	1992	8	3
	Mbahiakro	Nzi	15368	1954	1992	2	0
	Serebou	Comoé	50587	1954	1992	2	3
NIGER	Campement W	Tapoa	5391	1963	1995	0	11
	Diongore	Goroubi	15361	1962	1992	8	13
	Dolbel	Gorouol	7505	1961	1995	0	6
	Garbe Kourou	Sirba	38871	1956	1995	19	9
	Kakassi	Dargol	7460	1957	1994	10	15
	Alcongou	Gourouol	42444	1961	1982	0	1
	Tamou	Diamangou	3839	1962	1995	7	34
MALI	Tera	Dargol	2684	1961	1995	0	5
	Douna	Bani	101225	1950	1995	14	1
TOGO	Amou Oblo	Amou	197	1957	1990	4	1
	Ebeva	Amouchou	408	1957	1990	0	5
	Koloware	Mono	53	1957	1990	0	12
	Kara	Lamakara	1502	1954	1990	1	0
BENIN	Barou	Mékrou	10666	1961	1978	32	26

Tableau 2 Classification des régimes d'écoulement en Afrique Noire (d'après Rodier, 1964).

Régime hydrologique	Limites des isohyètes	Principaux bassins hydrologiques	Principales caractéristiques
SAHELIEN	300 à 750 mm	Sirba, Dargol, Gorouol, Nakambé, Tapoa et une partie du bassin du fleuve Niger	Longue saison sèche, crue sporadique, importantes pertes par évaporation
TROPICAL PUR	750 à 1200 mm	Mouhoun, Nakambé, Comoé supérieure, et une partie du bassin du fleuve Niger	Présente une saison de hautes eaux en juillet à début octobre et une saison de basses eaux de début décembre à début juin.

Information locale

La démarche adoptée est de dégrader la chronique des débits observés sur chaque bassin étudié et d'analyser comment évoluent les paramètres à caler et une fonction critère, le critère de Nash. En fonction du contexte hydroclimatique de la région, les opérations décrites ci-après ont été effectuées 2 fois: sur la période antérieure à 1968 et sur la période postérieure à 1972.

Nous faisons l'hypothèse que l'ordre de grandeur des données de débit a un impact sur le critère de Nash et, donc, sur la détermination des paramètres du modèle. Aussi, avons-nous découpé la série complète des données débitométriques en 5 classes de débits qui sont fonction du module interannuel (voir Fig. 1).

Les opérations à effectuer sont alors:

- un calage avec l'ensemble des données disponibles; le Nash et les valeurs de paramètres obtenus seront appelés "référence" par la suite,
- les différents calages possibles du modèle en ne tenant pas compte des débits d'une classe donnée; soit 5 opérations de calage possible,
- recalculer une valeur de Nash avec les paramètres obtenus lors de l'opération précédente en tenant compte, cette fois, de l'ensemble des classes de débit disponibles; soient 5 "recalculs" de Nash.
- comparer les valeurs de paramètres calés (opération 2) et le Nash correspondant (opération 3) aux valeurs de référence (opération 1). Ces comparaisons doivent permettre d'identifier le poids et l'importance de la classe des débits retirés dans la détermination des valeurs des paramètres du modèle.

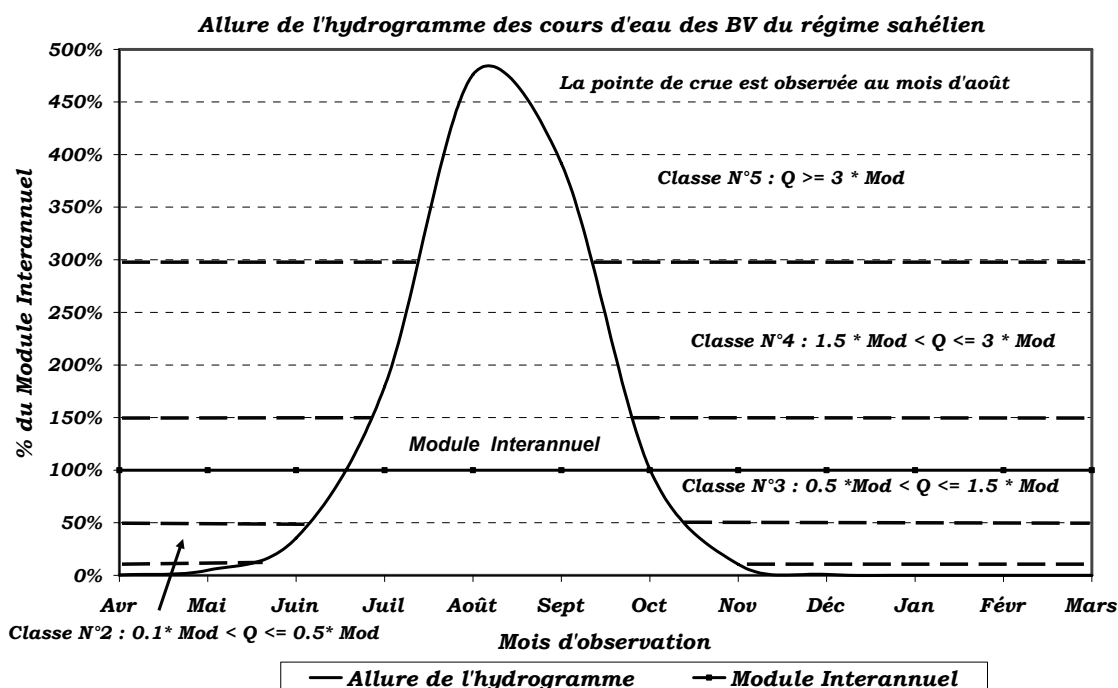


Fig. 1 Hydrogramme-type d'un cours d'eau de régime sahélien.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Nous présentons l'application à quelques bassins en régime sahélien. Les résultats sont de la même nature pour les bassins de régime hydrologique tropical pur.

Application

La Fig. 1 permet de visualiser l'hydrogramme-type d'un cours d'eau en régime sahélien. Les débits de la classe 5 sont bien souvent au nombre de 2 et on dénombre généralement 7 débits au sein de la classe 1 qui sont très proches de la valeur nulle.

Résultats des calages effectués avec 4 classes sur 5 La Fig. 2 montre que, quelle que soit la période de calage du modèle, les valeurs des paramètres et du Nash recalculé changent sensiblement par rapport aux valeurs de référence pour les calages effectués sans la classe 1 et que les changements les plus notables s'observent pour les calages sans la classe 5 :

- les écarts entre les Nash peuvent être voisins de 10%, quelle que soit la période de calage considérée,
- le paramètre X1 reste généralement constant sauf lorsque l'on considère le calage en absence des débits de la classe 5; les débits de la classe 5 (les plus forts débits) conditionneraient grandement la valeur du paramètre X1,
- le paramètre X2 varie le plus fortement lors des calages en l'absence des débits de la classe 1.

Il faut savoir que le modèle est bien plus sensible au paramètre X1 que X2. Donc les variations en valeur absolue des paramètres X1 et X2 n'ont pas le même impact sur la variation de Nash.

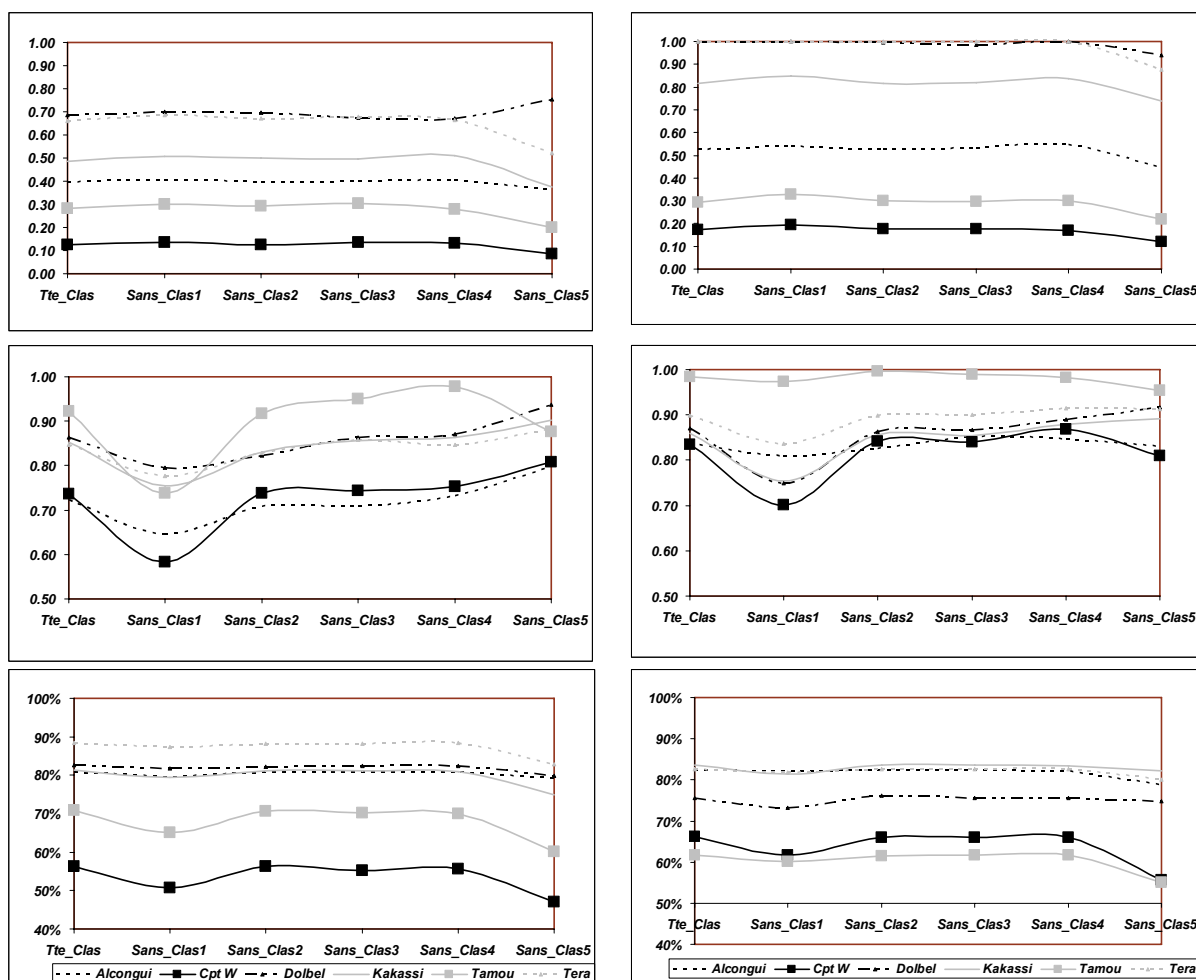


Fig. 2 Bassins sahéliens—évolution des paramètres X1 et X2 et du coefficient de Nash en absence d'une classe de débits (de haut en bas: X1, X2 et Nash; à gauche: avant 1968; à droite: après 1972).

Aux vues des résultats ci-dessus, il convient alors de s'interroger si ces deux classes de débits ne seraient pas suffisantes pour une estimation des paramètres du modèle et une valeur de Nash proches des valeurs de référence. Les débits d'étiage étant très difficilement mesurables, nous avons décidé de fixer toutes les valeurs des débits de la classe 1 à la valeur nulle.

Résultats des calages effectués avec les classes 1 et 5 La Fig. 3 montre que caler le modèle avec les débits des classes 1 et 5 donne des résultats très peu différents de ce que l'on aurait obtenu en utilisant toutes les données disponibles. On peut également noter:

- alors que les calages en absence d'une classe (1 ou 5) aboutissaient à des valeurs de $X1$ inférieures à $X1_{réf}$, ici, on obtient l'inverse ($X1_{réf} > X1$ calé); à l'exception de Dolbel. Même si les débits de la classe 5 conditionnent grandement la valeur du paramètre $X1$, les autres classes de débit (tout du moins la classe 1) ont également leur importance;
- le comportement particulier de "Campement W", voire de "Tamou", pour la période avant 1968: le fait d'ajouter une information (débits de classe 1) donne un couple de paramètres et un coefficient de Nash qui s'éloigne des valeurs de référence. Est-ce dû:
 - au fait que nous avons considéré comme valeurs nulles les débits de classe 1 ?
 - à la présence d'une crue "exceptionnelle" ?

Comme pour la période après 1972, les résultats de ces 2 bassins sont proches de ceux de référence, les résultats d'avant 1968 pourraient alors être expliqués par la présence d'une crue "exceptionnelle"; L'analyse de la série chronologique le montre en effet. En enlevant cet valeur "exceptionnelle, le couple de paramètre et la valeur de Nash se rapprochent alors fortement des valeurs de référence.

On peut alors en déduire qu'il est raisonnable de caler le modèle GR2M, en milieu sahélien, avec les seuls débits des classes 1 (considérés comme nuls) et 5.

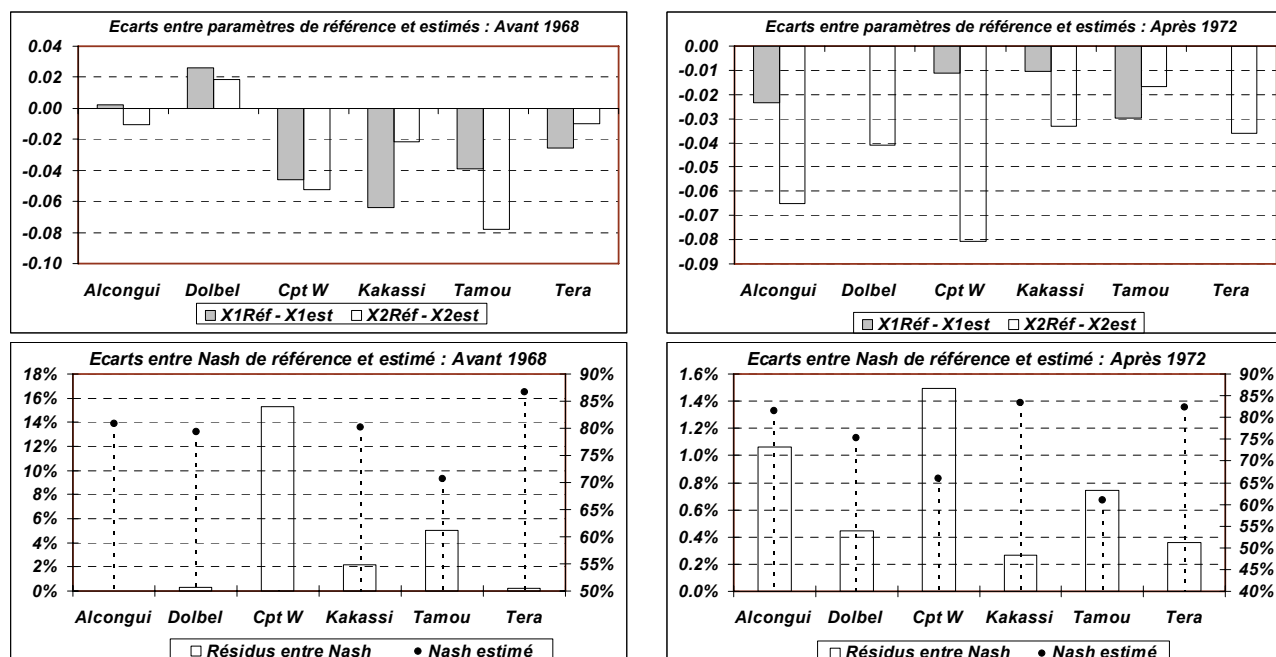


Fig. 3 Bassins sahéliens—résultats comparés des calages avec toutes les données et avec les seules classes 1 (débits nuls) et 5.

CONCLUSIONS

Les résultats ici obtenus montrent que même si l'information est rare, il peut être possible de caler correctement un modèle hydrologique; il suffit qu'il y ait l'information nécessaire et suffisante. Bien sûr, les résultats sont étroitement liés au modèle et aux données disponibles.

Nous avons défini une méthodologie d'approche qui puisse nous permettre de déterminer l'information minimale nécessaire pour caler convenablement le modèle GR2M. Elle nous a

permis de répondre au cas des bassins en régime hydrologique sahélien et tropical pur. Cette information minimale combine une donnée régionale et une donnée locale.

L'information régionale est la nature du régime d'écoulement du bassin versant (Rodier, 1964). Même si cette classification se base sur des études qui datent d'avant les changements climatiques observés en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale, les résultats obtenus semblent confirmer l'option prise. Il ne serait pas inintéressant d'essayer de mettre à jour cette classification et de mesurer ce que cela apporte.

Pour les hydrogrammes simples des bassins en régime hydrologique sahélien ou tropical pur d'Afrique de l'Ouest et Centrale, l'information à fournir est constituée:

- des écoulements de hautes-eaux qui constituent une bonne approximation des volumes annuels écoulés,
- et d'une partie des écoulements de basses-eaux qui avec les débits de pointe de l'hydrogramme peuvent permettre de caler la décrue.

Pour les bassins en régime équatorial, les hydrogrammes sont généralement bimodaux et les écoulements de basses-eaux sont bien souvent loin d'être négligeables. Nous anticipons sur les résultats à venir mais il est probable que l'information nécessaire sera certainement plus importante pour caler correctement le modèle.

REFERENCES

- FAO/IIASA (2000) Global Agro-Ecological Zones. UN Food and Agriculture Organization, Rome, Italy and International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. CD-Rom.
- Lubès-Niel, H., Paturel, J. E. & Servat, E. (2003) Study of parameter stability of a lumped hydrologic model in a context of climatic variability. *J. Hydrol.* **278**, 213–230.
- Mahé, G., Paturel, J. E., Servat, E., Conway D. & Dezetter, A. (2005) The impact of land use change on soil water holding capacity and river flow modelling in the Nakambe River, Burkina Faso. *J. Hydrol.* **300**, 33–43.
- Makhlouf, Z. (1994) Compléments sur le modèle pluie-débit GR4J et essai d'estimation de ses paramètres. Thèse de doctorat, Université Paris-Sud, Paris, France.
- New, M., Hulme, M. & Jones P. (1999) Representing twentieth century space-time climate variability. Part I: development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology. *J. Clim.* **12**(3), 829–856.
- New, M., Hulme, M. & Jones P. (2000) Representing twentieth century space-time climate variability. Part II: development of a 1901-1996 monthly grids of terrestrial surface climate. *J. Clim.* **13**(13), 2217–2238.
- Rodier, J. (1964) Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'ouest du Congo. ORSTOM, Paris, France.
- Servat, E., Paturel, J. E., Kouame, B., Travaglio, M., Ouedraogo, M., Boyer J. F., Lubès-Niel, H., Fritsch, J. M., Masson, J. M. & Marieu, B. (1998) Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. In: *Water Resources Variability in Africa during the XXth Century* (ed. by E. Servat, D. Hughes, J. M. Fritsch & M. Hulme) (Proc. Abidjan'98 Conference), 323–337. IAHS Publ. 252. IAHS Press, Wallingford, UK.