

## **Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit autour des années 1970 en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne**

**M. OUEDRAOGO, E. SERVAT, J.-E. PATUREL**

*Antenne Hydrologique ORSTOM, 06 BP 1203 Cedex 1, Abidjan 06, Côte d'Ivoire*  
e-mail: eric.servat@mpl.orstom.fr

**H. LUBES-NIEL**

*BP 5045, F-34032 Montpellier Cedex, France*

**J. M. MASSON**

*Laboratoire Géofluides-Bassins-Eau, URA-CNRS 1767, Université Montpellier II,  
Place Eugène Bataillon, F-34095 Montpellier Cedex 5, France*

**Résumé** Des conditions prolongées de déficits pluviométrique et hydrométrique constituent une réalité observée en Afrique de l'ouest et centrale depuis la fin des années 1960 et le début des années 1970. Parmi les interrogations que suscite cette importante variation, l'une d'elles concerne l'éventuelle modification de la relation pluie-débit. On s'est attaché à mettre en évidence et à caractériser des modifications éventuelles des facteurs d'écoulement suite à cette fluctuation climatique. Pour mener cette étude, on a eu recours à la modélisation de la relation pluie-débit. Le principe a consisté essentiellement à ajuster les mêmes modèles sur les deux périodes "humide" et "sèche", puis à tester si les paramètres obtenus sur les deux périodes variaient significativement.

### **INTRODUCTION**

La sécheresse qui sévit depuis presque 30 ans en Afrique soudano-sahélienne a connu une extension vers les pays situés plus au sud (Servat *et al.*, 1996; Paturel *et al.*, 1997).

Dans le cas de la Côte d'Ivoire, les travaux menés par l'ORSTOM dans le cadre du programme ICCARE (Identification et Conséquence d'une variabilité Climatique en AfRIque de l'ouest non sahélienne) soulignent une baisse persistante de la pluviométrie qui se serait manifestée aux alentours des années 1970 (Servat *et al.*, 1997). On est amené à se demander si le déficit pluviométrique observé sur plusieurs années a pu affecter les facteurs de l'écoulement des bassins, de sorte que leur réponse soit désormais différente.

C'est à cette interrogation qu'on cherchera à apporter des éléments de réponse en ayant recours à la modélisation de la relation pluie-débit sur des bassins versants de la Côte d'Ivoire de superficie inférieure à 6000 km<sup>2</sup>.

## LES DONNEES

Cette étude concerne cinq bassins versants de la Côte d'Ivoire (Fig. 1) pour lesquels les données hydrométriques sont suffisamment longues et sur lesquels la répartition des postes pluviométriques permet une estimation acceptable de la pluie moyenne sur ces bassins. Nous disposons aussi de valeurs moyennes interannuelles d'évapotranspiration potentielle extraites de l'étude d'Avenard *et al.* (1971). Soulignons que ces valeurs d'ETP utilisées comme données d'entrée des modèles, ont été estimées à partir de mesures climatologiques sur la période précédant 1970.

## LA DEMARCHE METHODOLOGIQUE

Pour mener cette étude, on a eu recours à la modélisation de la relation pluie-débit en se limitant à des bassins versants de la Côte d'Ivoire pour les raisons exposées plus haut. Le principe consiste essentiellement à ajuster les mêmes modèles sur les deux périodes "humide" et "sèche", ensuite on teste si les paramètres obtenus sur les deux périodes sont significativement différents.

Pour ce faire, on a procédé par étapes:

- (a) On a préalablement étudié l'évolution des pluies et débits observés sur chaque bassin retenu, afin de cerner une éventuelle rupture dans la série annuelle de ces données (Lubès-Niel *et al.*, 1998).

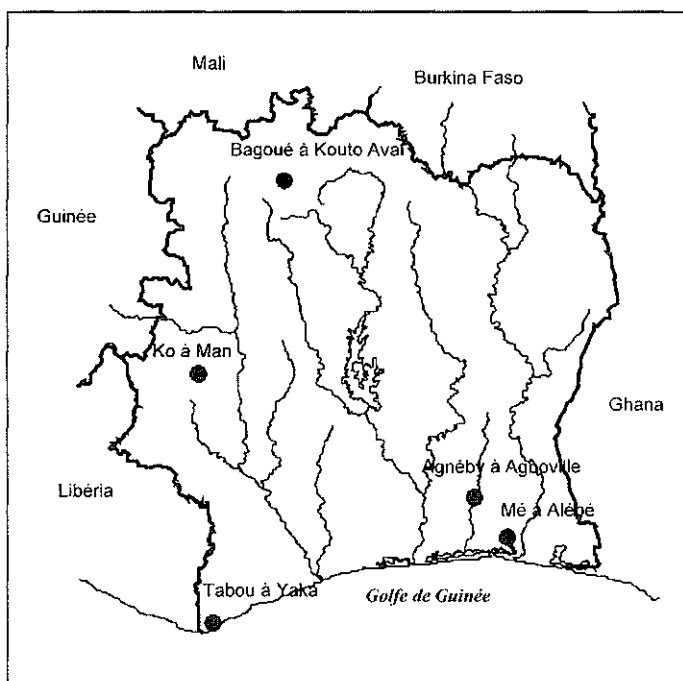


Fig. 1 Carte de situation de la Côte d'Ivoire et des bassins versants de l'étude.  
 • station hydrométrique.

- (b) Dans une deuxième étape, on a procédé à l'identification de modèles conceptuels qui représentent au mieux la relation entre la pluie moyenne estimée sur chaque bassin versant et le débit enregistré à son exutoire sur la période antérieure aux années de rupture détectées éventuellement dans les séries chronologiques de pluies et de débits.
- (c) Ensuite ces modèles, ainsi calés et validés, ont été appliqués aux données de la période postérieure aux points éventuels de rupture et on a analysé les écarts entre les valeurs observées et calculées sur toute la période n'ayant pas servi au calage et à la validation.
- (d) Par suite, de part et d'autre de l'année de rupture, on a effectué un calage et une validation, puis on a comparé les paramètres des mêmes modèles ajustés sur les deux périodes différentes.
- (e) Enfin, et indépendamment des calages-validations précédents, on a procédé à un calage sur des périodes glissantes de cinq ans afin de mettre en évidence une éventuelle tendance dans l'évolution des paramètres calés.

## La modélisation

Nous avons sélectionné deux modèles globaux à réservoirs que nous allons adapter aux bassins versants retenus ici. On ne présentera pas dans les détails les deux modèles qui ont été utilisés, renvoyant le lecteur à la bibliographie correspondante. Le premier modèle retenu est le modèle GR2M à deux paramètres (Makhlouf, 1994). Ce modèle a connu plusieurs applications sur des bassins en Côte d'Ivoire (Paturel *et al.*, 1995). Le second modèle est le modèle VUB (Vandewiele *et al.*, 1991).

Ces modèles comportent des paramètres dont les valeurs numériques sont obtenues après optimisation, calibration et validation.

Le critère d'optimisation utilisé est la somme du carré des écarts entre les débits observés et ceux générés par le modèle.

## LES RESULTATS

### Analyse des résultats de l'application des tests de détection de rupture

Pour les séries de données suffisamment complètes, on a appliqué pour chaque bassin, les tests de détection de rupture.

Les résultats obtenus permettent de regrouper les bassins étudiés en deux catégories:

- *les bassins dits "homogènes"*: c'est-à-dire les bassins sur lesquels les tests n'ont pas décelé de rupture dans les séries annuelles de débit et de pluie moyenne sur l'ensemble du bassin. Seul le bassin versant de Tabou à Yaka correspond à cette catégorie.
- *les bassins dits "non homogènes"*: ce sont les bassins sur lesquels les tests ont révélé une rupture ou au moins une tendance dans les séries annuelles de pluie et de débit. Les quatre autres bassins se retrouvent dans ce groupe.

### Simulation des débits n'ayant pas servi au calage-validation

Après avoir appliqué les modèles sélectionnés à la série de données n'ayant pas servi au calage et à la validation, c'est-à-dire sur la période postérieure à la rupture supposée, on a procédé à l'analyse des résultats des écarts entre débits observés et débits calculés.

Sur les quatre bassins de l'Agnéby à Agboville, du Bagoué à Kouto aval, du Ko à Man et du Mé à Alépé, on note une mauvaise reconstitution des hydrogrammes observés sur la période postérieure à la rupture. La Fig. 2 illustre bien la mauvaise reconstitution des hydrogrammes observés sur le bassin du Bagoué à Kouto aval sur la période postérieure à l'année de rupture.

L'analyse de la distribution des résidus montre une modification de cette distribution. Sur la période postérieure à la rupture, ils sont beaucoup plus dispersés avec quelques valeurs extrêmes. La moyenne des résidus sur cette période diffère significativement de zéro.

Sur le bassin de Tabou à Yaka, on observe une bonne reconstitution des débits sur la période postérieure à 1975 à part quelques débits de pointe qui sont sous-estimés. Il est intéressant de remarquer que sur le bassin de Tabou à Yaka, aucune rupture n'a été identifiée.

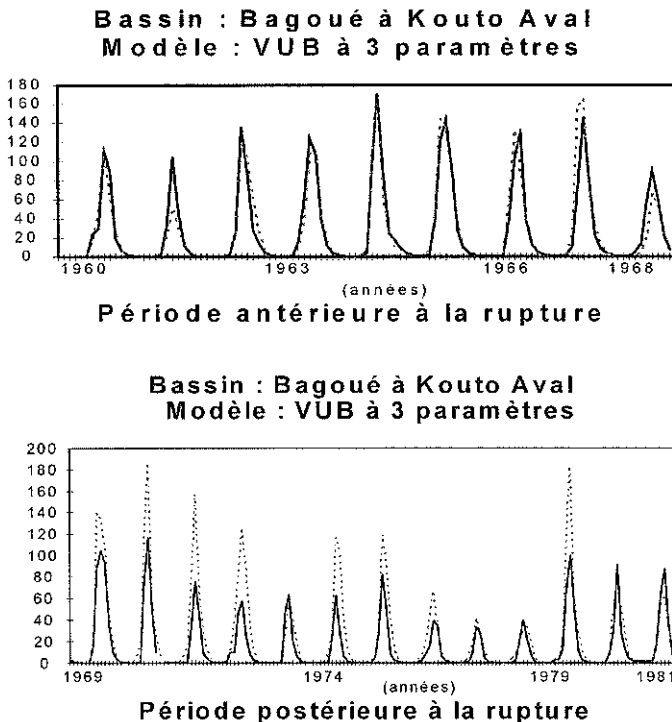


Fig. 2 Simulation des débits (en mm mois<sup>-1</sup>) avec des paramètres ajustés sur la période antérieure à la date de rupture (trait plein: débit observé, pointillé: débit calculé).

## Comparaison des paramètres ajustés de part et d'autre de la rupture

Le but poursuivi est de savoir si on observe une modification significative des paramètres des modèles sur les deux périodes "humide" et "sèche".

Pour ce faire, on a procédé à l'identification des paramètres des modèles sur la période postérieure aux points de rupture, puis on a comparé les intervalles de confiance au seuil de 95% des paramètres ajustés avant et après les points de rupture (Tableau 1).

Deux cas de figures se présentent:

- Soit les intervalles de confiance calculés avant et après la rupture se recouvrent sur un domaine commun. Dans ce premier cas de figure, si le paramètre ajusté sur la période antérieure à la rupture est inclus dans l'intervalle de confiance du même paramètre calculé sur la période postérieure, et si réciproquement le paramètre ajusté sur la période postérieure est compris dans l'intervalle de confiance calculé sur la période antérieure à la rupture, nous allons conclure qu'il n'y a pas de modification du paramètre considéré. Dans le cas contraire, nous concluons qu'il y a possibilité de modification du paramètre considéré.
- Soit les deux intervalles de confiance sont disjoints. Dans ce cas, nous sommes conduits à conclure qu'il y a modification du paramètre considéré.

**Tableau 1** Intervalle de confiance des paramètres au seuil de 95% sur les périodes antérieure et postérieure à la rupture.

Modèle VUB Bassin	Période	Paramètres		
		a1	a2	a3
Bagoué à Kouto aval	avant 1969	[0.404 0.484]	[1.737 10 <sup>-4</sup> 3.046 10 <sup>-4</sup> ]	[2.382 10 <sup>-6</sup> 3.536 10 <sup>-6</sup> ]
	après 1969	[0.343 0.452]	[0.333 10 <sup>-4</sup> 0.763 10 <sup>-4</sup> ]	[1.644 10 <sup>-6</sup> 2.655 10 <sup>-6</sup> ]
Ko à Man	avant 1970	[0.681 0.747]	[0.973 10 <sup>-4</sup> 2.056 10 <sup>-4</sup> ]	[1.330 10 <sup>-6</sup> 2.447 10 <sup>-6</sup> ]
	après 1970	[0.607 0.695]	[0.547 10 <sup>-4</sup> 2.015 10 <sup>-4</sup> ]	[1.764 10 <sup>-6</sup> 3.765 10 <sup>-6</sup> ]
Modèle GR2M Bassin	Période	Paramètres		A2
		A1		
Ko à Man	avant 1970	[-0.168 -0.023]		[-0.462 -0.164]
	après 1970	[-0.319 -0.122]		[-0.113 0.285]
Mé à Alépé	avant 1968	[-0.745 -0.541]		[ 0.782 1.702]
	après 1968	[-0.565 -0.347]		[-1.158 -0.236]
Tabou à Yaka	avant 1975	[-0.142 0.043]		[-0.805 -0.298]
	après 1975	[-0.155 0.066]		[-0.854 -0.194]

**Tableau 2** Résultats de l'étude sur la comparaison des intervalles de confiance.

Modèle VUB Bassin	Paramètres		
	a1	a2	a3
Bagoué à Kouto aval	Modification possible	Modification	Modification possible
Ko à Man	Modification possible	Pas de modification	Modification possible
Modèle GR2M Bassin	Paramètres		A2
	A1		
Ko à Man	Modification possible		Modification
Mé à Alépé	Modification possible		Modification
Tabou à Yaka	Pas de modification		Pas de modification

En adoptant ce principe, nous pouvons tirer les conclusions présentées dans le Tableau 2.

### Calage sur des périodes glissantes

On s'est également intéressé à suivre l'évolution des paramètres calés en procédant à des calages "glissants" sur des périodes de cinq ans.

Nous avons repris sur chaque bassin les modèles qui ont été sélectionnés, puis on a ajusté les paramètres de ces modèles tous les cinq ans depuis le début des observations hydrométriques.

La Fig. 3 illustre l'évolution des paramètres du modèle VUB sur le bassin du Bagoué à Kouto aval.

D'une manière générale, le recours à ce recouvrement partiel des périodes de calage met en évidence une fluctuation de la série des paramètres calés sur la période d'observation. Cependant, on peut remarquer que des variations importantes

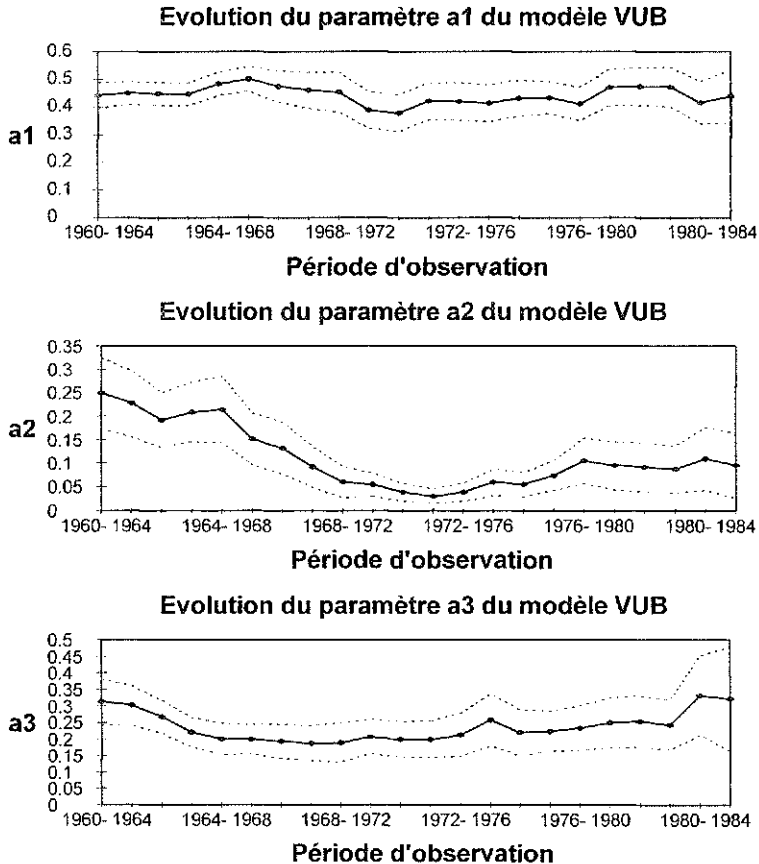


Fig. 3 Evolution des paramètres du modèle VUB ajustés sur des périodes glissantes de cinq ans sur le bassin de Bagoué à Kouto Aval (pointillé: intervalles de confiance au seuil de 95%).

s'observent notamment sur le paramètre  $a_2$  pour le modèle VUB sur le bassin de Bagoué à Kouto et sur le paramètre  $A_2$  du modèle GR2M sur les bassins de Ko à Man et de Mé à Alépé. Ces paramètres sont ceux relatifs à l'écoulement lent pour chacun des deux modèles.

Ces résultats sont en concordance avec les différences significatives révélées sur les paramètres de l'écoulement par l'analyse menée au paragraphe précédent qui montrait que ce sont les paramètres de l'écoulement lent qui ont subi une modification.

## CONCLUSION

Dans un premier temps, et en accord avec ce qui a été observé ailleurs, cette étude a souligné que, pour les bassins versants étudiés, une rupture s'est produite tant au sein des séries pluviométriques qu'hydrométriques aux alentours de 1970. Sur ces bassins, la suite de l'étude a d'abord montré que les modèles ajustés avant 1970 environ reconstituent mal les débits observés sur la période postérieure. En s'intéressant aux paramètres qui ont pu subir une modification, on a montré, en ajustant les paramètres des modèles sur les deux périodes antérieure et postérieure à la rupture observée, que des différences importantes, significatives en terme de modification de la relation pluie-débit, portent sur les paramètres de l'écoulement lent des modèles. Ce résultat est corroboré par le calage sur des périodes de recouvrement partiel de 5 ans qui met en évidence une variation importante de ces paramètres de l'écoulement lent au sein des modèles utilisés. Cet ensemble de résultats montre qu'une modification de la relation pluie-débit semble avoir accompagné la fluctuation climatique subie par l'Afrique de l'ouest depuis plus de 25 ans. D'autres études, actuellement en cours, permettront de confirmer ou non ces premiers résultats en les étendant à d'autres bassins de la région.

## REFERENCES

- Avenard, J. M., Eldin, M., Girard, G., Sircoulon, J., Touchebeuf, P., Guillaumet, J. L., Adjanohoun, E. & Perraud, A. (1971) *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*. ORSTOM.
- Lubès-Niel, H., Masson, J. M., Paturel, J. E. & Servat, E. (1998) Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. A paraître dans *Revue des Sciences de l'Eau*.
- Makhlouf, Z. (1994) Compléments sur le modèle pluie-débit GR4J et essai d'estimation de ses paramètres. Thèse de doctorat, Université Paris Sud, France.
- Paturel, J. E., Servat, E., Kouamé, B., Lubès, H., Ouedraogo, M. & Masson, J. M. (1997) Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part 2: An integrated regional approach. *J. Hydrol.* **191**, 16-36.
- Paturel, J. E., Servat, E. & Vassiliadis, A. (1995) Sensitivity of conceptual rainfall-runoff algorithms to errors in input data—case of the GR2M model. *J. Hydrol.* **168**, 111-125.
- Servat, E., Paturel, J. E. & Lubès H. (1996) La sécheresse gagne l'Afrique tropicale. *La Recherche* **290**, 24-25.
- Servat, E., Paturel, J. E., Lubès, H., Kouamé, B., Ouedraogo, M. & Masson, J. M. (1997) Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part 1: Detailed analysis of the phenomenon in Côte d'Ivoire. *J. Hydrol.* **191**, 1-15.
- Vandewiele, G. L., Xu, C. Y. & Win, N. L. (1991) Methodology for constructing monthly water balance on basin scale. Vrije Universiteit Brussel (VUB), Laboratory of Hydrology and Interuniversity postgraduate Program in Hydrology, Brussels, Belgium.