

## **Influences combinées de la sécheresse et de la pression anthropique sur un système d'eau aménagé en Afrique de l'Ouest: cas du bassin du Bandama (Côte d'Ivoire)**

**AKA AKPA, ERIC SERVAT, JEAN EMMANUEL PATUREL**

*16 BP 917, Abidjan 15, Côte d'Ivoire*

e-mail: aka@abidjan.ird.ci

**ALAIN DEZETTER**

*01 BP 182, Ouagadougou 01, Burkina Faso*

**HELENE LUBES-NIEL, JEAN MARIE FRITSCH**

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

**JEAN MARIE MASSON**

*Laboratoire Géofluide-Bassin-Eau, UMR-CNRS 5569, Université Montpellier II, Place Eugène Bataillon, F-34095 Montpellier Cedex 5, France*

**Résumé** La sécheresse que connaît le Sahel se fait également ressentir dans les régions dites humides de l'Afrique de l'Ouest où la gestion des ressources naturelles est un élément important de la stratégie de développement. L'étude entreprise a pour objet d'étudier les conséquences de la sécheresse et de la pression anthropique sur l'utilisation des ressources en eaux dans le bassin du Bandama en Côte d'Ivoire. L'examen des séries de modules de quatre stations montre une diminution de près de 50% des apports annuels en phase avec les perturbations observées au Sahel. Fort de ce constat, le fonctionnement de deux schémas du système d'eau du Bandama a été simulé sur deux ans sous différents scénarios climatiques en termes de pénurie et de défaillance. Les résultats permettent de caractériser tant l'importance du phénomène de sécheresse sur la détérioration des performances du système que celle d'une pression anthropique sans cesse croissante dans un pays africain en voie de développement.

### **INTRODUCTION**

L'amélioration de la planification et de la gestion des ressources en eau est un élément important dans la stratégie de développement des pays de l'Afrique de l'Ouest. En Côte d'Ivoire par exemple, l'activité économique est principalement axée sur l'agriculture et une relative industrialisation, alimentée à 45% par l'énergie électrique d'origine hydraulique. Cependant la gestion des ressources s'inscrit dans le cadre d'une double incertitude: variabilité de la ressource et caractérisation insuffisante des utilisateurs de cette ressource.

En effet, l'Afrique de l'Ouest connaît une diminution de la pluviométrie depuis la fin des années 1960 et le début des années 1970. Cette perturbation se traduit

également par une diminution des écoulements dans les rivières, et donc des ressources en eau. Il est évident que ce phénomène a des conséquences très sensibles du point de vue de l'environnement et de l'exploitation des ressources en eau. Par ailleurs, bon nombre des aménagements actuellement opérationnels de la région ont été étudiés à partir de données plus favorables, c'est à dire un contexte sensiblement différent de celui qui prévaut actuellement. C'est le cas en particulier du bassin du Bandama en Côte d'Ivoire.

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet FRIEND AOC du PHI de l'UNESCO. Elle vise à apprécier les conséquences de la sécheresse et de la pression anthropique sur l'utilisation des ressources en eau du bassin du Bandama, pour en apprécier les défaillances sous ces conditions climatiques.

Dans la première partie de cette étude, les caractéristiques du bassin du Bandama seront exposées. A la suite de quoi, nous présenterons les méthodes de génération de chroniques synthétiques et les résultats de simulation du système d'eau sous différents scénarios de péjoration pluviométrique.

## CARACTERISTIQUES DU SYSTEME D'EAU ETUDIE

### Description et modélisation du système d'eau

Le bassin du Bandama, d'une superficie de 97 000 km<sup>2</sup>, est le bassin le plus aménagé de Côte d'Ivoire avec 60% des ouvrages de mobilisation de l'eau. Celle-ci repose sur des réservoirs d'accumulation d'eau et des prises au fil de l'eau dans le réseau hydrographique.

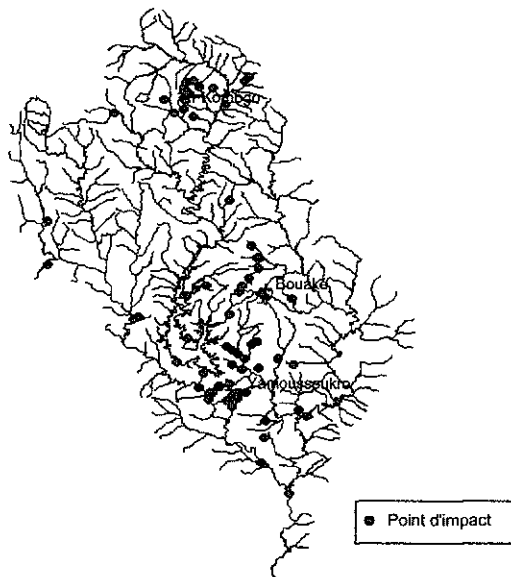


Fig. 1 Chevelu hydrographique et points d'impact du système d'eau du Bandama.

Ainsi, le système d'eau du Bandama comporte un nombre important de points d'impact. Au niveau 1, correspondant à la situation actuelle, ce système comporte principalement 70 ouvrages de mobilisation (cf. Fig. 1). En terme de capacité de stockage, les deux barrages hydroélectriques (Taabo et Kossou) sont les plus importants. Par ailleurs, le fonctionnement du système n'est étudié, ici, qu'au regard de la satisfaction des quantités d'eau exprimées par les différents usagers sur un pas de temps donné.

Les volumes mobilisés visent essentiellement à satisfaire les besoins en alimentation des populations et du cheptel, l'irrigation des cultures et la production d'hydroélectricité.

La réorientation de la politique agricole et énergétique de la Côte d'Ivoire suggère, cependant, une revalorisation des ressources en eau du pays. Sur cette base et en conformité avec les projets à l'étude, nous avons retenu un deuxième niveau du système d'eau du Bandama avec deux barrages hydroélectriques supplémentaires dont un en aval du système de niveau 1, et trois retenues à vocation hydroagricole en plus des composants du système de niveau 1. Au total, le niveau 2 du système du Bandama comporte 70 retenues et cinq prises au fil de l'eau. Il correspond à une intensification des sollicitations de la ressource à l'échelle du bassin.

Ces deux états du système du Bandama ont été modélisés au moyen du logiciel Hydram (Pouget & Dezetter, 1993) qui a, par ailleurs, été appliqué en Guadeloupe et en Nouvelle Calédonie. Avec cet outil d'aide à la décision dans la gestion des ressources en eau, la conceptualisation d'un système d'eau consiste à établir un réseau de nœuds et de liens avec des organes ou composants couramment rencontrés dans les aménagements et préalablement définis.

Les différentes sources d'approvisionnement d'eau (prises au fil de l'eau et réservoirs d'accumulation) sont hiérarchisées par l'introduction d'un coefficient de sollicitation traduisant la contribution de la ressource donnée à la satisfaction des demandes exprimées. De même, les demandes d'eau sont hiérarchisées au moyen d'un coefficient de satisfaction. Ces différents coefficients permettent de définir les règles d'allocation qui prennent en compte l'ensemble des demandes et ressources disponibles.

### **Variabilité des ressources en eau dans le bassin du Bandama**

L'analyse de la variabilité des ressources en eau du bassin du Bandama s'appuie sur un ensemble de méthodes variées et complémentaires de détection de rupture dans les séries chronologiques. Il s'agit du test de Pettitt (Pettitt, 1979), de la méthode bayésienne de Lee et Heghinian (Lee & Heghinian, 1977), de la statistique *U* de Buishand (Buishand, 1982, 1984) et de la méthode de segmentation de Hubert (Hubert & Carbonnel, 1987). Le choix de ces méthodes repose sur les conclusions d'une étude préalable (Lubès-Niel et al., 1998) et sur leur application dans le contexte de l'Afrique de l'Ouest (Aka et al., 1996, Servat et al., 1998).

Ces méthodes ont été appliquées à des séries extraites des observations débitmétriques enregistrées sur quatre stations, localisées sur les deux principaux affluents du Bandama. Le choix de ces stations se justifie par la durée et la qualité des informations disponibles. Le Tableau 1 donne leurs caractéristiques.

**Tableau 1** Caractéristiques des stations étudiées.

Stations	Superficie (km <sup>2</sup> )	Durée des observations (année)
Marahoué à Bouaflé	19 800	39
Nzi à Fetekro	10 000	34
Nzi à Dimbokro	24 100	39
Nzi à Nzianoa	35 000	40

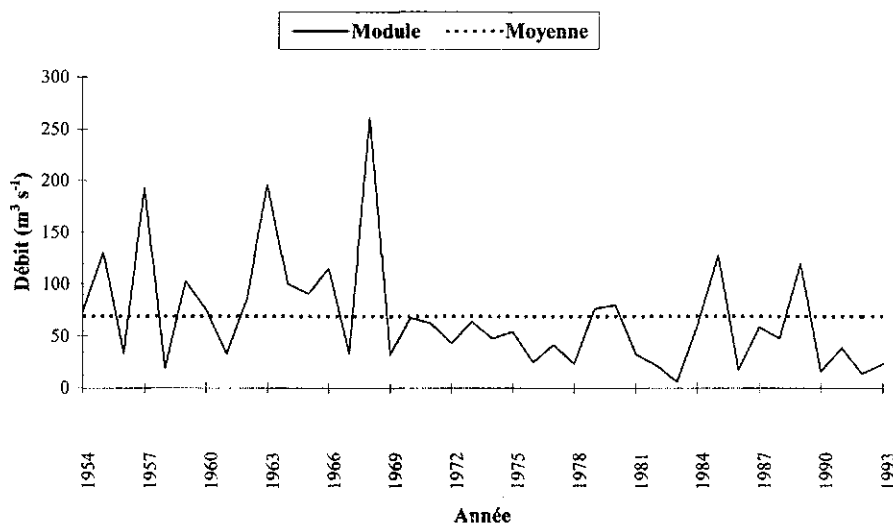
**Tableau 2** Moment présumé de rupture et ampleur des modifications.

Stations	Date de rupture	Ampleur des modifications (%)
Marahoué à Bouaflé	1971	-55
Nzi à Fetekro	1968	-54
Nzi à Dimbokro	1968	-51
Nzi à Nzianoa	1968	-53

Le Tableau 2 récapitule les résultats de la détection de rupture. L'ampleur des modifications correspond à la variation relative de moyenne des sous-séries de part et d'autre de la date de rupture.

Il ressort que des ruptures ont été détectées, entre 1968 et 1971, dans les séries de modules observés dans le bassin du Bandama, et qu'elles se traduisent par une diminution de près de 50%. Ces ruptures sont en phase avec ce qui a été observé et analysé sur la pluviométrie (Paturel et al., 1997; Servat et al., 1997). La Fig. 2 illustre cette évolution des écoulements.

Il est évident qu'un phénomène d'une telle intensité aura des conséquences très sensibles sur les performances des systèmes d'eau étudiés et aménagés à partir de données ne reflétant que peu ou pas du tout la réalité actuelle de la situation pluviométrique et hydrométrique.

**Fig. 2** Evolution du module sur le Nzi à Nzianoa.

## FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'EAU

### Les chroniques synthétiques de simulation

L'examen du comportement futur des aménagements se heurte à la connaissance des conditions hydroclimatiques à venir. Par conséquent, plusieurs hypothèses correspondant à des scénarios réalistes élaborés à la lumière des tendances indiquées plus haut ont été testées. Ils se définissent par rapport aux conditions pluviométriques.

Cinq scénarios ont été envisagés. Le scénario 0 (S0) correspond à un retour aux conditions avant 1970. Il constituera, par la suite, le scénario de référence. Le scénario 1 (S1) traduit une diminution moyenne de 10%. Le scénario 2 (S2) reflète la situation "actuelle" avec une baisse de 20%. Les scénarios 3 et 4 (S3 et S4) correspondent à une aggravation de la sécheresse avec une baisse respective de 30% et 40% de la pluviométrie.

La structure du phénomène repose sur les observations pluviométriques de 15 postes, antérieurs à 1970 (cf. Fig. 3). Afin d'envisager un large éventail de situations, 200 ans de données de pluie décadaire ont été générées à l'aide d'une loi des fuites (Ribstein, 1983).

Le Tableau 3 présente les caractéristiques des séries de pluies annuelles générées (scénario S0) et observées. Il montre l'adéquation du modèle de génération avec les observations d'avant 1970. La Fig. 4 illustre l'adéquation du modèle à Bouaké.

Disposant de séries pluviométriques, nous avons généré les apports naturels aux points d'impact à partir de modèles "pluie-débit" sur les grands bassins. Sur les petits

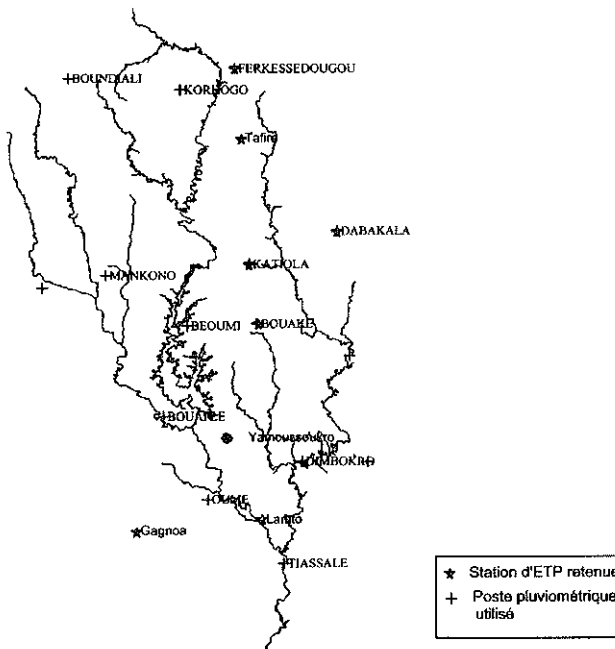


Fig. 3 Emplacement des postes pluviométriques de base.

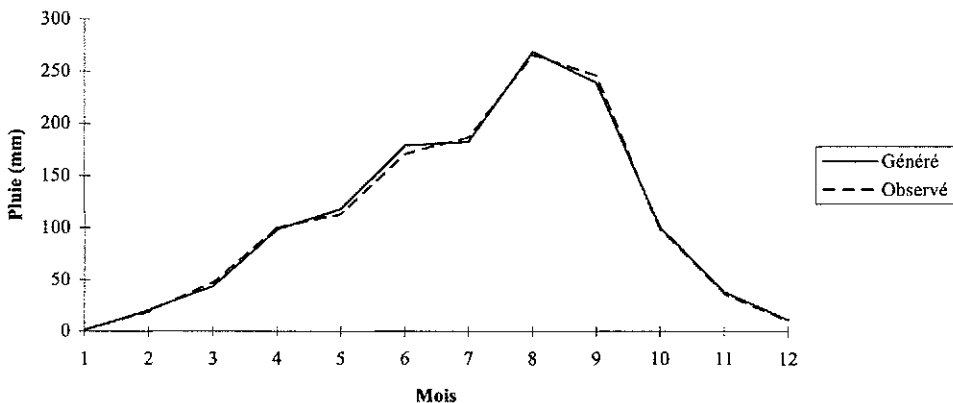
**Tableau 3** Comparaison des séries de pluies annuelles générées et observées.

Poste pluviométrique	Moyenne de la série observée (mm)	Moyenne de la série générée (mm)	Ecart (%) entre les moyennes
Béoumi	1134	1149	1.3
Bongouanou	1142	1161	1.6
Bouaflé	1281	1296	1.1
Bouaké	1074	1086	1.2
Boundiali	1443	1482	2.7
Dabakala	1169	1184	1.3
Dimbokro	1100	1113	1.2
Ferkessedougou	1299	1306	0.6
Katiola	1162	1171	0.7
Korhogo	1279	1291	1.0
Mankono	1186	1205	1.6
Mbahiakro	1109	1126	1.5
Oumé	1297	1294	-0.3
Séguéla	1246	1247	0.1
Tiassalé	1282	1287	0.4

bassins versants non jaugés, nous avons admis que la répartition mensuelle des écoulements varie très peu. Ainsi, ayant calculé la lame annuelle à partir d'une régression avec la pluie annuelle, nous avons estimé les lames mensuelles écoulées. Par la suite, nous avons vérifié la compatibilité des écoulements générés d'amont en aval.

### Performances du système sous différents scénarios de péjoration pluviométrique

Les deux niveaux d'aménagement du système du Bandama ont été simulés au pas de temps mensuel sur la base des données de pluies et de débits générées sur 200 ans. Le nombre de mois où une demande exprimée n'a pu être entièrement satisfaite d'une part, et la pénurie enregistrée d'autre part permettent de caractériser les performances



**Fig. 4** Comparaison des pluies mensuelles moyennes générées et observées à Ferkessedougou.

du système d'eau. Cette appréciation porte ici essentiellement sur le système considéré dans sa globalité.

Sous le scénario S0, le système d'eau au niveau 1 a connu des défaillances au cours des 200 ans de gestion simulée. Pour 2020 des 2400 mois considérés, une demande exprimée au moins n'a pu être comblée entièrement. La pénurie annuelle varie entre 19 et 53% mais la moyenne se situe à environ 30%. Parallèlement, le passage à un schéma intégré a occasionné une chute de performance pour 35 demandes sur les 70 que compte le système d'eau. La prise en compte d'un débit réservé permet d'améliorer sensiblement les performances des aménagements qui ont enregistré une baisse de performance en fonctionnement simultané.

Le Tableau 4 résume les performances du système d'eau au niveau 1 pour les scénarios envisagés. Il ressort que les performances du système se dégradent considérablement à partir du scénario S2. Sous les scénarios S3 et S4, certaines demandes n'ont jamais pu être satisfaites au cours des 200 ans de simulation.

L'intensification de la mobilisation des ressources en eau permet de réduire sensiblement le niveau de pénurie globale du système d'eau (cf. Tableau 5). Sans permettre, toutefois, d'envisager un niveau de performance acceptable des aménagements.

## CONCLUSION

Dans cette étude, les conséquences plausibles de scénarios de péjorations pluviométriques sur les performances d'un système d'eau aménagé ont été étudiés. Les niveaux de performances identifiés pour un scénario proche de la situation actuelle permettent de valider les résultats de cette démarche.

Ils montrent qu'une aggravation des conditions pluviométriques occasionne un dysfonctionnement important du système d'eau du Bandama (Aka, 1998). Cependant, une intensification adéquate de la mobilisation des ressources peut permettre d'améliorer le niveau de performance globale. L'étude de nouveaux sites d'implantation devra prendre en compte les aménagements existants, de manière à ne

**Tableau 4** Incidence des scénarios sur les performances globales du système au niveau 1.

Scénarios	Pénurie moyenne (%)	Défaillances (mois)
Scénario S1	34	2283
Scénario S2	42	2354
Scénario S3	52	2400
Scénario S4	66	2400

**Tableau 5** Niveaux de pénurie globale (%) du système pour les deux niveaux d'aménagement.

Scénarios	Niveau 1	Niveau 2
Scénario S1	34	32
Scénario S2	42	38
Scénario S3	52	48
Scénario S4	66	62

pas les fragiliser du point de vue de leurs performances, compte tenu d'un fonctionnement déjà problématique dans de nombreux cas.

## REFERENCES

- Aka, A. (1998) Variabilité des écoulements et conséquences sur les activités anthropiques. Cas du bassin versant du Bandama (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat courant 1999. Université de Montpellier II, France.
- Aka, A., Servat, E., Paturel, J. E., Kouamé, B., Lubès, H. & Masson, J. M. (1996) Analysis of the temporal variability of runoff in Ivory Coast: Statistical approach and phenomena characterization. *Hydrol. Sci. J.* **41**(6), 959-970.
- Buishand, T. A. (1982) Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J. Hydrol.* **58**, 11-27.
- Buishand, T. A. (1984) Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series. *J. Hydrol.* **73**, 51-69.
- Hubert, P. & Carbonnel, J. P. (1987) Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest. *J. Hydrol.* **95**, 165-183.
- Lee, A. F. S. & Heghinian, S. M. (1977) A shift of the mean level in sequence of independent normal random variables: a Bayesian approach. *Technometrics* **19**(4), 503-506.
- Lubès-Niel, 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), 1998.
- 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 two: an integrated regional approach. *J. Hydrol.* **191**, 16-36.
- Pettitt, A. N. (1979) A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Statist.* **28**, 126-135.
- Pouget, J. C. & Dezetter, A. (1993) Water resources management in a tropical island environment. The case of Guadeloupe. In: *Hydrology of Warm Humid Regions* (ed. by J. S. Gladwell) (Proc. Yokohama Symp., July 1993), 365-374. IAHS Publ. no. 216.
- Ribstein, P. (1983) Loi des fuites. *Cah. ORSTOM Série Hydrol.* **20**(2), 117-145.
- Servat, E., Paturel, J. E., Lubès-Niel, H., Kouamé, B., Masson, J. M., Travaglio, M. & Marieu, B. (1998) De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. *A paraître Rev. Sci. Eau*.
- 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 one: Detailed analysis of the phenomenon in Côte d'Ivoire. *J. Hydrol.* **191**, 1-15.