

## **Analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'ouest: caractérisation de la situation de la décennie 1990**

**SANDRA ARDOIN, HELENE LUBES-NIEL, ERIC SERVAT, ALAIN DEZETTER, JEAN-FRANCOIS BOYER**

*Institut de Recherche pour le Développement, UMR HydroSciences, BP 64501, F-34394 Montpellier Cedex 5, France*  
[sandra.ardoin@msem.univ-montp2.fr](mailto:sandra.ardoin@msem.univ-montp2.fr)

**GIL MAHE & JEAN-EMMANUEL PATUREL**

*Institut de Recherche pour le Développement, 01 BP 182, Ouagadougou, Burkina Faso*

**Résumé** Les enjeux liés à la persistance ou non de la sécheresse sont de première importance pour les pays et les habitants des régions sahéliennes et sub-sahéliennes. L'actualisation des résultats obtenus précédemment est donc un élément de connaissance nécessaire, tant pour évaluer les contraintes environnementales actuelles, que pour gérer de manière optimale une ressource rare. Les bassins du Sénégal, de la Gambie, du Niger et du Sassandra ont été retenus pour cette étude. Les séries pluviométriques ont été analysées en mettant l'accent sur la décennie 1990. Au regard des résultats obtenus avec les différentes procédures mises en œuvre, il est raisonnable de penser que les bassins étudiés ont conservé des caractéristiques pluviométriques stables entre les décennies 1980 et 1990.

**Mots clefs** Afrique de l'ouest; corrélation sur le rang; segmentation de Hubert; test de permutation; variabilité pluviométrique

**Key words** West Africa; rank correlation test; Hubert segmentation method; permutation test; rainfall variability

### **INTRODUCTION**

Depuis le début de la période de sécheresse actuelle en Afrique de l'ouest, située aux alentours de 1969–1970, peu d'études ont été menées sur la période postérieure à 1990. Aujourd'hui il est possible d'intégrer les données de la décennie 1990 afin d'actualiser les résultats obtenus précédemment. Dans un contexte local et régional où les projets de développement économique reposent très largement sur le secteur agricole, l'estimation et la gestion à long terme des ressources en eau sont indispensables, tant pour améliorer la sécurité alimentaire que pour assurer le bon fonctionnement des aménagements réalisés. Les enjeux liés à la persistance ou non de la sécheresse sont, par conséquent, de première importance pour les pays et les habitants de ces régions.

### **DONNEES**

Une cinquantaine de postes pluviométriques a été retenue. Ils présentent des séries chronologiques de hauteurs précipitées annuelles sur les 40 dernières années et

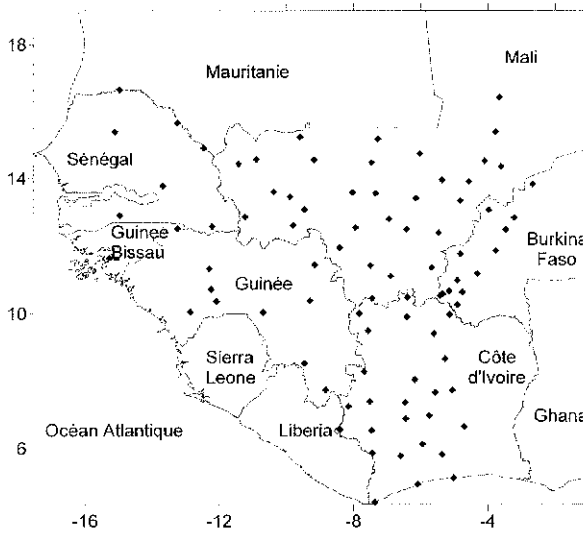


Fig. 1 Localisation des postes pluviométriques étudiés.

une couverture régulière de la région étudiée, comprise entre 4°N et 17°N de latitude et 3°W et 16°W de longitude (Fig. 1). On s'intéresse tout particulièrement aux bassins versants du Sénégal, de la Gambie et du Haut Niger, considérés comme caractéristiques des zones sahéniennes et sub-sahéniennes. Le bassin du Sassandra, également étudié, apporte un élément de comparaison représentatif de ce qui a été observé récemment en Afrique "humide" (Paturel *et al.*, 1997).

## METHODES

### Indices pluviométriques et représentations cartographiques

La période qui va de 1960 à 1995 a été retenue comme période de référence, car commune à tous les postes étudiés et présentant une forte densité d'informations. Sur l'ensemble de cette période et pour chacun des postes étudiés, un indice pluviométrique annuel a été calculé, défini comme une variable centrée réduite (Lamb, 1982):  $(x_i - \bar{x})/s$ , avec  $x_i$ : pluviométrie de l'année  $i$ ;  $\bar{x}$ : pluviométrie moyenne inter-annuelle sur la période de référence;  $s$ : écart-type de la pluviométrie annuelle sur la période de référence. Cet indice traduit un excédent ou un déficit pluviométrique pour l'année considérée par rapport à la période de référence choisie. La Fig. 2 présente une cartographie régionale de la moyenne par quinquennat des indices pluviométriques depuis 1970. On observe que la région est déficitaire dans son ensemble entre 1970 et 1995 et ponctuée de zones excédentaires. Ce caractère déficitaire s'accroît au cours de la décennie 80 et apparaît très marqué entre 1980–1984 au-delà de 10°N; les valeurs des indices  $y$  sont très élevées en valeur absolue. La période 1990–1995 apparaît toujours déficitaire, cependant les valeurs des indices sont plus faibles en valeur absolue. Cette représentation cartographique souligne bien le fait que le caractère déficitaire apparu depuis les années 70 se prolonge durant la première moitié de la décennie 1990.

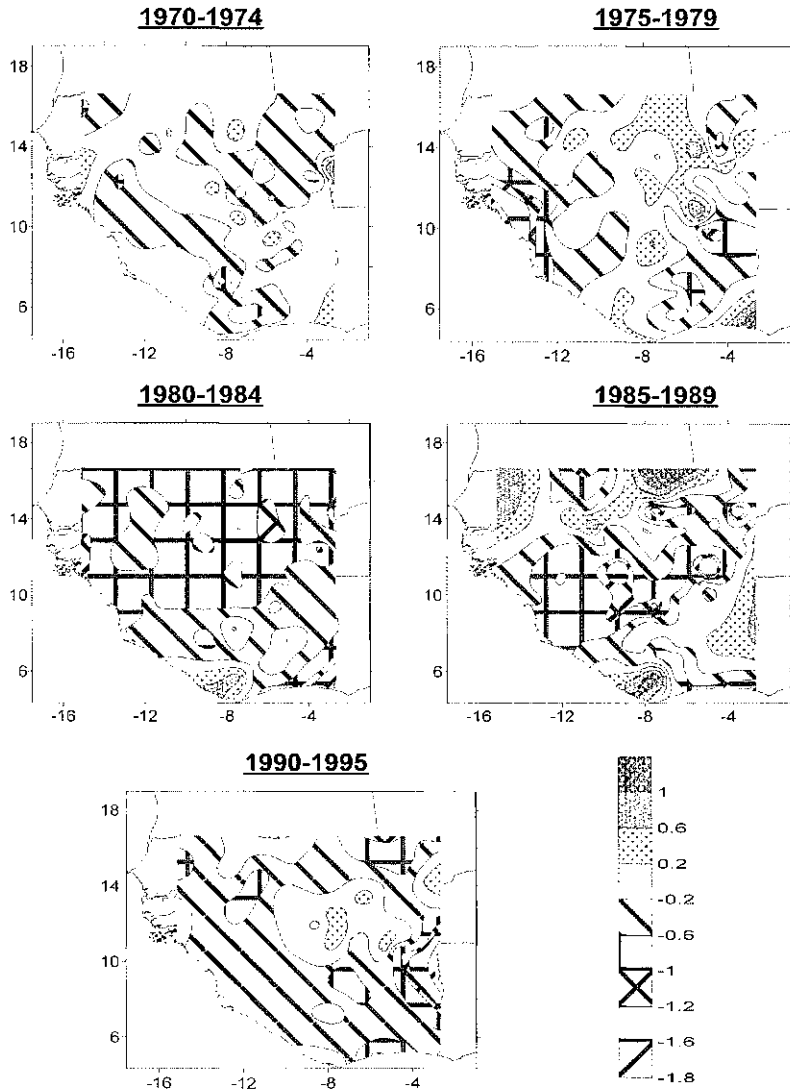


Fig. 2 Evolution des indices pluviométriques quinquennaux de 1975 à 1995.

### Corrélation sur le rang

Ce test vérifie le caractère aléatoire des séries (Kendall & Stuart, 1943), ici les séries des pluies annuelles à partir de 1975. L'hypothèse alternative du test est celle d'une tendance. Toutefois, en présence d'une rupture en moyenne dans la série, le test rejette l'hypothèse nulle sans que l'hypothèse de tendance soit valide. Le test accepte l'hypothèse nulle "la série est aléatoire" pour tous les postes étudiés, quel que soit le risque de première espèce, 10%, 5% et 1%, considéré, à l'exception de la station de Mourdiah (Mali).

**Tableau 1** Résultats de la segmentation du Hubert (valeurs en mm).

Station	Pays	Segment 1			Segment 2			Segment 3		
		Début	Fin	Moy- enne	Début	Fin	Moy- enne	Début	Fin	Moy- enne
<i>Soubre</i>	<i>Côte d'Ivoire</i>	1975	1995	1297	1996	1996	1869			
Faranah	Guinée	1975	1982	1625	1983	1993	1387	1994	1995	1865
<i>Kankan</i>	<i>Guinée</i>	1975	1993	1352	1994	1994	1983			
<i>Kindia</i>	<i>Guinée</i>	1975	1993	1866	1994	1994	2451			
<i>Baguera</i>	<i>Burkina Faso</i>	1975	1996	1130	1997	1998	1461			
Thyou	Burkina Faso	1975	1987	477	1988	1996	602			
Loumana	Mali	1975	1975	1405	1976	1994	960	1995	1998	1183
Kita	Mali	1975	1977	1015	1978	1987	794	1988	1998	986
Mourdiah	Mali	1975	1981	497	1982	1998	337			
Sikasso	Mali	1975	1981	1267	1982	1996	1050			
<i>Bakel</i>	<i>Sénégal</i>	1975	1993	470	1994	1995	645			

### Segmentation de Hubert

Cette méthode consiste à découper la série en  $m$  segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s) (Hubert *et al.*, 1989) au regard du test de Scheffé (Dagnelie, 1970). Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne. D'après les auteurs (Hubert *et al.*, 1989), cette procédure de segmentation peut être regardée comme un test de stationnarité. Si la procédure ne produit pas de segmentation acceptable d'ordre supérieur ou égal à 2, alors l'hypothèse nulle de stationnarité est acceptée.

Cette méthode a donc été appliquée sur les mêmes séries chronologiques utilisées précédemment. Le Tableau 1 présente les résultats obtenus. Les valeurs en italiques représentent des segments de 1 ou 2 années, qui correspondent à la fois à un début ou une fin de série avec des valeurs de pluie exceptionnelles. Dans ce cas, il ne s'agit pas de rupture au sens considéré, c'est-à-dire un changement de moyenne. Seules six stations sur 54 présentent des ruptures dans leur série. Les ruptures détectées en 1981 et 1982 correspondent à une diminution de la pluviométrie annuelle tandis que celles détectées en 1987 et 1994 correspondent à une augmentation de la pluviométrie annuelle. Les postes concernés se situent tous au nord de 10°N de latitude. Toutefois, les trois postes pour lesquels le test révèle une augmentation de la pluviométrie annuelle sont relativement isolés les uns des autres (distants de 150 à 800 km) et leurs résultats ne peuvent donc traduire un comportement régional.

### Test de permutation

Le test de permutation, présenté par Kazi-Aoual *et al.* (1995), Khodja *et al.* (1998), Good (2000), et Lubès-Niel *et al.* (2001), consiste à définir une statistique dépendant des données de deux périodes et à la comparer à toutes celles obtenues après permutation des observations. La statistique retenue repose sur la formulation du

**Tableau 2** Probabilité associée au test de permutation.

Probabilité associée au dépassement statistique du test $\hat{\alpha}$	Classe	Dénombrement
<1%	Changement très significatif	1
entre 1 et 10%	Changement significatif	3
>10%	Pas de changement (série homogène)	33

problème qui a été adoptée. Celle-ci s'exprime en termes d'indépendance entre un tableau  $Y$  croisant en lignes les années de 1980 à 2000 et en colonnes les indicatrices (1 ou 0) caractérisant l'appartenance (1) ou non (0) de chaque année à la décennie 1980 (1ère colonne) et à la décennie 1990 (2ème colonne), et un tableau  $X$  croisant de même, et par station, en lignes les années et en colonnes les totaux mensuels. Ce tableau est établi sur la période de la saison des pluies qui peut être quelque peu variable pour un même bassin d'une station à une autre. Le problème posé revient à étudier l'influence du tableau  $X$  sur le tableau  $Y$ . En d'autres termes,  $Y$  peut-il être expliqué par  $X$ ? La relation entre  $X$  et  $Y$  est étudiée par l'Analyse en Composantes Principales sur Variables Instrumentales (ACPVI) (Sabatier *et al.*, 1989). La statistique tirée de l'ACPVI qui fait l'objet du test est donnée par l'expression:  $trace(X(X'X)^{-1}X'YY')/trace(YY')$ . L'hypothèse nulle d'indépendance des deux tableaux, c'est-à-dire d'absence de changement entre les deux décennies est rejetée avec un risque  $\alpha$  si la probabilité de dépassement de la statistique ci-dessus  $\hat{\alpha}$  évaluée au moyen des permutations, est telle que  $\hat{\alpha} \leq \alpha$ . En pratique, sous l'hypothèse nulle, Mardia (1971) calcule les valeurs exactes des trois premiers moments de la statistique sans générer la moindre permutation des observations. Kazi-Aoual *et al.* (1995) approximent ainsi la statistique considérée par une distribution connue, normale, Bêta ou encore Pearson de type III, et calculent ainsi sa probabilité de dépassement  $\hat{\alpha}$ . En fait, le test est ici utilisé sous sa forme bilatérale, l'hypothèse alternative du changement n'étant pas davantage caractérisée. Ainsi,  $\hat{\alpha}$  est comparée à  $\alpha$  si  $\hat{\alpha}$  est inférieure à 0.5; dans le cas inverse c'est  $(1 - \hat{\alpha})$  qui est comparée à  $\alpha$ .

Le test a été mis en œuvre sur les stations qui présentent un pourcentage de données manquantes inférieur à 18% sur l'une ou l'autre des deux décennies considérées. Chaque année étant caractérisée par les valeurs mensuelles de la saison des pluies, le taux de 18% ci-dessus correspond au plus à deux années de lacunes sur une décennie. Au-delà de ce taux, le poids des données manquantes est jugé significatif dans l'analyse. Les années pour lesquelles tous les mois de la saison des pluies sont manquants sont supprimées du traitement. Par contre, les lacunes isolées ont été remplacées par la moyenne interannuelle du mois considéré. Deux risques de première espèce sont considérés pour le test: 10% et 5%. Le Tableau 2 rassemble les résultats obtenus. Pour chacun des bassins Sénégal, Gambie et Haut Niger, l'hypothèse nulle d'absence de changement est rejetée pour seulement quatre stations, quelle que soit l'hypothèse relative à la distribution de la statistique (normale, Bêta ou Pearson III), et quel que soit le risque de première espèce considéré. Pour le bassin du Sassandra, pour lequel très peu de stations ont pu être traitées, étant donné la faible disponibilité de données au-delà de 1996 ou même 1995, l'hypothèse nulle est acceptée.

## CONCLUSION

Sur la cinquantaine de stations étudiées, seules trois stations du Burkina Faso et cinq du Mali enregistrent un changement structurel entre les décennies 1980 et 1990. Au vu des résultats obtenus, il est raisonnable de penser que les bassins étudiés ont conservé des caractéristiques pluviométriques stables entre ces deux décennies, cette stabilité s'appuyant sur les relations existant entre les mois considérés. Il s'avère que, malgré la reprise des pluies en 1985–1986 et 1994, la période 1985–1998 reste déficitaire. La sécheresse semble donc s'être poursuivie en Afrique de l'ouest durant la décennie 1990.

## RÉFÉRENCES

- Dagnelie, P. (1970) *Théorie et Méthodes Statistiques* vol. 2. Les presses agronomiques de Gembloux, ABSL edn, Gembloux, Belgique.
- Good, P. (2000) *Permutation Tests. A Practical Guide to Resampling Methods for Testing Hypotheses* (second edn). Springer-Verlag, New York, USA.
- Hubert, P., Carbonnel, J. P. & Chaouche, A. (1989) Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de Afrique de l'Ouest. *J. Hydrol.* **110**, 349–367.
- Kazi-Aoual, F., Hitiér, S., Sabatier, R. & Lebreton, J. D. (1995) Refined approximations to permutation tests for multivariate inference. *Comp. Stat. Data Analysis* **20**, 643–656.
- Kendall, S. M. & Stuart, A. (1943) *The Advanced Theory of Statistics* vols 2 and 3 of 1977 edn. Charles Griffin, London, UK.
- Khodja, H., Lubès-Niel, H., Sabatier, R., Masson, J. M., Servat, E. & Paturel, J. E. (1998) Analyse spatio-temporelle de données pluviométriques en Afrique de l'Ouest. Recherche d'une rupture en moyenne. Une alternative intéressante: les tests de permutations. *Rev. Stat. Appl.* **96**(1), 95–110.
- Lamb, P. J. (1982) Persistence of Subsaharan drought. *Nature* **299**, 46–47.
- Lubès-Niel, H., Séguis, L. & Sabatier, R. (2001) Étude de stationnarité des caractéristiques des événements pluvieux de la station de Niamey sur la période 1956–1998. *C. R. Acad. Sci.* **333**, 645–650.
- Mardia, K. (1971) The effect of nonnormality on some multivariate tests and robustness to nonnormality in the linear model. *Biometrika* **58**(1), 105–121.
- Paturel, J. E., Servat, E., Kouamé, B., Lubès-Niel, 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.
- Sabatier, R., Lebreton, J. D. & Chessel, D. (1989) Principal Component analysis with instrumental variables as a tool for modelling composition data. In: *Multivariate Data Analysis* (ed. by R. Coppi & S. Balasco), 341–352. North Holland, Amsterdam, The Netherlands.