

Fluctuations pluviométriques et analyse fréquentielle de la pluviosité en Afrique centrale

SYLVAIN BIGOT

Centre de Recherches de Climatologie, CNRS-Q5080, Université de Bourgogne, Faculté des Sciences Gabriel, F-21000 Dijon, France

e-mail: sylvain.bigot@u-bourgogne.fr

VINCENT MORON*

CAGEP-URA903, Université de Provence, 29 Avenue Robert Schuman, F-13621 Aix-en-Provence Cedex, France

JEAN-LUC MELICE

Institut d'Astronomie/ORSTOM, 2 Chemin du Cyclotron, B-1348 Louvain-La-Neuve, Belgique

ERIC SERVAT & JEAN-EMMANUEL PATUREL

Antenne Hydrologique ORSTOM, 06 BP 1203 Cidex 1, Abidjan 06, Côte d'Ivoire

Résumé Ce travail établit les signaux cohérents de la variabilité climatique de l'Afrique centrale grâce à une base de données pluviométriques originale, vérifiée et couvrant la période 1951–1990. Les résultats statistiques indiquent que l'Afrique centrale n'est pas un ensemble pluviométrique uniforme qui varie de façon homogène à l'échelle interannuelle. Il est tout de même possible d'observer plusieurs analogies avec la variabilité d'autres régions africaines, notamment les transitions interannuelles enregistrées sur la période 1951–1990. Il semble également que les principales fluctuations pluviométriques de l'Afrique centrale correspondent à des modifications de l'amplitude saisonnière.

INTRODUCTION

En Afrique, il est courant de dire que les climats arides et semi-arides possèdent une plus grande variabilité que les climats humides, notamment équatoriaux, où les pluies sont abondantes toute l'année. A l'inverse, on a trop tendance à généraliser à l'Afrique centrale des phénomènes qui se développent en Afrique occidentale ou australe. Ces comportements proviennent essentiellement d'une méconnaissance profonde de la distribution spatiale et temporelle de l'eau et des interactions climatiques en Afrique centrale, alors que ce domaine représente un cinquième du continent africain. Ce travail propose donc une base de données pluviométriques couvrant la majeure partie de l'Afrique centrale sur la période 1951–1990. Il décrit également la stabilité interannuelle des grandes structures pluviométriques cohérentes grâce à des méthodes analytiques. L'analyse par Transformée en Ondelettes (ATO), méthode encore peu courante en climatologie, est ainsi utilisée pour l'étude fréquentielle de la pluviosité régionale. En effet, très souvent, les séries moyennes

* Aussi à: IMGA-CNR Via Gobetti 101, I-40129 Bologna, Italie.

analysées en climatologie sont de nature non-stationnaires, avec une grande variété de fréquences localisées ou intervenant au contraire sur toute la série (Lau & Weng, 1995). Une comparaison avec le reste de l'Afrique tropicale est ensuite effectuée, l'existence de fluctuations pluviométriques régionales au cours de ce siècle ayant déjà été mise en évidence (Nicholson, 1993; Camberlin, 1994; Moron, 1994; Paturel *et al.*, 1997).

LE FICHIER PLUVIOMETRIQUE CONSTITUE SUR L'AFRIQUE CENTRALE

Le réseau stationnel continue d'être la base essentielle pour l'étude de la variabilité spatiale, saisonnière et interannuelle des précipitations terrestres (Willmott *et al.*, 1994). Mais s'il est désormais possible d'obtenir deux séries climatologiques trentenaires complètes (1931-1960 et 1961-1990) sur une grande partie de l'Afrique, cela demeure très difficile en Afrique centrale. Avec environ 60 postes pluviométriques effectuant des relevés plus ou moins continus en République Démocratique du Congo sur les quatre dernières décennies, nous sommes revenus à un niveau inférieur à la période 1911-1913, où il existait 74 stations au Congo belge. D'ailleurs, les fichiers pluviométriques actualisés sur l'Afrique centrale ne possèdent pratiquement plus de données sur l'Angola et le Zaïre après 1975 (Hulme, 1992; Janicot, 1993). Grâce aux recoupements de plusieurs sources (Météorologies Nationales, ORSTOM, ASECNA, centres agronomiques, organismes de recherches, chercheurs particuliers) et à un travail de terrain, 118 stations sont pourtant finalement réunies sur l'Afrique centrale pour la période 1951-1990 (Fig. 1(a)). D'autres séries sont disponibles, mais on privilégie la qualité et l'homogénéité des données afin de pouvoir effectuer des études statistiques dans les meilleures conditions. Les plus grosses lacunes spatiales se trouvent dans les régions situées directement au sud de l'équateur (Mai-Ndombe, Salonga, Kivu), dans d'autres plus australes (Bandundu méridional, Kasai oriental et la majeure partie du Shaba au nord

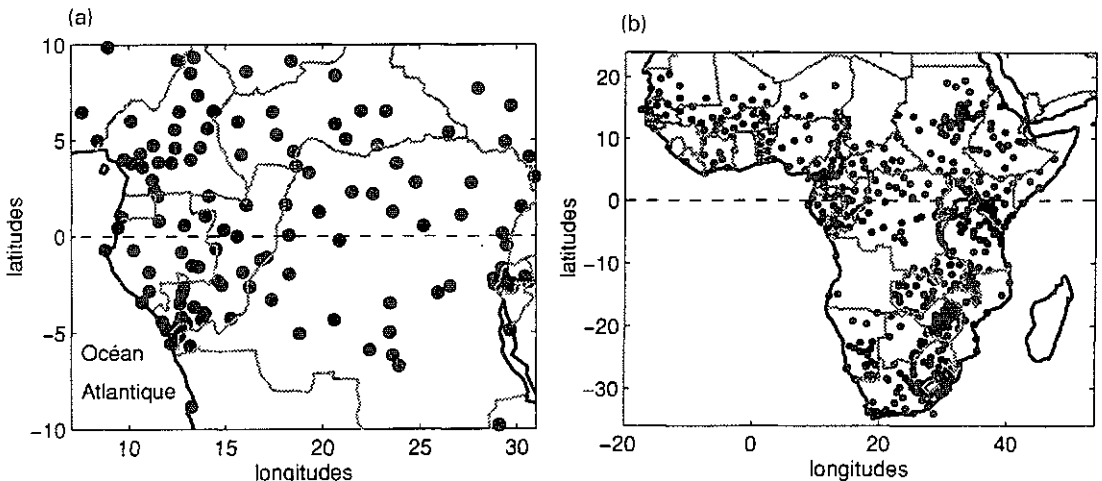


Fig. 1 Réseau pluviométrique stationnel sur la période 1951-1990 (a) en Afrique centrale, (b) en Afrique sub-saharienne.

de 10°S), ainsi qu'en Angola. Alors que les manques sont très faibles jusqu'en 1981, la situation se dégrade ensuite progressivement, notamment en 1989 et en 1990, où le nombre de stations est divisé par deux.

Pour comprendre l'originalité de la variabilité pluviométrique de l'Afrique centrale par rapport à celle du continent africain, une base de données est créée parallèlement sur l'ensemble de l'Afrique située au sud du Sahara. Elle regroupe 572 stations pour la période 1951-1990 (Fig. 1(b); Bigot *et al.*, 1995).

L'ANALYSE DE LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE INTERANNUELLE

Un espace pluviométrique fragmenté

Afin d'établir une régionalisation pluviométrique détaillée de l'Afrique centrale basée sur l'étude interannuelle, une Analyse en Composantes Principales avec rotation est effectuée avec 118 stations, sur la période 1951-1990. Pour respecter la saisonnalité équatoriale, les totaux annuels sont calculés sur la période septembre année 0/août année +1. Seuls les huit premiers modes sont retenus d'après un scree-test. Les structures spatiales sont cohérentes mais n'expliquent que 28.2% de la variance totale, montrant la complexité de la variabilité interannuelle fractionnée en de nombreux modes d'échelle fine (Fig. 2). Les régions les plus représentatives de la variabilité pluviométrique interannuelle de l'Afrique centrale sont finalement: (a) le Cameroun central (5% de variance), (b) le Congo-Gabon intérieur (4%), (c) le Bas-Congo (3.7%), (d) le Rwanda-Burundi (3.5%), (e) la RCA et le Haut-Zaïre (3.3%), (f) le Congo-Gabon côtier (3.2%), (g) la marge nord-tropicale (3%), (h) la cuvette centrale (2.6%). Certains modes présentent une grande unité géophysique dépendante

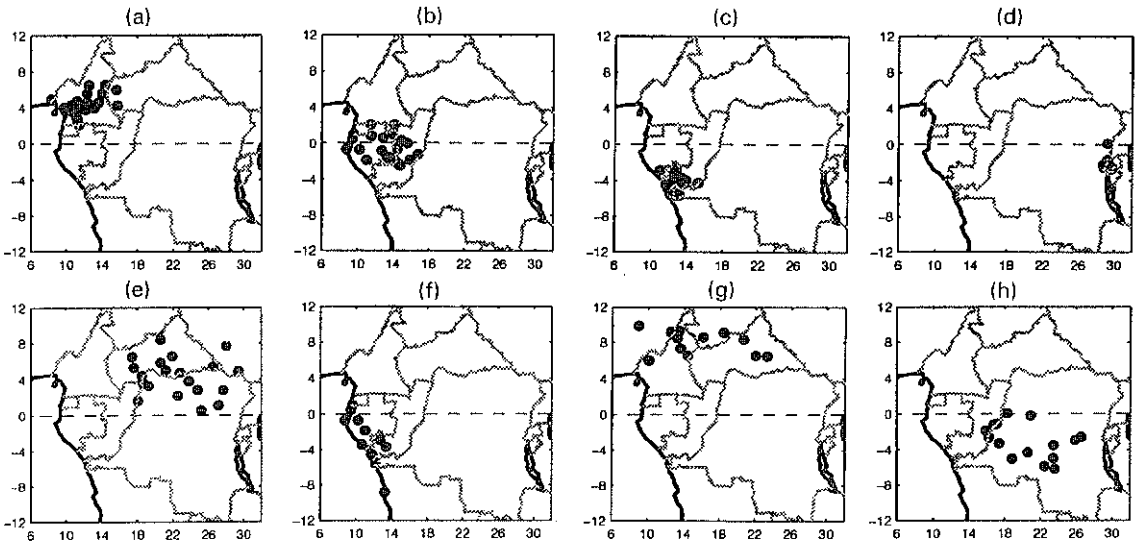


Fig. 2 Régionalisation pluviométrique en Afrique centrale sur la période 1951-1990 en fonction de la covariabilité interannuelle: (a) le Cameroun central, (b) le Congo-Gabon intérieur, (c) le Bas-Congo, (d) le Rwanda-Burundi, (e) la RCA/Haut-Zaïre, (f) le Congo-Gabon côtier, (g) la marge nord-tropicale, (h) la cuvette centrale.

du relief, des conditions atmosphériques et de l'unité floristique (Cameroun central, Rwanda-Burundi, Congo-Gabon côtier, cuvette centrale). Les trois premiers modes sont situés dans l'espace atlantique, suggérant le rôle essentiel des variations océaniques, notamment celles de l'upwelling côtier, dans la variabilité pluviométrique interannuelle. Aucune structure n'apparaît dans le Sud-Zaïre et en Angola à cause de l'absence de stations.

Les principales ruptures sur la période 1951–1990

Des méthodes statistiques, comme le test de Pettitt et la Split Moving Window Dissimilarity Analysis, répétées sur les huit modes régionaux et pour chaque saison des pluies, détectent cinq discontinuités interannuelles en Afrique centrale:

- (a) **Après 1958–1959:** les précipitations augmentent au Cameroun central, au Congo-Gabon intérieur, dans le Bas-Congo et dans la région Rwanda-Burundi. Ce changement est brutal et tranche avec la décennie 1950 dont la tendance pluviométrique est peu affirmée.
- (b) **Après 1961–1963:** cette période marque régionalement une rupture exceptionnelle à l'échelle du siècle dans toutes les séries climatiques et surtout hydrologiques des régions équatoriales (Conway & Hulme, 1993; Camberlin, 1994). Cette transition est suivie d'une hausse des précipitations dans la cuvette congolaise, alors que l'espace atlantique subit un déficit pluviométrique.
- (c) **Après 1967–1972:** la diminution des précipitations, sensible à l'échelle de toute l'Afrique centrale, s'effectue en deux étapes, avec une première baisse entre 1965 et 1969, suivie d'une autre entre 1969 et 1974. La décennie 1970 est globalement la plus sèche depuis 1951, succédant à la décennie 1960 régionalement très pluvieuse.
- (d) **Après 1978–1980:** cette transition ressemble à celle de 1958–1959 puisqu'elle touche les marges occidentale et orientale de l'Afrique centrale, traduisant sûrement un bouleversement de la circulation zonale. Cette période marque le renforcement du déficit pluviométrique observé depuis la fin des années 60.
- (e) **Après 1982–1985:** le domaine le plus continental de l'Afrique centrale (cuvette centrale, RCA et Haut-Zaïre) enregistre une baisse brutale des précipitations annuelles, alors que la grande saison des pluies au Congo-Gabon redevient excédentaire. La décennie 80 peut être considérée globalement comme la plus déficitaire en Afrique centrale (Servat *et al.*, 1996; Bigot, 1997).

Malgré l'importance de ces fluctuations, le cycle saisonnier reste le signal dominant de la variabilité climatique de l'Afrique centrale, mais il est rarement fait état de ses modulations interannuelles car on le considère comme une oscillation quasi stable. Pourtant, une ATO sur la période 1951–1990 révèle qu'à l'échelle interannuelle, il existe une bande très énergétique dans les basses longueurs d'onde comprise entre 1 et 12 mois, expliquant de 48 à 54% de la variance en Afrique centrale: le cycle saisonnier a donc un caractère non-stationnaire en Afrique centrale. Mais les différences régionales sont importantes, à l'exemple de la région côtière du Congo-Gabon, de l'ensemble RCA orientale/Haut-Zaïre et de la cuvette centrale (Fig. 3).

Les régions les plus océaniques sont celles qui possèdent les plus fortes modulations saisonnières interannuelles et chaque rupture interannuelle détectée en

région périallantique correspond à une modification de l'amplitude des fréquences saisonnières (Fig. 3(a)). La bande côtière, directement sous l'influence des TSO atlantiques pendant une partie de l'année, ne possède pas la stabilité interannuelle des précipitations plus continentales. En fait, la variabilité interannuelle des pluies en Afrique centrale est en partie lié à la distance à l'océan. Si la baisse de la pluviométrie en Afrique après 1970 touche aussi bien les mois des saisons sèches que ceux des saisons des pluies (Servat *et al.*, 1996), la plus grande variabilité interannuelle en Afrique centrale atlantique s'observe pendant la petite saison sèche (janvier-février). Le passage à la grande saison sèche est également variable, tant dans son déroulement temporel que dans son intensité pluviométrique, parce qu'il

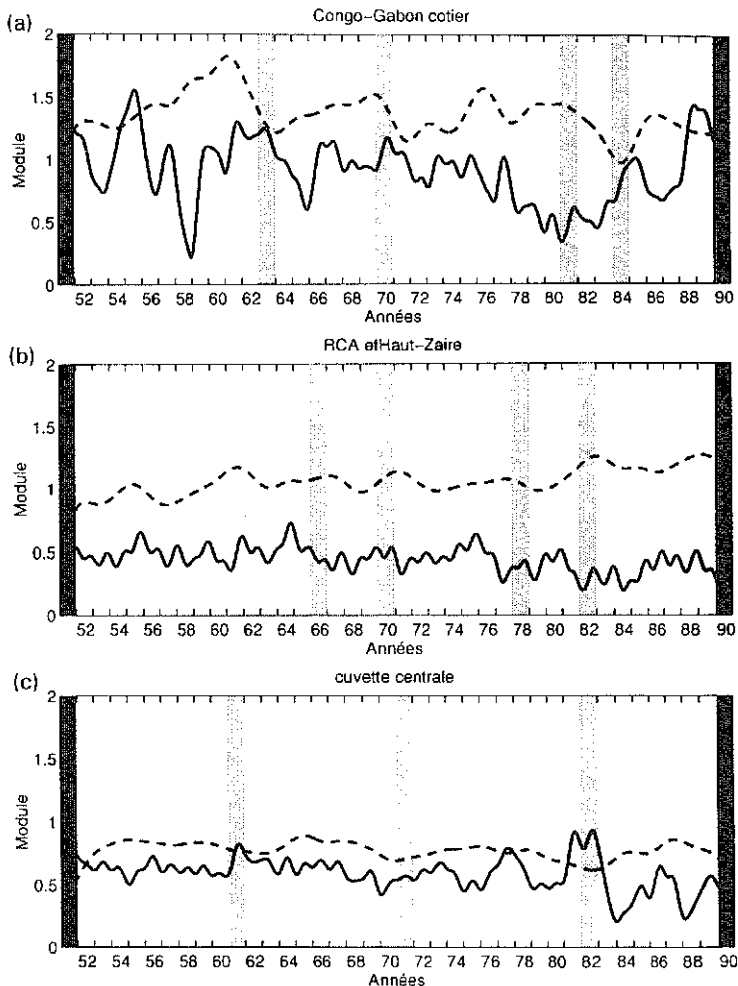


Fig. 3 Modulations pluviométriques dans 2 bandes de fréquences (6 mois: trait; 12 mois: tirets) sur la période 1951-1990 pour trois régions d'Afrique centrale: (a) le Congo-Gabon côtier, (b) la RCA et le Haut-Zaire, (c) la cuvette centrale (les résultats sont issus d'une Analyse par Transformée en Ondelettes; le noir indique les valeurs détériorées par l'effet de fin de bande, le gris clair indique les principales ruptures repérées précédemment par une SMWDA).

demeure largement influencé par l'upwelling côtier qui possède des caractéristiques irrégulières.

Il est en revanche plus difficile d'établir une liaison entre les ruptures interannuelles enregistrées sur la marge septentrionale du Zaïre ou dans la cuvette centrale, et des changements du rythme saisonnier (Fig. 3(b) et (c)). En fait, le cycle annuel de la cuvette centrale est quasi stationnaire, et seul le cycle semi-annuel varie véritablement, indiquant les fluctuations des deux saisons des pluies. Pourtant, la fréquence des fluctuations interannuelles suggère un rythme quasi décennal (1961, 1971 et 1982). Il n'y aurait donc pas de caractère aléatoire dans la variabilité de la cuvette forestière, et la variabilité décennale, même faible, serait liée à un dérèglement du cycle annuel.

COMPARAISON A L'ECHELLE DE L'AFRIQUE TROPICALE

Une Analyse en Composantes Principales avec rotation des anomalies centrées réduites des totaux annuels indique qu'il existe essentiellement sept aires de covariabilité pluviométrique cohérentes en Afrique sub-saharienne sur la période 1951-1990, expliquant 51.7% de la variance totale: (a) le Sahel occidental, (b) le bassin du Zambèze, (c) l'Afrique orientale, (d) la zone guinéenne, (e) l'Afrique australe, (f) le Sahel oriental, (g) l'Afrique centrale (Bigot, 1997). A l'échelle continentale, l'Afrique centrale est l'espace africain qui possède la plus faible variabilité pluviométrique interannuelle en terme d'écart à la moyenne, la couverture végétale participant à la régulation du contenu atmosphérique en vapeur d'eau. Mais les précipitations de l'Afrique centrale ne sont pas stables, avec l'absence de phénomènes récurrents comme en Afrique occidentale (Tableau 1). La recherche de tendances par le biais du test de Mann-Kendall précise que la baisse générale des précipitations entre 1951 et 1990 affecte surtout les régions de l'hémisphère nord en marge de la cuvette congolaise: le Nord du Cameroun et de la RCA (40% de la variance), le sud de la RCA et le Haut-Zaïre (de 25 à 30%), le Cameroun central (15%). Le domaine Congo-Gabon enregistre aussi une diminution générale des précipitations (17% de la variance), mais uniquement pendant la petite saison des pluies de mars-avril.

Quatre périodes charnières apparaissent dans la pluviométrie africaine entre 1951 et 1990:

- (a) **1959-1961** est suivie d'une hausse générale des précipitations en Afrique subéquatoriale, de la Guinée à l'Afrique de l'Est, et d'une baisse dans les domaines tropicaux.
- (b) **1967-1971** s'accompagne d'une baisse très importante dans toute la bande sahélienne. Le changement intervient en fait dès 1964-1966 dans le Sahel oriental et en 1969-1971 dans la partie occidentale.
- (c) **1976-1978** marque l'intensification du déficit pluviométrique sur la Guinée et le début d'une phase plus sèche en Afrique australe. En même temps, le Sahel oriental et l'Afrique de l'est connaissent une légère hausse de leurs précipitations.
- (d) **1980-1981** est le dernier changement de tendance observé sur la période 1951-1990. Il correspond à une baisse généralisée des précipitations africaines sub-sahariennes.

Tableau 1 Synthèse des principales discontinuités pluviométriques rencontrées dans sept régions africaines sur la période 1951-1988.

	Années																													
	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87											
Sahel occidental	■										□																			
Sahel oriental	■										□				■		□													
Zone guinéenne	□										■		□		■		□		■		□									
Afrique orientale	□										■				□		■		□		■									
Afrique centrale	□										■				□															
Bassin du Zambèze	■										□		■				□		■		□									
Afrique australe	□										■				□		■		□		■		□							

Les ruptures sont détectées par une SMWDA utilisant des fenêtres de 5, 9, 13, 17 et 21 ans; le gris clair (*foncé*) indique une baisse (*hausse*) des précipitations par rapport à la période précédente; les années en blanc correspondent aux discontinuités; les régions sont présentées du nord au sud; les discontinuités sont significatives au seuil de 99% selon un test de Monte Carlo utilisant 10 000 séries pseudo-aléatoires possédant la même corrélation sériale de rang 1 et la même variance que la série initiale.

Les fluctuations pluviométriques de l'Afrique centrale, même si elles recourent celles rencontrées à l'échelle continentale, n'interviennent donc pas exactement aux mêmes périodes, laissant croire que le comportement de l'Afrique centrale est atypique. Con way & Hulme (1993) pensent même que l'Afrique équatoriale a enregistré des changements pluviométriques totalement différents de ceux du reste de l'Afrique sur les soixante dernières années. Notre travail confirme qu'en fait le comportement de l'Afrique centrale est très proche de celui de la zone guinéenne, mais aussi de l'Afrique orientale, particulièrement dans les années 50. La baisse des précipitations après 1970, significative en Afrique centrale mais moins spectaculaire qu'au Sahel, est également sous-estimée à l'échelle continentale parce qu'elle affecte peu le quotidien.

SYNTHESE

L'Afrique centrale n'est pas un ensemble pluviométrique uniforme qui varie de façon homogène à l'échelle interannuelle, à l'inverse des autres modes africains. Ceci explique son faible poids dans la variance pluviométrique totale à l'échelle continentale. Malgré tout, il est possible d'observer plusieurs analogies avec la variabilité d'autres régions équatoriales ou tropicales, notamment l'Afrique orientale et le domaine sahélien. Les précipitations de l'Afrique centrale possèdent des modes de variabilité dans une gamme fréquentielle allant de l'échelle intrasaisonnière à l'échelle interannuelle, comme cela a déjà été observé pour d'autres régions tropicales (Rasmusson & Arkin, 1993). Mais l'essentiel de la variabilité interannuelle

en Afrique centrale s'effectue dans le domaine des très hautes fréquences d'échelle saisonnière (6 et 12 mois). Les principaux changements de tendance pluviométrique interannuelle correspondent à des modifications de l'amplitude saisonnière. L'oscillation quasi périodique liée au cycle saisonnier possède donc une nature non-stationnaire en Afrique centrale, surtout en zone côtière. Plusieurs travaux ont déjà montré qu'il existe une modification de la circulation atmosphérique à la fin des années 70, mais son rôle dans le système couplé océan-atmosphère n'est pas encore bien compris (Hurrell & Van Loon, 1994). Le cycle annuel pourrait avoir une influence fondamentale en terme de contrôle sur les autres modes de variabilité. En hypothèse, les variations haute fréquence de l'atmosphère, par le biais de processus non-linéaires, peuvent conduire à une variabilité atmosphérique basse fréquence accompagnée d'une réponse océanique amplifiée. A cause des spécificités régionales, nos résultats montrent que la connaissance de la stabilité climatique et des états transitoires passe par l'amélioration du diagnostic en Afrique centrale afin d'obtenir une vision globale nécessaire à la prévision climatique d'échelle planétaire. A long terme, cette variabilité climatique est un élément déterminant pour l'équilibre environnemental de l'espace forestier, par ailleurs soumis à une pression anthropique importante (pratiques culturelles, exploitation et dégradation du milieu arboré).

REFERENCES

- Bigot, S., Camberlin, P., Moron, V., Richard, Y. & Roucou P. (1995) Modes of rainfall variability in tropical Africa and their stability through time. In: *21st Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology* (Miami, Floride, USA), 448-449.
- Bigot, S. (1997) Les précipitations et la convection profonde en Afrique centrale: cycle saisonnier, variabilité interannuelle et impact sur la végétation. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Centre de Recherches de Climatologie, Dijon, France.
- Camberlin, P. (1994) Les précipitations dans la Corne de l'Afrique—climatologie, variabilité et connexions avec quelques indicateurs océano-atmosphériques. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Centre de Recherches de Climatologie, Dijon, France.
- Conway, D. & Hulme, M. (1993) Recent fluctuations in precipitation and runoff over the Nile sub-basins and their impact on main Nile discharge. *Climatic Change* **25**, 127-151.
- Hulme, M. (1992) Rainfall changes in Africa: 1931-1960 to 1961-1990. *Int. J. Climatol.* **12**, 685-699.
- Hurrell, J. W. & Van Loon, H. (1994) A modulation of the atmospheric annual cycle in the Southern Hemisphere. *Tellus* **46A**, 325-338.
- Janicot, S. (1993) Variabilité des champs pluviométriques en Afrique (1970-1988)—catalogue pour la validation des Modèles de Circulation Générale. Note interne LMD, no. 186.
- Lau, K. M. & Weng, H. (1995) Climate signal detection using Wavelet Transform: how to make a time series sing. *Bull. Am. Met. Soc.* **12**, 2391-2402.
- Moron, V. (1994) Variabilité des précipitations en Afrique tropicale au nord de l'équateur (1933-1990) et relations avec les températures de surface océanique et la dynamique de l'atmosphère. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Centre de Recherches de Climatologie, Dijon, France.
- Nicholson, S. E. (1993) An overview of African rainfall fluctuations in the last decade. *J. Clim.* **6**, 1463-1466.
- Paturel, J. E., Servat, E., Lubes-Niel, H. & Delattre M. O. (1997) Variabilité climatique et analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne. *C. R. Acad. Sci., Sciences de la Terre et des Planètes* **325**, 779-782.
- Rasmusson, E. M. & Arkin, P. A. (1993) A global view of large-scale precipitation variability. *J. Clim.* **8**, 1495-1522.
- Servat, E., Paturel, J. E., Lubes-Niel, H., Kouame, B. & Masson, J. M. (1996) Variabilité des régimes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne. *C. R. Acad. Sci., Géosciences de Surface* **324**, 835-838.
- Willmott, C. J., Robeson, S. M., Feddema, J. J. (1994) Estimating continental and terrestrial precipitation averages from rain-gauge networks. *Int. J. Climatol.* **14**, 403-414.