

Évolution récente interannuelle des précipitations au Congo-Brazzaville (1932-2020)

Bertille Raïssa NKOYI KIBIMI et Gaston SAMBA*

Résumé

Cet article porte sur l'analyse des séries des précipitations au Congo-Brazzaville pour la période 1932-2020. À partir des données des précipitations mensuelles normalisées, les régimes obtenus montrent dans le nord-Congo un climat équatorial et dans le sud-Congo un climat tropical humide. L'espace du Congo-Brazzaville est sous dominance de deux zones climatiques où l'organisation moyenne et l'évolution interannuelle des précipitations sont nuancées. Le territoire du Congo-Brazzaville connaît une évolution des précipitations alternée des décennies d'excédents pluviométriques et de déficits des années 1930 jusqu'aux années 2010. Les tests de tendance statistique appliqués à des séries pluviométriques montrent une évolution interannuelle des précipitations marquée par une rupture dans quelques stations soit au pas de temps saisonnier, soit au pas de temps annuel. Les deux ensembles climatiques (équatorial et tropical humide) ne connaissent pas la même évolution de précipitations annuelles. La tendance des précipitations est à la baisse dans le Nord-Congo et à une évolution stationnaire dans le Sud-Congo. Les saisons des pluies SON et MAM tendent à se raccourcir.

Mots-clés

Congo-Brazzaville, Évolution, Précipitations, Tests Mann-Kendall et Student.

Abstract

This paper focuses on the analysis of rainfall series in Congo-Brazzaville for the period 1932-2020. Based on normalized monthly rainfall data, the regimes obtained show an equatorial climate in northern Congo and a humid tropical climate in southern Congo. The Congo-Brazzaville area is dominated by two climatic zones where the

* Centre de Recherche et d'Études sur l'environnement, École Normale Supérieure, Université Marien Ngouabi BP 3162, Brazzaville – République du Congo,
E-mail : cree.ensumng@gmail.com

average organization and interannual evolution of rainfall are nuanced. The territory of Congo-Brazzaville has experienced an evolution of rainfall alternating between decades of rainfall surpluses and deficits since the 1930s until the 2010s. Statistical trend tests applied to rainfall series show an interannual evolution of rainfall marked by a break in some stations either on a seasonal or annual time step. The two climatic zones (equatorial and humid tropical) do not have the same annual rainfall trends. The trend in rainfall is downward in northern Congo and stationary in southern Congo. The SON and MAM rainy seasons tend to become shorter.

Keywords

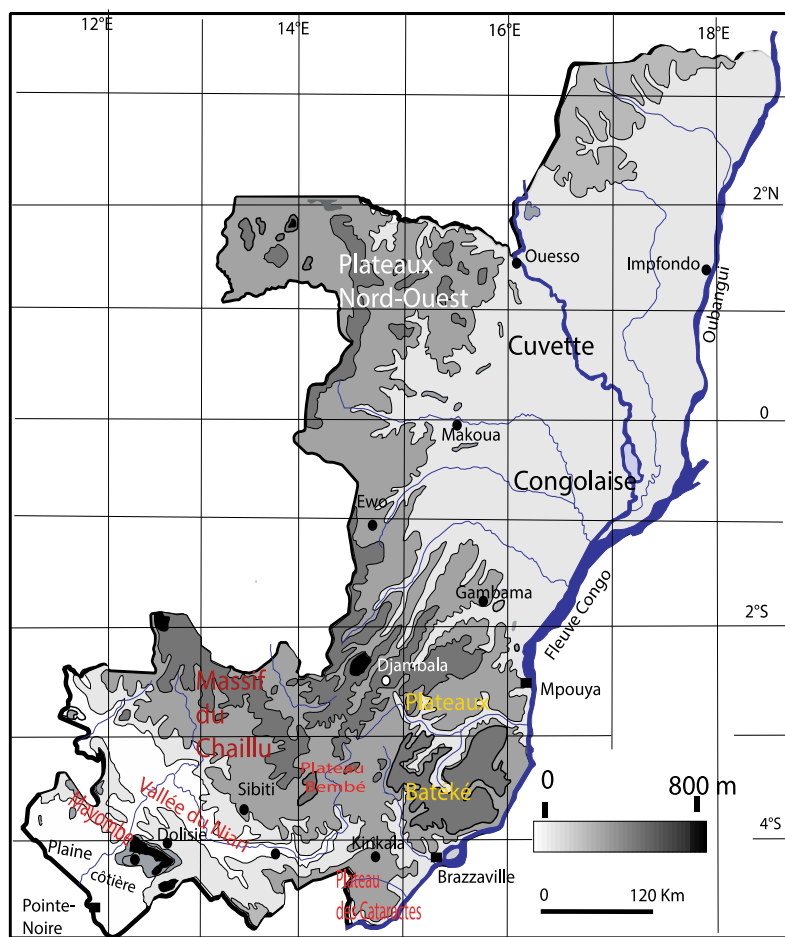
Congo-Brazzaville, Evolution, Precipitations, Test Mann-Kendall and Student.

Introduction

La présente étude est un examen de l'évolution des séries des précipitations sur le territoire du Congo-Brazzaville. L'espace du Congo-Brazzaville se situe dans une aire comprise entre les latitudes 4°N et 5°S, et, entre 11° et 19°E de longitude (figure 1) en Afrique Équatoriale Atlantique (AEA). Sa superficie totale est de 342 000 km² avec une population de 5 millions habitants environ (estimation 2020). Le Congo-Brazzaville, de par sa situation géographique, fait partie intégrante du « bassin forestier du Congo ». Il forme les marges occidentales du bassin-versant du fleuve Congo. Au plan atmosphérique, le bassin-versant du fleuve Congo est une zone de basse pression atmosphérique en permanence ou de marais barométrique et à forte convection profonde. Il est un espace où longtemps la variabilité spatiale et temporelle des précipitations a toujours été liée à la migration latitudinale de la Zone de Convergence InterTropicale (M. Leroux, 1975 ; SE Nicholson, 1982 ; B Suchel, 1988). De même, les travaux de M. Leroux (1975), M. Tanaka et *al.* (1975), R. P. Motha et *al.*, (1980), associent la Zone de Convergence Interocéanique (ZCIO), zone de rencontre entre les flux de masses d'air issues des anticyclones de Sainte-Hélène dans l'océan Atlantique et des Mascareignes dans l'océan Indien, à la distribution des précipitations. Des récents travaux (Samba G. et Mpounza M., 2005, Samba et *al.*, 2008) attribuent

cette variabilité spatiale des précipitations à l'influence intrinsèque de la dépression de la cuvette congolaise. L'espace du Congo-Brazzaville, se situé au sud de l'équateur météorologique, la majorité du territoire congolais est sous l'influence prépondérante des flux des alizés issus de l'hémisphère sud. Le territoire congolais a une humidité relative de l'air de l'ordre de 70 à 90%.

Figure 1 : Le territoire congolais et les principales stations synoptiques utilisées.



Le besoin d'étudier les incidences de la variabilité des précipitations sur les écosystèmes naturels et anthropisés existe et contribue à la compréhension des changements climatiques récents ou en cours.

L'étude locale des précipitations est une contribution à la connaissance des modifications climatiques. Peu de travaux ont été réalisés à ce jour sur l'analyse des longues séries des précipitations à petite échelle spatiale dans la région, et plus généralement en climat tropical humide. Depuis la décennie 1980, des nombreux travaux en Afrique de l'ouest (S. Janicot, 1992, p. 769 ; S. Janicot et B. Fontaine, 1993, p. 30-50 ; B. Fontaine *et al.*, 1995, p1503-1510), en Afrique de l'Est (L. Ogallo, 1988, p. 31-43 ; G. Beltrando et P. Camberlin, 1993, p. 535, 540 ; P. Camberlin, 1997, p. 1380-1392, C. J. Schreck and F. M. Semazzi, 2004, p. 687), en Afrique du sud (P. D. Tyson, 1975, p. 820 ; Van Heerden, 1988, p. 580) et en AEA (Y. L'Hôte, 1996, p. 57 ; J. D. Maloba Makanga et G. Samba, 1997, p. 42, 44 ; S. Bigot *et al.*, 1997, p. 185 ; A. Laraque *et al.*, 2001, p. 106-110) ont été consacrées à la variabilité pluviométrique à des différentes échelles et ceux-ci ont mis en évidence une rupture des précipitations intervenue au cours de la décennie 1970. Toutefois, des nuances peuvent s'observer selon les zones voire dans différentes séries avec des périodes dites sèches ou humides. Il faut souligner la relative complexité du comportement séquentiel de la pluviométrie dans le bassin forestier du Congo où l'on distingue des nuances entre différentes périodes ou décennies.

Au Congo-Brazzaville, comme partout ailleurs dans la zone équatoriale du bassin forestier du Congo, la variabilité des précipitations se manifeste par des fréquentes occurrences des événements extrêmes (où les sécheresses agroclimatiques dans la vallée du Niari et sur le plateau des Cataractes se caractérisent par la dégradation des terres ; les fréquentes inondations dans la plaine alluviale de la Cuvette congolaise ; l'intense érosion côtière sur le littoral atlantique congolais, avec une importante action dans la baie de Loango) aurait-elle un lien avec le « changement climatique global » ?

On peut raisonnablement penser à d'importantes répercussions environnementales et socio-économiques au niveau local qui se caractériseraient par : une extrême vulnérabilité des variétés de cultures pratiquées ; une perte de la productivité des sols ; une prolifération des maladies (recrudescence, par exemple de la cochenille pour le manioc) ; une recrudescence des maladies liées aux conditions hydriques au sein des populations ; inadaptabilité des nouvelles cultures introduites récemment. Au niveau régional, cette étude permet de contribuer à des scénarii plausibles pour l'évaluation de la vulnérabilité due aux

fluctuations climatiques sur les écosystèmes équatoriaux dans les zones très anthropisées ou naturelles.

Le but principal de ce travail est d'identifier les grandes fluctuations et les ruptures possibles dans les séries pluviométriques au Congo-Brazzaville à l'échelle annuelle et saisonnière. L'enjeu futur de cette analyse est de permettre la comparaison des séries climatiques à l'échelle fine permet d'établir des liens entre les facteurs géographiques régionaux et locaux sur la variabilité interannuelle des précipitations.

1. Données des précipitations utilisées

Le présent travail utilise des données des précipitations au pas temps mensuel sur la période janvier 1932 à décembre 2020. Le réseau des stations utilisé est celui de la Météorologie Nationale du Congo (figure 1), qui malheureusement se caractérise par une répartition inégale des stations et des séries hétérogènes. Les données des précipitations sont extraites des fichiers de la base de données constituée par le CR2E de l'Université Marien Ngouabi à Brazzaville (Congo). Le réseau d'observation utilisé est caractérisé par l'inégale répartition des stations, avec une densité moyenne d'une station synoptique au 26 308 km² (G. Samba et M. Mpounza, 2005, p. 1359). Les études sur l'évolution à long terme du climat exigent de très longues séries de données des précipitations. Les chroniques des précipitations au niveau de collecte et archivage ne sont pas exemptes d'hétérogénéité, de lacunes, de données manquantes, et de nombreuses séries ont moins de 30 ans, normale climatique admise par l'OMM (1999, p. 1-20). Cette hétérogénéité est souvent due à un manque d'observateurs, à un changement de site ou d'instruments, troubles socio-politiques, le manque de suivi réel des points d'observation. À cela s'ajoute la dispersion spatiale des stations de mesure. Le début d'enregistrement instrumental des variables climatiques pour la majorité des stations au Congo-Brazzaville ne date que des années 1930. Aussi, convient-il de souligner que nous avons intégré certaines stations non synoptiques pour leur représentativité spatiale.

2. Méthodes

2.1 Méthodes de caractérisation des données

Pour caractériser l'évolution des précipitations de ces dernières décennies au Congo-Brazzaville, les séries de données climatiques, après leur vérification et critique statistiques, ont été analysées différents paramètres classiques (moyenne, écart-type et coefficient de variation). La moyenne arithmétique, l'écart-type indicateur simple dans les anomalies centrées réduites sont utilisées pour déterminer les régimes moyens. La dispersion des données autour de la moyenne a été calculée à partir de la variance et de l'écart-type. L'écart-type permet en outre de standardiser les données et aide à comparer les « anomalies » (écart d'une année donnée à la moyenne) d'une station à l'autre en tenant compte de la variabilité habituelle dans chaque station, décrite par l'écart-type. Le coefficient de variation, rapport de l'écart-type à la moyenne, permet d'apprécier le degré de variabilité des précipitations.

Les données de chaque station ont été individuellement standardisées. Les moyennes mobiles, centrées sur 5 ans, fréquemment utilisées ont permis de pondérer les événements extrêmes et d'atténuer les courtes variations. Bien que, les moyennes mobiles puissent introduire des cycles apparents qui n'ont aucune réalité concrète avec l'effet E. Slutsky (1937, p. 110, 116, 135). Inversement, si le pas de temps, 5 ans, par exemple, choisi est un multiple des oscillations périodiques contenues dans la série, celles-ci disparaissent totalement.

Les tendances dans les séries et la recherche de rupture ont été appréciées ou déterminées à partir des tests non-paramétriques (Pettitt, Kendall, Student). L'analyse spectrale des séries annuelles des précipitations, nous ont permis de déterminer la périodicité des événements majeurs.

2.2 Les méthodes d'analyse temporelle

L'analyse de l'homogénéité relative, de la tendance et des ruptures dans les séries ont été réalisées avec le test non paramétrique de Mann-Kendall et Pettitt. Les deux tests non paramétrique permettent de détecter la tendance et les années de rupture des séries. Les principes de ces tests sont résumés dans les encadrées 1, 2 et 3, ont été largement

décrits par R. Sneyers (1975, p. 11-13) et M. Vandiepenbeeck (1995, p. 116-120). Le test de Mann-Kendall consiste à calculer deux séries de valeurs statistiques, l'une à partir du début de la série, la seconde à partir de la fin ; ces séries font l'objet d'une représentation graphique sous la forme de deux courbes appelées respectivement courbe directe (*en trait plein*) et courbe rétrograde (*en tirets*). Une tendance est significative lorsque la courbe directe dépasse le seuil de 95%. Le point qui marque le début du changement correspond à l'intersection entre la courbe directe et la courbe rétrograde. R. Sneyers (1975, p. 13) fait observer que c'est dans sa forme progressive directe et rétrograde que ce test montre sa puissance. Graphiquement la courbe directe et la courbe rétrograde s'enchevêtrent souvent lorsque le test ne détecte pas de tendance.

Encadré 1 : Test de Mann-Kendall

Si l'on considère chaque élément x_i de la série, pour $i=1,2,\dots,n$, on calcule la statistique de tendance t du test, donnée par la relation :

$$t = \sum_{i=1}^n n_i$$

qui sous l'hypothèse nulle, est pratiquement une distribution normale dont la moyenne et la variance sont données par les expressions suivantes :

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \text{ et } \text{var } t = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72}$$

La statistique réduite du test est donnée par

$$u(t) = \frac{[t - E(t)]}{\sqrt{\text{var } t}}$$

Si l'on détermine la probabilité α_1 à l'aide d'une table de la loi normale réduite telle que :

$\alpha_1 = P(|u| > |u(t)|)$, l'hypothèse nulle est acceptée ou rejetée au niveau α_0 selon que l'on a $\alpha_1 > \alpha_0$ ou $\alpha_1 < \alpha_0$. Lorsque les valeurs de $u(t)$ sont significatives, on conclut à une tendance croissante ou décroissante selon que $u(t) > 0$ ou $u(t) < 0$.

Lorsque à partir du test de Mann-Kendall et le changement ou l'année de changement est détecté, la comparaison entre les deux sous séries ou sous-échantillons est faite à l'aide du test de Student (R. Arlery et al., 1973, p. 152, encadré 3). Seulement quand le test de Student est significatif que la différence des moyennes est validée. Et donc, la rupture et la tendance sont confirmées.

Encadré 2 : Test de Student

Si l'on suppose que les deux sous-échantillons sont différents alors la différence observée entre les moyennes ou les fréquences de deux sous-échantillons est-elle significative pour

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \times \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

où $\bar{X}_1$ et $\bar{X}_2$ sont respectivement la moyenne du premier et deuxième sous-échantillon,

n_1 et n_2 la taille respectivement du premier et deuxième sous-échantillon,

σ_1 et σ_2 écart-type respectivement du premier et deuxième sous-échantillon,

$\nu = n_1 + n_2 - 2$ degré de liberté

t suit une loi de Student à ν degrés de liberté.

Les principaux cycles pluviométriques ont été déterminés au moyen de la méthode l'analyse spectrale appliquée sur les précipitations annuelles. L'analyse spectrale permet d'identifier les bandes de fréquence qui correspondent à une proportion significative de la variance d'un signal (chronique temporelle). La procédure choisie est celle dite de Fast Fourier Transform (FFT), qui tend à devenir la méthode la plus courante (disponible dans de nombreux logiciels), à laquelle un test de significativité de Monte-Carlo au seuil de 5% y est ajouté (Han Von Storch and Francis W. Zwiers, 1999 ; p. 267-275).

3. Résultats de l'étude

3.1 Champs moyens pluviométriques

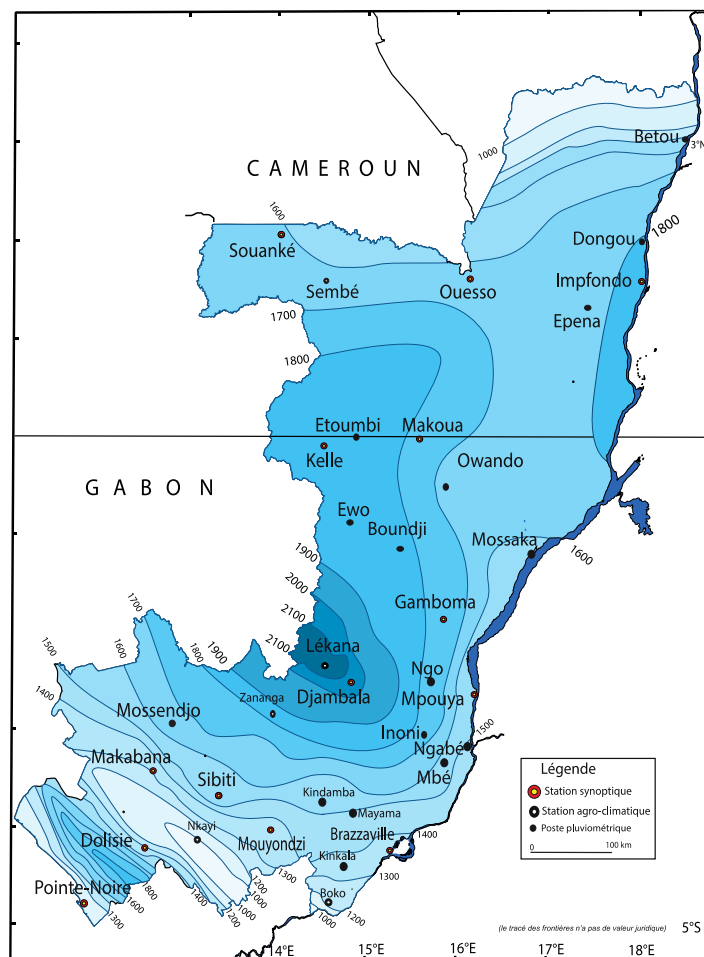
Le tableau I, liste des stations utilisées, informe sur la couverture temporelle des séries, sur l'altitude de chaque localité, et sur certains paramètres statistiques. Le champ moyen des précipitations annuelles (figure 2) varient entre moins de 1400 mm au sud dans la vallée du Niari, 1200 mm sur le littoral et sur le plateau des Cataractes, et 1700 mm au nord dans la Cuvette congolaise, et plus de 2000 mm sur les

plateaux Batéké. On note une variation quasi-zonale des précipitations dans la partie Sud-Congo où elles croissent du sud vers le nord, et une répartition quasi-méridienne dans le Nord-Congo, où elles décroissent d'est en ouest.

Tableau I : Les stations utilisées, leur altitude et les paramètres statistiques des précipitations * *Stations non synoptiques utilisées dans l'analyse.*

Stations	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Période	Moyenne (mm)	CV
Impfondo	1° 37''	18° 4''	326	1932-2020	1880	0.13
Ouessou	1° 37''	16° 3''	351	1932-2020	1687	0.13
Souanké	2° 04''	14° 08''	549	1950-2020	1593	0.12
Gamboma	1° 52''	15° 52''	376	1936-2020	1660	0.18
Makoua	0° 0''	15° 35''	378	1951-2020	1566	0.15
Djambala	2° 33''	14° 45''	802	1936-2020	2000	0.13
Mpouya	2° 37''	16° 13''	311	1941-2020	1546	0.16
Brazzaville	4° 15''	15° 15''	314	1932-2020	1370	0.16
Mouyondzi	3° 59''	13° 55''	511	1935-2020	1300	0.20
Sibiti	3° 41''	13° 21''	530	1950-2020	1500	0.18
Dolisie	4° 12''	12° 42''	330	1935-2020	1250	0.21
Pointe-Noire	4° 49''	11° 54''	16	1932-2020	1255	0.28
Makabana	3° 29''	12° 37''	160	1963-2020	1305	0.21
Boko*	4° 47''	14° 37''	626	1940-2002	1200	0.39
Zanaga*	2° 51''	13° 49''	569	1953-2002	1690	0.26
Mossaka*	1° 13''	16° 48''	296	1935-2002	1370	0.21
Nkayi*				1941-2019	1210	0,20

La répartition des hauteurs des précipitations qui se fait de façon différentielle n'est pas fonction des états de la surface continentale : relief avec des faibles altitudes (300 à 600 m en moyenne), la végétation de savane herbeuse et de forêt. Le littoral un coefficient de variation de 0.28 (Pointe-Noire), et le plateau des Cataractes 0.39 (Boko) connaissent la plus importante la variabilité pluviométrique annuelle et à l'intérieur du pays la Cuvette congolaise 0.13 (Impfondo) et ses marges occidentales 0,20 (Gamboma) l'est moins.

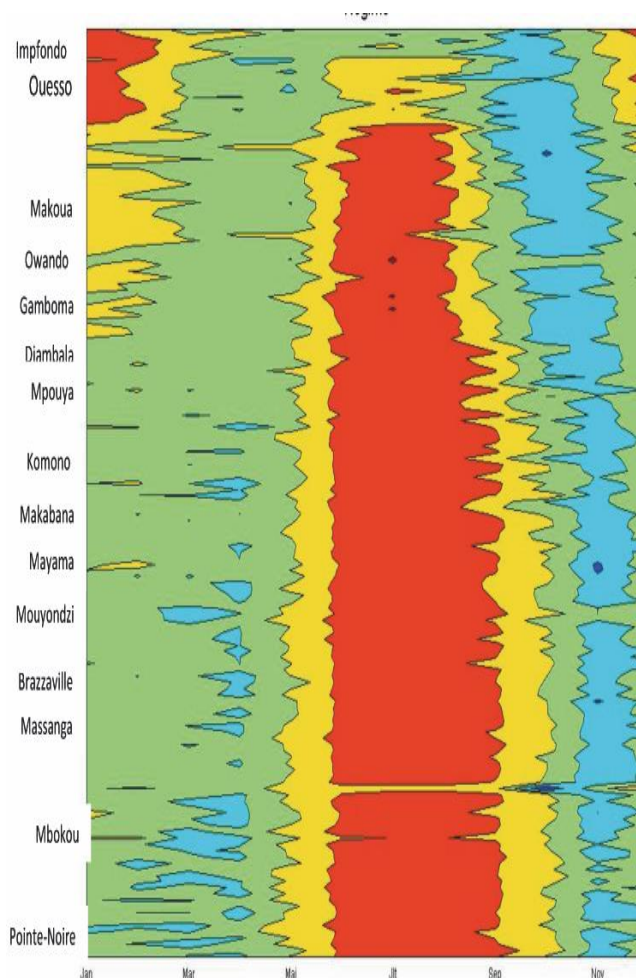
Figure 2 : Champ moyen des précipitations annuelles avec des hypothèses

3.2. Le rythme saisonnier moyen

Les régimes pluviométriques des différentes stations (*figure 3*) ont été déterminés à partir des données normalisées, ainsi nous avons extrait la composante locale de chaque station. De cette façon, nous pouvons facilement comparer les différentes stations. La majorité des stations du Congo-Brazzaville se caractérisent par un régime bimodal dont les maxima s'étalent sur les périodes mars/avril/mai et septembre/octobre/novembre. Les stations situées au sud du parallèle de Gamboma (2°S) sont associées à des maxima centrés sur mars ou

avril et novembre, alors que les deux pics pluviométriques interviennent en mai et octobre pour les stations situées au nord. Bien qu'il soit situé de part et d'autre de l'équateur, le territoire du Congo-Brazzaville connaît sur toute son étendue un régime climatique de type austral (pluies maximales entre octobre et avril). Sur la base des nuances de ces régimes on distingue donc deux types de climat : un climat du type tropical humide au sud du parallèle de Gamboma et un climat du type équatorial au nord. Le découpage saisonnier retenu est celui défini par le Groupe Intergouvernemental des Experts sur l'évolution du Climat (IPCC, 1990, p. 365). La première saison de l'année inclut les mois de décembre, janvier et février (DJF), qui sont moins pluvieux ; les mois de mars, avril et mai (MAM) constituent la première saison pluvieuse ; les mois de juin à août (JJA), sont moins pluvieux et en fin la quatrième saison inclue les mois de septembre, octobre et novembre (SON) qui est la seconde saison des pluies.

Figure 3 : Régimes pluviométriques en République du Congo exprimés en données normalisées.



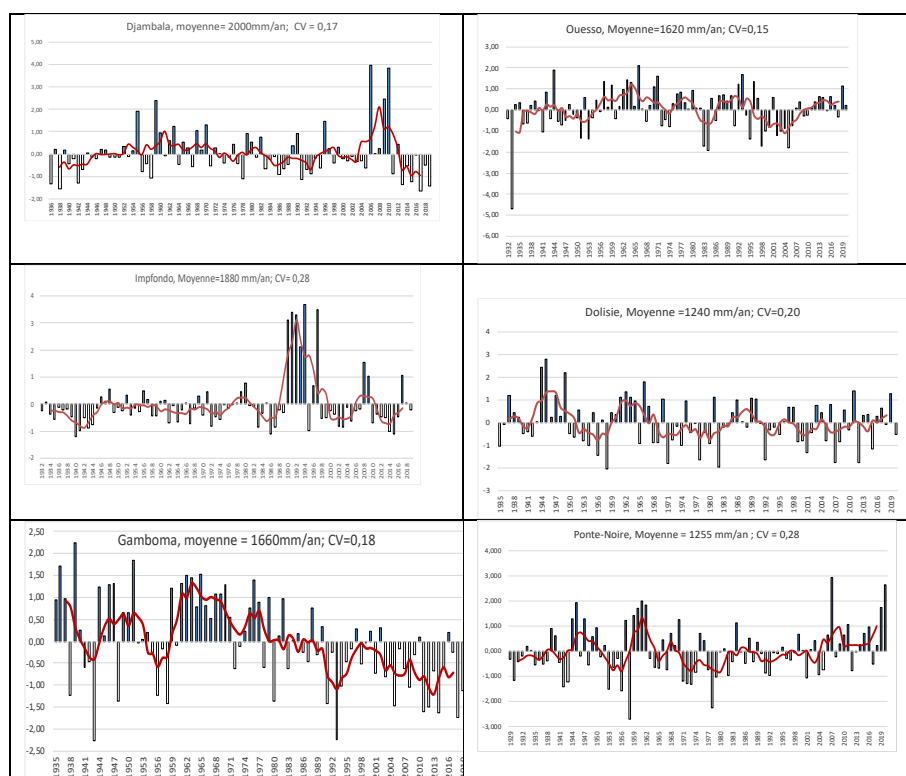
Dans l'ensemble on a un régime bimodal des précipitations avec deux maximums de pluviométrie SON et MAM dans tout le pays. La couleur rouge symbolise la saison non pluvieuse le bleu le cœur de la saison des pluies.

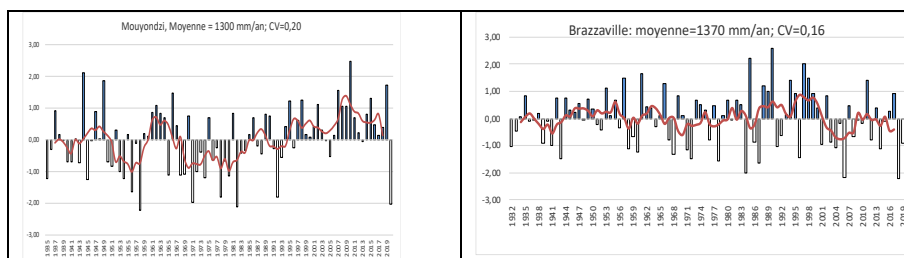
3.3. L'évolution temporelle des précipitations annuelles

Les anomalies annuelles des précipitations auxquelles sont associées les moyennes mobiles sur cinq (5) ans (figure 4), ont permis de mettre en

évidence les principales fluctuations dans les séries pluviométriques. L'évolution interannuelle des précipitations ont connu une alternance d'épisodes pluviométriques déficitaires (1930 et 1940) et excédentaires (1950 et 1960). On peut noter l'exception de l'année 1958 qui bat le record de déficit pluviométrique sur tout l'ensemble du territoire. Aux décennies excédentaires succèdent les déficitaires : les années 1980, 1990 ou 2000 voire 2010 avec une baisse des précipitations de l'ordre de 10 à 20%. La décennie 1970 marque la transition entre des périodes excédentaires et déficitaires bien que nuancé selon les stations. Dans l'ensemble les stations montrent des évolutions diffuses avec une très faible cohérence spatiale.

Figure 4 : Anomalies des précipitations annuelles et moyennes mobiles sur cinq ans (1932-2020)





Les tests de Mann-Kendall, de Pettitt et de Student appliqués aux séries pluviométriques annuelles du Congo sur la période 1932-2020 (figure 5 et tableau II) montrent une évolution stable alors que d'autres présentent tendance quelconque.

Figure 5 : Courbes du test de Mann-Kendall sur les précipitations annuelles (1932-2020) : Trait plein, courbe directe et trait discontinu, courbe rétrograde. Les valeurs de 95 % et 99% matérialisent les seuils de signification respectivement à 5% et 1%.



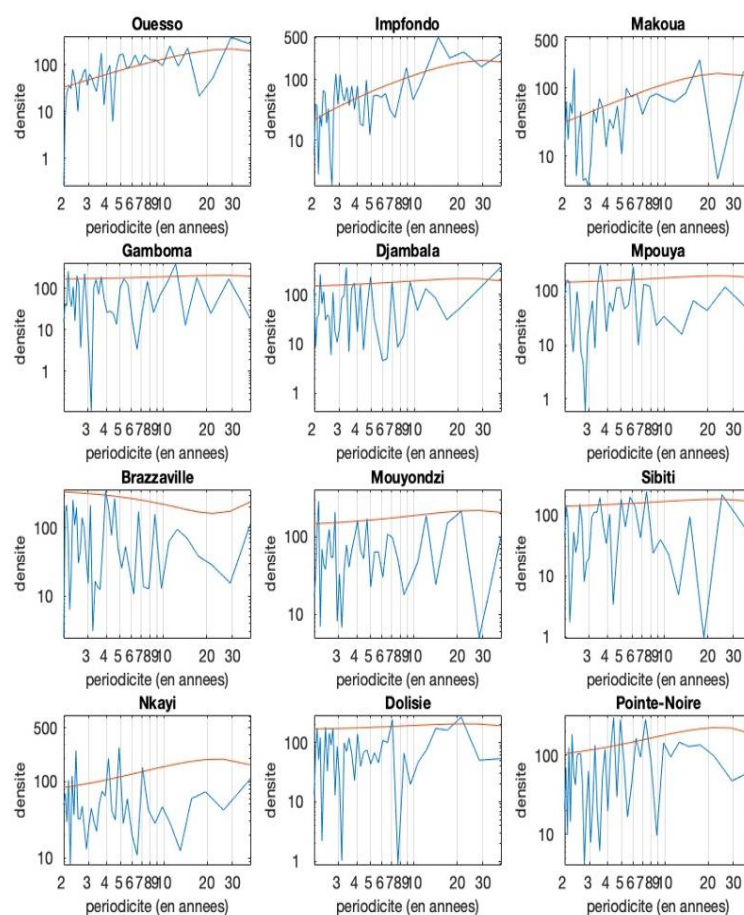
Le nord-Congo connaît une baisse significative des pluies, au seuil de 5%, dans les années 1940 et 1950. Par contre, il est observé une hausse significative des pluies au seuil de 5% sur le plateau Batéké (à Djambala) dans les années 1950, sur le plateau bémbe (à Mouyondzi) dans les années 1970. Le Sud-Congo dans l'ensemble se caractérise par une évolution annuelle stable.

Tableau 2 : Les années portées dans ce tableau sont celles détectées dans les séries saisonnières et annuelles des précipitations par les tests non-paramétriques de Mann-Kendall après validation par application du test de Student. Les années mentionnées sont significatives au seuil de 5%.

Stations	MAM			SON			Année		
	Période	Moyenne	Différence (%)	Période	Moyenne	Différence (%)	Période	Moyenne	Différence (%)
Impfondo	1932-1944	411		1932-1941	611		1932-1943	1638	
	1945-1955	549	+34%	1942-2020	595	+3%	1944-1992	1918	+17%
	1956-2020	512	+25%				1993-2020	1815	+11%
Ouessou	1932-1953	477		1932-1945	732		1932-1953	1836	
	1954-2008	430	-10%	1946-2020	613	-16%	1954-2020	1646	-10%
	2009-2020	429	-10%						
Gamboma	1935-1988	486		1941-2013	593		1935-1992	1753	
	1989-2010	455	-06%	2014-2020	464	-22%	1993-2020	1468	+16%
	2011-2020	399	-18%						
Djambala				1936-1957	593		1936-1959	1961	
				1958-2020	612	+3%	1960-2020	1791	-10%
Mpouya				1941-1981	515				
				1982-2020	449	-13%			
Brazzaville				1932-1945	356				
				1946-1977	424	+ 20%			
				1978-2020	429	+20%			
Mouyondzi	1935-1983	487		1935-1947	269		1951-2008	1972	
	1984-2020	528	+8%	1948-2003	317	+18%	2009-2020	2015	+3%
				2004-2020	418	+32%			
Sibiti	1945-1974	506							
	1975-2020	492	-3%						
Dolisie	1939-1984	500		1935-1947	254				
	1985-2004	482	-5%	1948-2020	298	+17%			
	2005-2020	401	+20%						
Pointe-Noire	1932-1981	457							
	1982-2020	414	-10%						

L'analyse spectrale réalisée sur les séries des précipitations annuelles de 1932 à 2020 (figure 6), montre des pics significatifs (intersections courbe brisée et la courbe lisse des différentes stations) au seuil de 5% testés par la méthode de Monte-Carlo (représentée par la courbe lisse ou moins brisée en haut dans le graphique). Les cycles significatifs les plus représentés sont 2,2-2,5 ans pour la majorité des stations, de 3,3-4,0 ans pour les stations du nord (figure 6). Les cycles dont la période est inférieure à 2 ans n'ont pas été retenus, car ils peuvent être artificiels par « effet d'aliasing ».

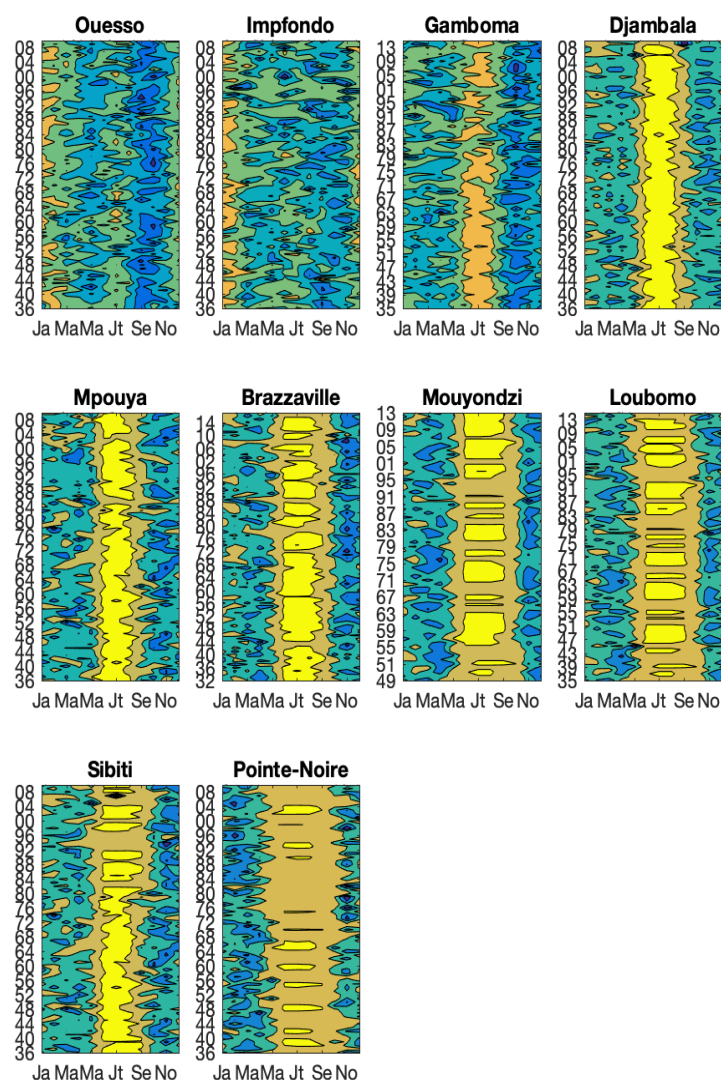
Figure 6 : Analyse spectrale des précipitations annuelles de la période (1932-2020)



3.4. Fluctuations des précipitations saisonnières

Le régime équatorial bimodal est le plus caractéristique au Congo, avec deux principaux épisodes pluvieux ou saisons de pluies : SON et MAM. Les deux saisons apportent sur l'ensemble du territoire respectivement 35 et 30% des précipitations annuelles.

Figure 7 : Fluctuations des précipitations saisonnières



La figure 7 permet de distinguer les variations interannuelles et intra-annuelles des anomalies. L'évolution pluviométrique de la saison MAM à chaque station se caractérise par des épisodes excédentaires (décennies 1950-1960) et déficitaires (au cours des décennies 1970-2010). Sur le littoral congolais en référence de la station de Pointe-Noire la saison MAM reste stable par contre la situation s'inverse pour la saison SON. Par exemple, dans la station de Pointe-Noire on met en évidence une désorganisation de la pluviométrie saisonnière, bien que ça soit en harmonie avec l'ensemble des stations.

Les saisons MAM et SON présentent des tendances interannuelles variées et nuancées. Cependant, leur évolution intra-saisonnière connaît des modifications : raccourcissement et/ou allongement des saisons. Les cumuls saisonniers MAM auxquels on a appliqué les tests de Mann-Kendall (figure 8) et de Student (Tableau II) indiquent une stabilité dans l'évolution des précipitations.

Les précipitations de la saison SON (figure 9) traduisent une diversité de tendance : une hausse dans le sud-Congo et une baisse au nord-Congo. Les résultats du tableau II confirment à partir des deux tests avec la différence des moyennes des sous séries significative.

Figure 8 : Courbes du test de Mann-Kendall sur les précipitations de la saison mars avril mai (MAM) de 1932 à 1998 : Trait plein, courbe directe et trait discontinu, courbe rétrograde. Les valeurs de 95 % et 99% matérialisent les seuils de signification respectivement à 5% et 1%.

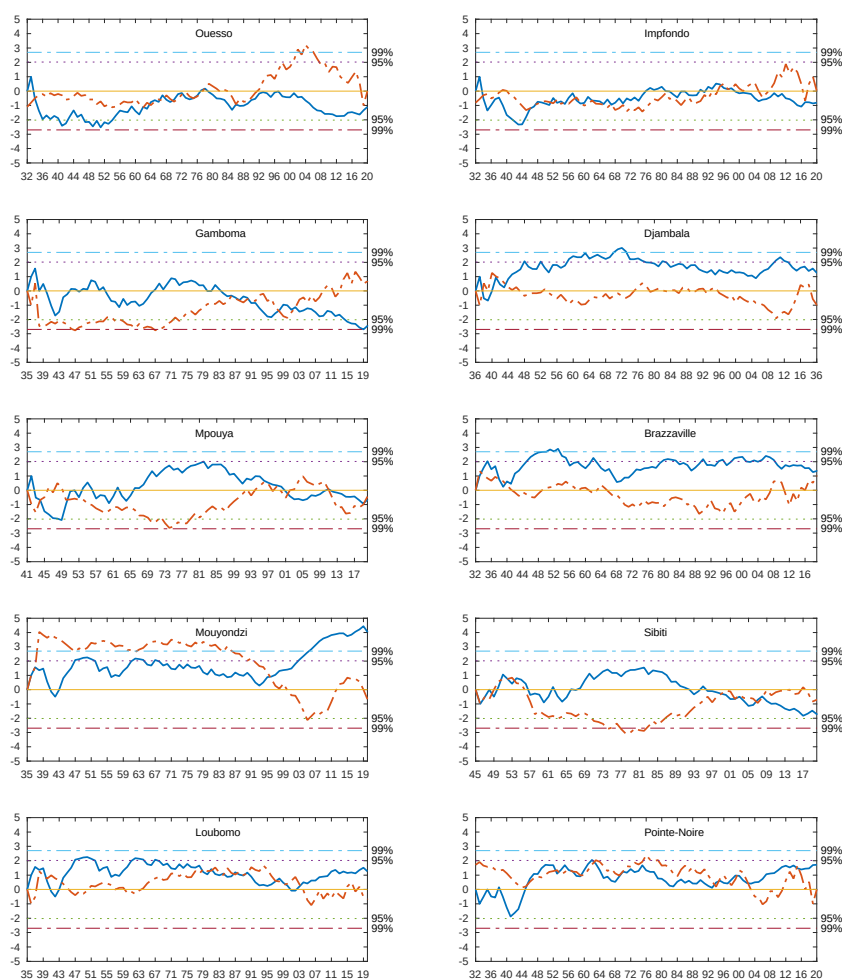


4. Discussion

La variabilité pluviométrique à l'échelle stationnelle, au Congo-Brazzaville est dominée par l'alternance entre les années 1930, 1950 et 1960 humides et les années 1970, 1980, 2000 et 2010 moins pluvieuses. Cette alternance semble s'inscrire dans un mode planétaire lié à la modification du champ thermique de surface océanique 1970, 1980, 2000 et 2010 et des excédents pendant les décennies 1950 et 1960 dites humides. La présente analyse complète et prend en compte la variabilité à l'échelle fine. Les études de Janicot S. (1985, p. 765-771) et Moron V. (1994, p. 325-341) ont montré que la variabilité pluviométrique s'organise en vastes modes spatiaux, tandis qu'à l'échelle de l'AEA on note une très faible cohérence spatiale à l'échelle synoptique. La ZCIT et la ZCIO au sol restent diffuses peu visible dans le bassin forestier de la cuvette congolaise où domine la dépression ou le marais barométrique, d'où l'on peut relever leur faible déterminisme dans les mécanismes pluviogènes.

Les principaux cycles mis en évidence sont dans l'intervalle de 2,2-2,5 ou 3 ans dans la majorité des stations du Congo-Brazzaville (*figure 6*). Les cycles majeurs sont liés à la composante biennale de l'ENSO (El Niño Southern Oscillation).

Figure 9 : Courbes du test de Mann-Kendall sur les précipitations saisonnières Septembre octobre novembre (SON) de 1932 à 1998 : Trait plein, courbe directe et trait discontinu, courbe rétrograde. Les valeurs de 95 % et 99% matérialisent les seuils de signification respectivement à 5% et 1%.



Conclusion

Un examen de la variabilité pluviométrique à l'échelle stationnelle au Congo-Brazzaville, sur la base des anomalies mensuelles, permet

d'abord de distinguer deux zones climatiques : au Sud-Congo un climat tropical humide, au Nord-Congo climat équatorial à partir de 2° sud. Le schéma de l'évolution intra-saisonnière illustre une désorganisation : raccourcissement et/ou allongement des saisons. Les tests non-paramétrique (Mann-Kendall et Student) appliqués aux séries pluviométriques interannuelles indiquent une évolution des précipitations à la baisse dans le nord et stationnaire dans le sud. Les mécanismes qui régissent les précipitations dans le bassin du Congo sont divers et variés ceux-ci rendent complexe la variabilité pluviométrique caractérisée par l'absence de cohérence spatio-temporelle.

L'analyse des précipitations, ici, constitue une première approche en vue d'une étude plus approfondie des téléconnexions Terre-Océan-Atmosphère à l'échelle fine au niveau de l'Afrique Atlantique équatoriale. Il reste encore à préciser le rôle exact des états de surface (relief, végétation, hydrographie, ...) dans la variabilité pluviométrique interannuelle ou saisonnière de la région forestière.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la Direction Nationale de la Météorologie du Congo, de leur avoir laissé libre accès à leurs archives des données pluviométriques.

Références bibliographiques

- ARLÉRY R., GRISOLLET H. et GUILMET B., 1973, *Climatologie, méthodes et pratiques*, Paris, Gauthier-Villars, 2^{ème} éd., 434 p.
- BELTRANDO Gérard, CAMBERLIN Pierre, 1993, « Interannual variability of rainfall in the Eastern Horn of Africa and indicators of atmospheric circulation », *Int. J. Climatol.*, 13: 533-546.
- BIGOT Sylvain, CAMBERLIN Pierre, MORON Vincent, RICHARD Yves, 1997, « Structures spatiales de la variabilité des précipitations en Afrique : une transition climatique à la fin des années 1960 », C. R. Acad. des Sc., Série II, *Sciences de la terre et des planètes*, Paris, 324, 181-188.

- CAMBERLIN Pierre, « Rainfall anomalies in the source region of the Nile and their connection with the indian summer monsoon », *J. Climate*, 1997, 10, 1380-1392.
- CARBONNEL Jean Pierre, HUBERT Pierre, 1985, « Sur la sécheresse au sahel d'Afrique de l'Ouest. Une rupture climatique dans les séries pluviométriques du Burkina Faso (ex Haute-Volta) », *C. R. Acad Sc 301, série II*, Paris, 13, 941-944.
- FONTAINE Bernard, JANICOT Serge, MORON Vincent, 1995, « Rainfall anomaly patterns and wind field signals over West Africa in August (1958-1989) », *J Climate*, 8, 1503-1510.
- HAN VON Storch and FRANCIS W. Zwiers, 1999, *Statistical Analysis in Climate Research*, Cambridge university press, 489 p.
- HOUGHTON John Theodore, JENKINS Geoffrey J., EPHRAUMS J. J. *Climate change: the IPCC scientific assessment*, Cambridge University Press, 1990.
- HUBERT Pierre, CARBONNEL Jean Pierre, CHAOUICHE Alain, 1989, « Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest », *J. of Hydrology*, 110, 349-367.
- HULME Mike, DOHERTY Ruth, NGARA Todd, NEW Mark, LISTER David, 2001, « African climate change: 1900-2100 », *Clim Res*, 17, 145-168.
- IPCC, 1990, *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment (1990)*, Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain, New York, NY, USA and Melbourne, Australia 410 pp.
- JANICOT Serge, FONTAINE Bernard, 1993, « L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest », *La Météorologie*, XIII Série, 1, 28-51.
- JANICOT Serge, 1985, « Analyse spatio-temporelle du champ de précipitations annuelles en Afrique de l'Ouest et en Afrique centrale », *Veille Climatique Satellitaire*, 10, 32-44.
- JANICOT Serge, 1992, « Spatiotemporal variability of West African rainfall. Part II: Associated surface and airmass characteristics », *J. Climate*, 5, 765-771.
- L'HÔTE Yann, DUBREUIL Pierre, LERIQUE Jacques, 1996, « Cartes des types de climats « en Afrique noire à l'ouest du Congo ». Rappels, et extension aux régimes hydrologiques », *IAHS publ.* N° 238, 55-65.

- LARAQUE Alain, MAHE Gil, ORANGE Didier, MARIEU B., 2001, « Spatiotemporal variations in hydrological regimes within Central Africa during the XXth century », *J of Hydrology*, 245, 104-117.
- LEROUX Marcel, 1975, « Climatologie dynamique de l'Afrique », *Travaux et Documents de Géographie Tropicale*, 19, 88-112.
- MAHÉ Gil, OLIVRY Jean Claude, 1995, « Variations des précipitations des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989 », *Sécheresse*, 6, 109-117.
- MALоба MAKANGA Jean Damien, SAMBA Gaston, 1997, « Organisation pluviométrique sur l'espace Congo-Gabon (1950-1990) », *Sécheresse*, 8, 39-45.
- MORON Vincent, 1994, « Guinean and Sahelian rainfall anomaly indices at annual and monthly time scales (1933-1990) », *Intern J Climatol*, 14, 325-341.
- MORON Vincent, 1992, « Variabilité spatio-temporelle des précipitations en Afrique sahélienne et guinéenne (1933-1990) », *La Météorologie*, 43/44, 24-30.
- MOTHA R. P., LEDUC S. K., STEYAERT L. T., SAKAMOTO C. M., STROMMEN N.D., 1980, « Precipitation patterns in west Africa », *Mon Wea Rev*, 108, 1567-1578.
- NICHOLSON Sharon E., 2000, « The nature of rainfall variability over Africa on time scale of decades to millenia », *Global and Palnetary Change*, 26, 137-158.
- NICHOLSON Sharon E., 1980, « The nature of rainfall fluctuations in subtropical West Africa », *Monthly Weather Review*, 108, 473-487.
- OGALLO LABAN J., 1988, « Relationships between seasonal rainfall in East Africa and the Southern Oscillation », *Int J Climatol*, 8, 31-43.
- SCHRECK CARL J. and SEMAZZI FREDRICK H. M, 2004, « Variability Of The Recent Climate Of Eastern Africa », *Int. J. Climatol.*, 24, 681-701, Doi: 10.1002/Joc.1019.
- SLUTZKY Eugen, 1937, « The summation of on cause as the source of cyclic processes », *Econometrica*, 5, 105-140.
- SNEYERS Raymond, 1975, « L'analyse statistique des séries d'observations. Note technique 143 », Genève - Suisse, OMM-N°415.

- SUCHEL Jean Bernard, 1988, *Les climats du Cameroun*, Thèse de doctorat d'Etat, Univ. de Saint-Etienne, 4 vol., 1186 p + figures.
- TANAKA M, WEARE B.C., NAVATO A.R., NEWELL R.E., 1975, « Recent African rainfall patterns », *Nature*, 255, 201-203.
- TYSON PD, DYER T.G.J., MAMETSE M.N., 1975, « Secular changes in South African rainfall: 1880 to 1972 », *Quarterly J of the Roy Meteo Soc*, 101: 817-833.
- VAN HEERDEN J, TERBLANCHE DE, SCHULZE G.C., 1988, « The Southern Oscillation and South African summer rainfall », *J Climatol*, 8, 577-597.
- VANDIEPENBEECK M., 1995, « Détection pratique de changement de climat dans le cas d'une alternative au caractère aléatoire », *Publ. de l'Assoc. Intern. de Climatol.*, vol. 8, 116-124.
- WMO, 1998, *Statement on the status of the global climate*.