

VARIABILITÉ DES EXTRÊMES PLUVIOMÉTRIQUES RÉCENTS DANS LE BASSIN BÉNINOIS DU FLEUVE NIGER (1960-2016), BÉNIN

**Halissou YAROU^{1*}, Ezéchiél OBADA², Eliezer I. BIAO³,
Djigbo Félicien BADOU³ et Eric Adéchina ALAMOU⁴**

¹*Chaire Internationale de Physique Mathématique et Application (CIPMA – CHAIRE UNESCO), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin*

²*Laboratoire d'Hydrologie Appliquée, Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou 01 BP 4521, Bénin*

³*West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use, GRP Water Resources University of Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin*

⁴*Ecole des Sciences et Techniques du Bâtiment et de la Route (ESTBR), Abomey, Bénin*

* Correspondance, e-mail : halissou.yarou@gmail.com

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est d'analyser la variabilité des événements pluviométriques extrêmes dans le bassin béninois du fleuve Niger de 1960 à 2016. Ainsi, huit indices pluviométriques basés sur les observations quotidiennes ont été calculés pour chaque année et pour chaque station. Les résultats obtenus pour chaque station et pour chaque indice ont été globalisés à l'échelle du bassin sur la base de l'indice standardisé d'anomalie pluviométrique de Lamb. Les résultats obtenus montrent qu'à l'exception du CDD, les sept autres indices (R1mm, RX1day, RX5day, R95p, R99p et PRCPTOT) ont connu une baisse non significative. En effet, l'occurrence des séquences sèches (CDD) a considérablement augmenté alors que celle des séquences humides (CWD) s'est réduite. Il en va de même pour les jours pluvieux (R1mm). Cette situation n'est pas sans effet sur les ressources du bassin. La baisse des indices de précipitation pourrait engendrer des catastrophes naturelles telles que la sécheresse qui pourrait influencer négativement les activités agricoles des populations locales. Cette étude peut être considérée comme une porte à la décision pour les plans stratégiques.

Mots-clés : *précipitations, extrêmes, variations pluviométrique, fleuve, Bénin.*

ABSTRACT**Variability of recent rainfall extremes in the beninois basin of the Niger river (1960 - 2016), Benin**

The objective of this study is to analyze the variability of extreme rainfall events in the Beninese basin of the Niger River from 1960 to 2016. Thus, eight rainfall indices based on daily observations were calculated for each year and for each station. The results obtained for each station and for each index were aggregated at the basin level on the basis of the standardized Lamb rainfall anomaly index. The results obtained show that, with the exception of CDD, the other seven indices (R1mm, RX1day, RX5day, R95p, R99p and PRCPTOT) experienced a non-significant decrease. Indeed, the occurrence of dry sequences (CDD) has increased considerably while that of wet sequences (CWD) has decreased. The same applies to rainy days (R1mm). This situation has an impact on the resources of the basin. Declining precipitation indices could lead to natural disasters such as drought, which could negatively affect the agricultural activities of local populations. This study can be considered as a door to decision making for strategic plans.

Keywords : *precipitation, extremes, rainfall variations, river, Benin.*

I - INTRODUCTION

Le changement climatique est maintenant largement reconnu par la communauté scientifique [1]. Le climat étant caractérisé par un état moyen, mais aussi par des variations autour de cet état moyen, l'étude de son changements passe donc à la fois par celle de l'évolution des paramètres moyens et par celle des extrêmes [2]. Ainsi, les chercheurs s'intéressent à l'évolution des valeurs extrêmes, notamment dans le cadre du changement climatique global [3]. La principale crainte liée à une évolution du climat vient de l'augmentation possible de la fréquence des phénomènes extrêmes. L'évolution de la pluviométrie mondiale est beaucoup plus contrastée, puisqu'elle est soumise à une forte variabilité spatio-temporelle [4]. Il est constaté sur le dernier siècle, une tendance marquée par un réchauffement global rapide [5]. En effet, ce changement se traduit par une intensification des pluies et une récurrence des événements extrêmes (plus perceptible sur les dernières décennies 1991 - 2010) [4, 6, 7]. L'Afrique de l'Ouest est une région où les populations sont toujours confrontées à une forte variabilité climatique [8]. Elle est la région du monde qui connaît le plus important déficit pluviométrique depuis la seconde moitié du XX^e siècle [9]. Ces phénomènes sont accentués par la déforestation. Cette dégradation des précipitations annuelles se serait néanmoins accompagnée d'une augmentation considérable

des phénomènes météorologiques violents au cours des 35 dernières années dans le Sahel [10]. Le bassin béninois du fleuve Niger, situé dans la zone semi-aride, est d'autant plus affecté qu'il enregistre une augmentation démographique importante. Cet accroissement de la population intensifie les pressions anthropiques sur des ressources fragiles dont la dégradation est de plus en plus préoccupante [11]. En fait, il ressort que sur l'ensemble du Bassin Béninois du Fleuve Niger les précipitations connaîtront une tendance à la hausse (1.7 à 23.4 %) pour les modèles HIRHAM5 et RCSM sous les deux scénarii d'émissions mais une variation de -8.5 % à 17.3 % pour le modèle RCA4 [12]. Ces modifications climatiques futures auront probablement des répercussions importantes sur la production de lithométéores en Afrique de l'Ouest [13]. Par ailleurs, il faut noter que l'accroissement de l'aléa pluviométrique excédentaire extrême étant lié au changement climatique, cela pourrait donc se renforcer dans les décennies à venir et finalement engendrer de sérieuses répercussions sur l'agriculture et les infrastructures de la région dans les prochaines décennies [14]. De plus, l'évolution démographique et l'augmentation rapide des besoins en eau pour la consommation, l'agriculture et l'industrie ; la disponibilité, la maîtrise et la gestion des ressources en eau constituent des défis majeurs pour les prochaines décennies. Cette étude a pour principal but d'analyser les événements pluviométriques extrêmes passés dans le bassin béninois du fleuve Niger à travers le calcul de certains indices pluviométriques.

II - MÉTHODOLOGIE

II-1. Description du milieu d'étude et données

Le bassin béninois du fleuve Niger se situe à l'extrême nord du Bénin (*Figure 1*). Il couvre une superficie d'environ 48 000 km², soit 42 % de la superficie totale du Bénin (114 763 km²). Situé entre les latitudes 10° et 12°30' nord et les longitudes 1°32' et 3°50' est, il regroupe les sous bassins de la Mékrou, de l'Alibori et de la Sota, et est orienté en général SSW-NNE [15]. Il est partagé entre 17 communes du Bénin que sont : Banikoara, Bembèrèkè, Gogounou, Kalalé, Kandi, Karimama, Kérou, Kouandé, Malaville, Natitingou, Nikki, Pehouko, Pèrèrè, Ségbana, Sinendé, Tanguiéta et Toukountouna. La mise en œuvre de ce travail de recherche a nécessité la collecte des données de précipitations journalières observées de 1960 à 2016 au niveau de 25 stations pluviométriques et synoptiques (*Figure 1*) installées autour du bassin béninois du fleuve Niger. Ces données sont collectées auprès de la Météo-Bénin et sur le site internet de Climate Data Online.

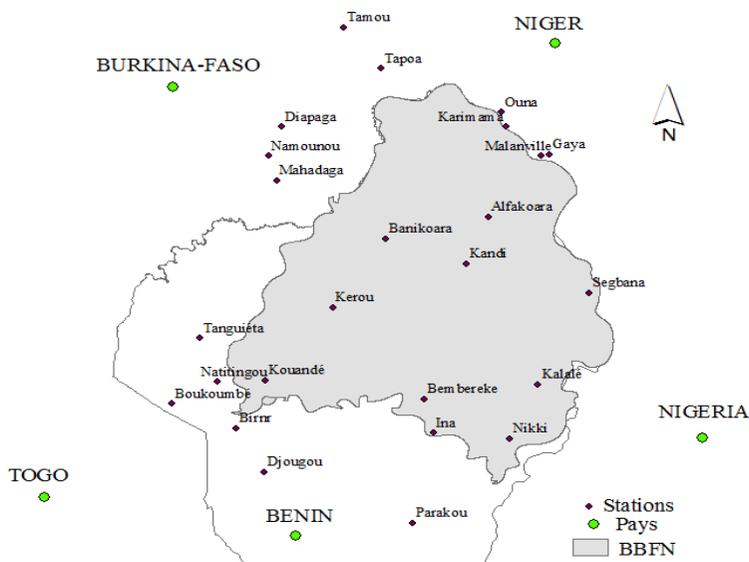


Figure 1 : Localisation des stations de l'étude

II-2. Méthodes utilisées

Pour caractériser les événements pluviométriques extrêmes huit indices ont été analysés (*Tableau 1*) : les précipitations totales annuelles (PRCPTOT), le nombre de jours pluvieux (R1mm), le nombre de jours consécutifs secs (CDD), le nombre de jours consécutifs humides (CWD), la précipitation maximale journalière dans un mois (RX1day), la précipitation maximale de 5 jours consécutifs dans un mois (RX5day), les précipitations intenses (P95p), et les précipitations extrêmes (P99p).

Tableau 1 : Liste des indices pluviométriques utilisés

Indice	Appellation	Définition	Unité
RX1day	précipitation maximale journalière dans un mois	Maximum mensuel des précipitations journalières	mm
Rx5day	précipitation maximale de 5 jours consécutifs dans un mois	Maximum mensuel de 5 jours consécutif avec précipitations	mm
R1	Nombre de jour pluvieux	Nombre de jours avec PRCP ≥ 1 mm,	Jour
CDD	Consecutive dry days	Plus longue période sec (PRCP < 1 mm)	Jour
CWD	Consecutive wet days	Plus longue période humide (PRCP ≥ 1 mm)	Jour
R95p	Pluies Intenses	Quand la pluie annuelle est $> 95^e$ percentile	mm
R99p	Pluies Extrêmes	Quand la pluie annuelle est $> 99^e$ percentile	mm
PRCPTOT	Pluie totale annuelle	Précipitation totale annuelle en période humide (RR ≥ 1 mm)	mm

Après l'analyse des précipitations qui a été réalisée en calculant, pour chaque année, les huit indices pluviométriques, Les résultats obtenus pour chaque station et pour chaque indice ont été globalisés à l'échelle du bassin sur la base de l'indice standardisé d'anomalie pluviométrique de Lamb [16]. Cet indice est donné par l'Équation suivante :

$$X_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \frac{r_{ij} - \bar{r}_i}{\sigma_i} \quad (1)$$

r_{ij} étant la pluie mesurée en une année j à une station i , \bar{r}_i et σ_i sont les moyenne et écart-type des précipitations enregistrées à la station i et N_j est le nombre de stations présentant des valeurs pour l'année j .

Ces indices sont ensuite convertis dans l'unité spécifique de chaque indice selon la méthode de [17]. Ainsi l'Équation (1) donne l'Équation (2) suivante :

$$P_j = X_j \bar{\sigma} + \bar{P} \quad (2)$$

P_j étant la pluviométrie régionale exprimée en mm en une année j , $\bar{\sigma}$ est l'écart-type moyen des séries pluviométriques et \bar{P} est la moyenne pluviométrique régionale.

L'analyse des tendances linéaires (exprimées en % par année) a été réalisée de 1960 à 2016 par régression linéaire entre les différents indices pluviométriques et le temps (en années). Les pentes ainsi estimées ont été regroupées en deux classes indiquant des tendances significatives et non significatives. La limite des deux classes considérées est définie à partir de la statistique t de Student utilisée pour tester l'hypothèse d'une pente égale à 0. La tendance est dès lors qualifiée comme étant significative si la probabilité p du test t appliquée à la pente de régression est inférieure à 0,05, alors qu'elle ne l'est pas lorsqu'elle dépasse le seuil de 0,05. Par ailleurs, une analyse des points de non-stationnarités (ruptures potentielles) dans les huit séries considérées a été réalisée en appliquant la segmentation non paramétrique de [18] avec niveau de signification du test de Scheffé (1 %).

III - RÉSULTATS

III-1. Indice sur le nombre de jour pluvieux (R1mm) et des précipitations totales (PRCPTOT)

Les valeurs de nombre de jour avec précipitations dans une année sont mises en relief sur la **Figure 2**. Cette **Figure** met en évidence la régression des nombre de jour de pluie dans une année par la droite de tendance linéaire. La tendance (ligne pleine noire en pointillée) de l'indice est en régression de

0,007 j/an. Cette régression est non significatives statistiquement avec un p-value égal à 0,016. La valeur des jours pluvieux baisse de 0,07 jours par décennie. De ce fait, en 100 ans, cette valeur diminue de 7 jours. En outre, les fortes valeurs ont été observées en 1962 (86,81 j), 1967 (96,64 j), 1968 (95,66 j) et 1969 (88,18 j) et la plus faible en 1983 (30,94 j). La segmentation de Hubert donne deux stationnarités (**Figure 2** : en jaune et en bleu) d'évolution de cet indice. La période 1961-1976 est marquée par une baisse du nombre de jour pluvieux avec une moyenne de 77,57 jours/an. Ensuite, 1977-2016 est marquée par une variation constante des valeurs avec une moyenne de 61,55 jours/an. Toutefois, on observe une baisse en 1983. Les précipitations totales sont illustrées dans la **Figure 9**. Ce graphe montre une régression des hauteurs annuelles de pluie dans le bassin d'étude. La tendance (ligne noire en pointillée) de l'indice est en régression de 0,013 mm/an. Cette régression est non significatives statistiquement avec un p-value égal à 0,061. Les pluies baissent de 1,3 mm par centenaire. En outre, la **Figure 9** indique deux phases d'évolution des cumuls annuels. La période 1960-1969 est marquée par une baisse des cumuls annuels mais de valeur importante avec une moyenne de 1367,59 mm. Ensuite, 1970-2016 est marquée par une variation constante des cumuls avec des faibles valeurs et une moyenne de 994,39 mm. Toutefois, on observe une baisse en 1983 et une tendance de reprise à partir de 2012.

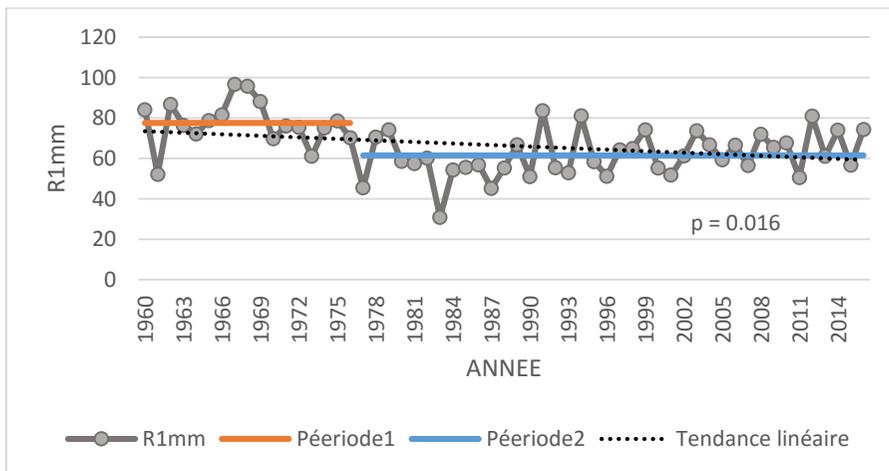


Figure 2 : Variation annuelle du nombre de jour avec pluie sur le bassin béninois du fleuve Niger

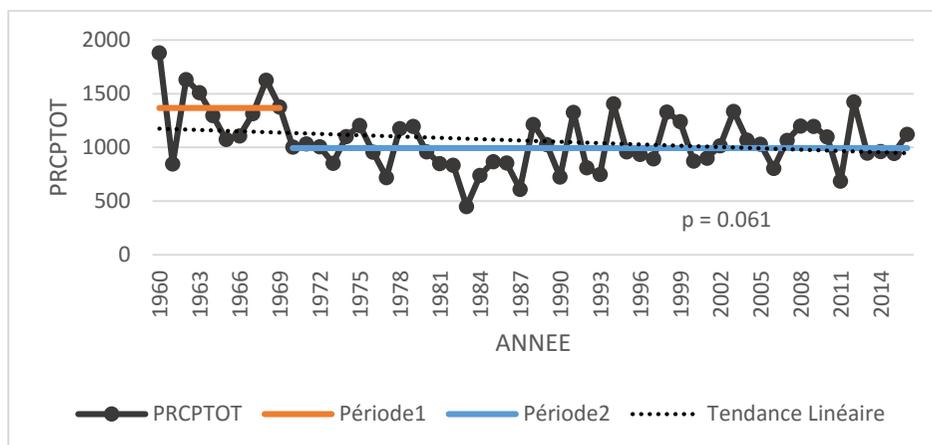


Figure 3 : Variation de l'indice des précipitations Totales

Les indices sur les totaux des précipitations enregistrés au cours d'une saison influencent largement les rendements agricoles. Car, chaque plante a ses exigences en quantité d'eau pour couronner son cycle. Quand cette quantité n'est pas atteinte, il s'ensuit une baisse de la production. Cet indice ainsi que celui des jours pluvieux se voient en baisse sur le bassin béninois du fleuve Niger. Il serait donc important de limiter la déforestation tout en adoptant d'autres pratiques agricoles.

III-2. Indice de précipitation totale maximale d'un jour et de 5 jours consécutif de pluie dans un mois

L'indice RX1day indique la précipitation totale maximale d'un jour pluvieux. Cet indice est mis en exergue par la **Figure 3**. Cet indice est en baisse dans l'ensemble. La tendance de la droite de régression est de 0,07 mm/an. Cet indice baisse donc de 0,7 mm/décennie en moyenne sur le bassin soit 7 mm en 100 ans. Cet indice ne présente aucune rupture (avec une moyenne de 75,5 mm/an) mais possède des valeurs élevées par endroit (155,46 mm en 1960 ; 123,17 mm en 1964 et 107,62 mm en 1988). Rx5days correspond au maximale des cumuls de précipitation sur 5 jours pluvieux consécutifs. L'évolution de cet indice est représentée par la **Figure 4**. Sa tendance baissière linéaire non significative est représentée en pointillé en noire. Sur le bassin béninois du fleuve Niger, cet indice baisse de 0,036 mm/an soit 0,36 mm/décennie et 3,6 mm/100 an. Contrairement à l'indice RX1day, il représente un point de rupture qui crée une bifurcation de la série en deux. Une première phase (des valeurs élevées) qui commence en 1960 pour prendre fin très tôt en 1964 avec une moyenne de 183,37 mm ; et la seconde phase (plus longue) de 1965 à 2016 regroupant les faibles valeurs avec une moyenne de 120,25 mm.

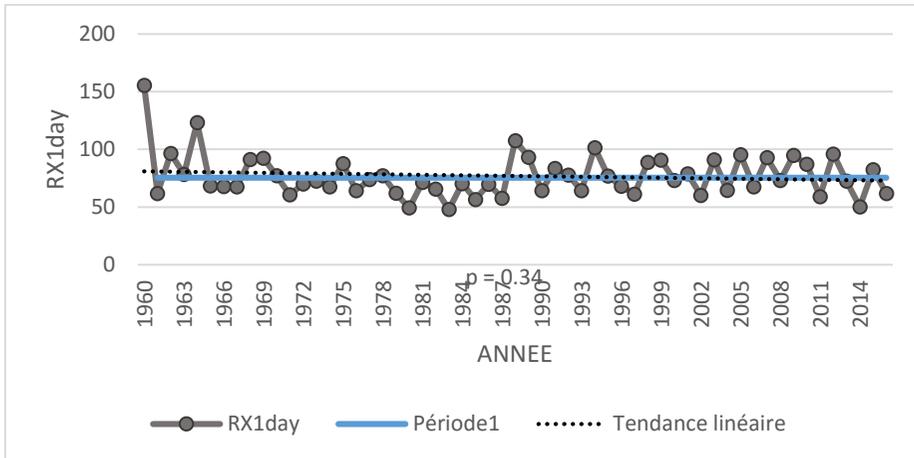


Figure 4 : Variabilité de l'indice de précipitation totale maximale d'un jour dans un mois

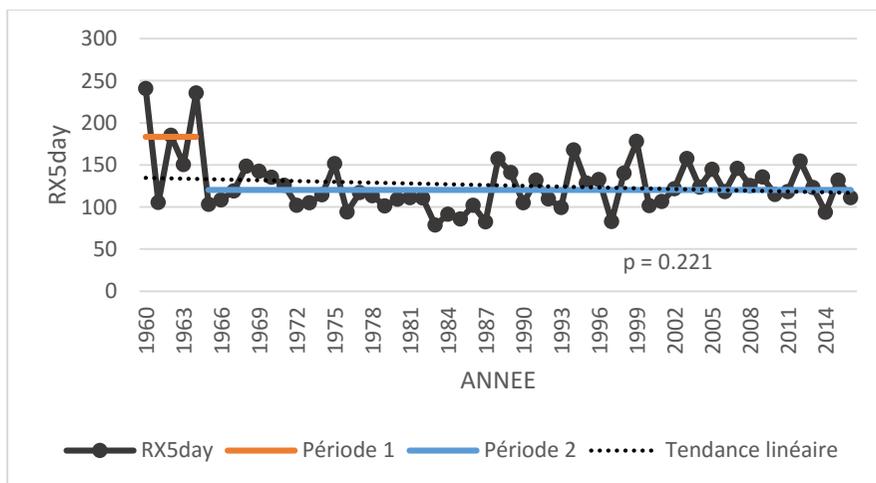


Figure 5 : Variabilité de l'indice sur le maximum mensuel de 5 jours consécutif avec précipitations

III-3. Indice des jours consécutivement secs et jours consécutivement humides (CDD et CWD)

L'indice CCD représente le nombre maximal des jours consécutivement secs (précipitations < 1). La droite de tendance de la **Figure 6** montre une hausse de cet indice. La tendance est de 3,58 jour/an. Les plus longues séquences sèches sont localisées dans la période 1978-2002. Par ailleurs, la stationnarité montre 3 phases. Une première phase d'une moyenne de 112,13 jours de 1960 à 1977. Ensuite, vient la phase des longues périodes sèches de 1978 à 2002

avec une moyenne de 161,86 jours. Et enfin la phase des conditions intermédiaires à la phase une et deux avec une moyenne de 120,95 jours localisée de 2003 à 2016. De la **Figure 7** nous notons que l'indice CWD qui désigne le nombre maximum du jours consécutifs avec précipitation, varie entre 2,1 jours et 9,25 jours. Son maximum (9,25 jours) est observé en 1964. Alors que, le minimum (2,1 jours) est observés en 1984, 2005 et 2013. Son évolution sur le bassin béninois du fleuve Niger est mise en évidence dans la **Figure 6**. L'analyse de cet indice montre une baisse des séquences humides dans le bassin. La pente de la droite de tendance est négative. Cette régression est très prononcée avec 0,223 jours/an. Statistiquement, cet indice est significatif, car le P-value est 0,002. Il présente une rupture qui scinde la série en deux phase. La phase des séquences humides plus longues située dans entre 1960 et 1971 avec une moyenne de 6,78 jours ; et celle des humides séquences moins longues de 1972 à 2016 avec pour 4,68 jours.

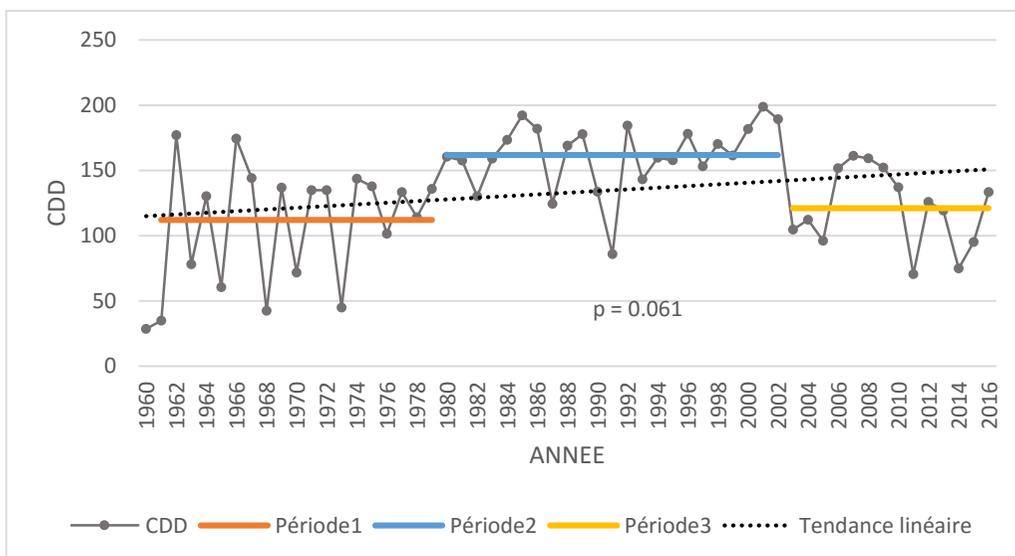


Figure 6 : Variabilité de l'Indices des jours consécutivement secs

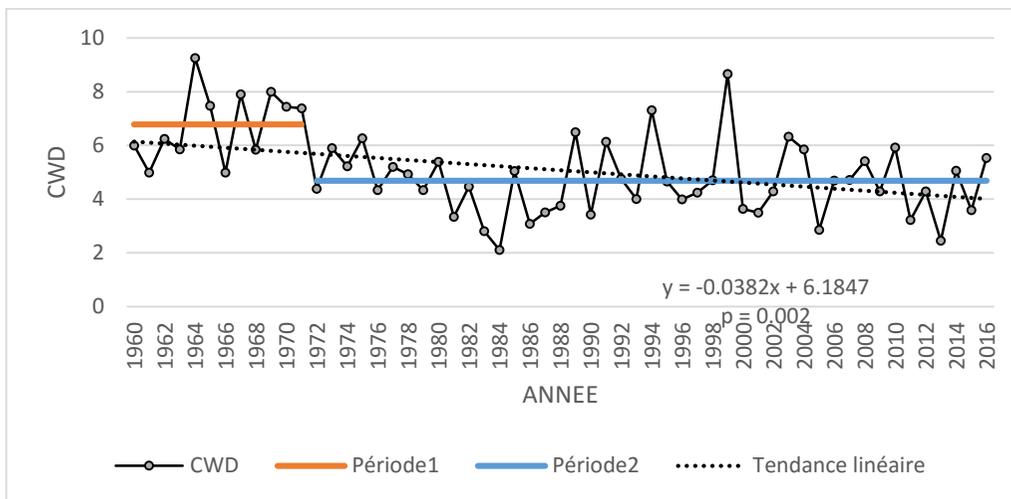


Figure 7 : Variation de l'Indices des jours consécutivement humides

De l'analyse des *Figures 5 et 6*, il ressort que le bassin béninois du fleuve Niger connaît une augmentation du nombre de jours des séquences sèches et une baisse du nombre de jours de séquences pluvieuses. Cet état de fait démontre l'augmentation des saisons sèches et le raccourcissement des saisons de pluies dans le bassin. L'occurrence d'une séquence de jours consécutifs secs (CDD) au sein de la saison des pluies peut avoir un impact fort sur la production agricole. Les séquences sèches créent un manque d'eau au niveau de la plante. Quand elles interviennent au début ou en pleine saison de croissance, elles peuvent être à l'origine d'un faux démarrage de saison ou encore hypothéquer toute une campagne agricole [19]. Le nombre consécutif de jours pluvieux (CWD) détermine la durée des saisons pluvieuses agricoles d'un lieu donné. Or, la durée des cycles culturaux est un facteur très déterminant de la production agricole. Elle oriente les paysans dans le choix des variétés à cultiver. Une variété dont la durée du cycle est nettement supérieure à la durée de la saison pluvio-agricole éprouvera éventuellement de sérieux problèmes d'adaptation [20].

III-4. Indice de précipitations intenses et précipitations extrêmes (R95p et R99p)

R95p représente le cumul des précipitations supérieures au percentile 95. La *Figure 8* montre l'évolution de cet indice pendant la période d'étude. Sur cette *Figure*, la tendance de cet indice est de 0,005 mm/an. En dix ans l'indice a augmenté de 0,05 mm et de 0,5 mm en 100 ans. Il n'est pas significatif statistiquement (p -value = 0,723). Cet indice présente deux segmentations qui divisent la série en trois périodes. La première période (celle des plus humides) de 1960 à 1978 avec une moyenne de 256,88 mm. La seconde très défavorable

en humidité (moyenne = 118,92 mm) localisée entre 1979-1986. Et enfin la phase de tentative de reprise de la première phase de 1987 à 2016 avec une moyenne de 237,61 mm. L'analyse de la **Figure 9** qui met en évidence les jours extrêmement humides (R99p) permet de constater que cet indice est en régression non significative dans le bassin de 0,005 mm/an soit 0,5 mm en 100 an avec p-value de 0,199. Les extrêmes les plus importants ont eu lieu en 1960 (384,7 mm) et 1964 (234,98 mm). Cet indice ne présente pas de point de rupture.

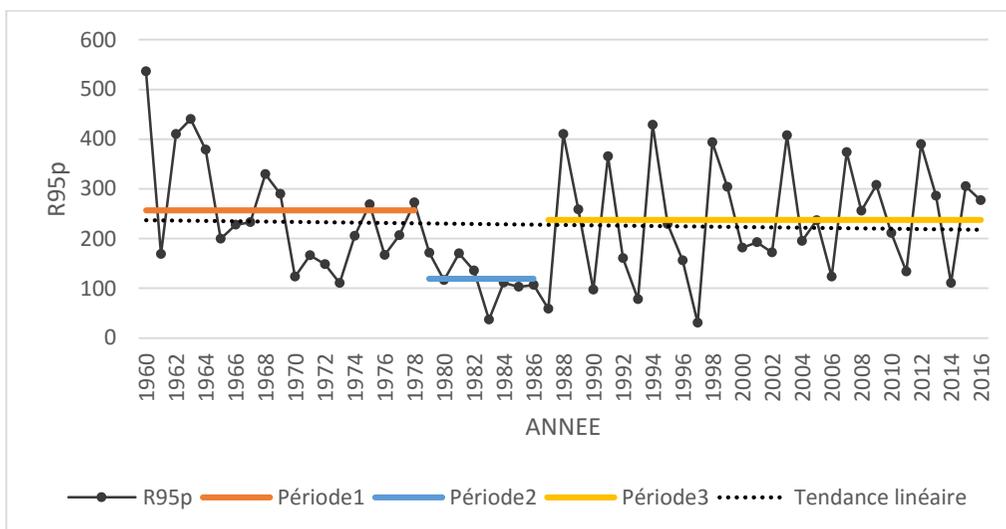


Figure 8 : Variation de l'indice de précipitations intenses

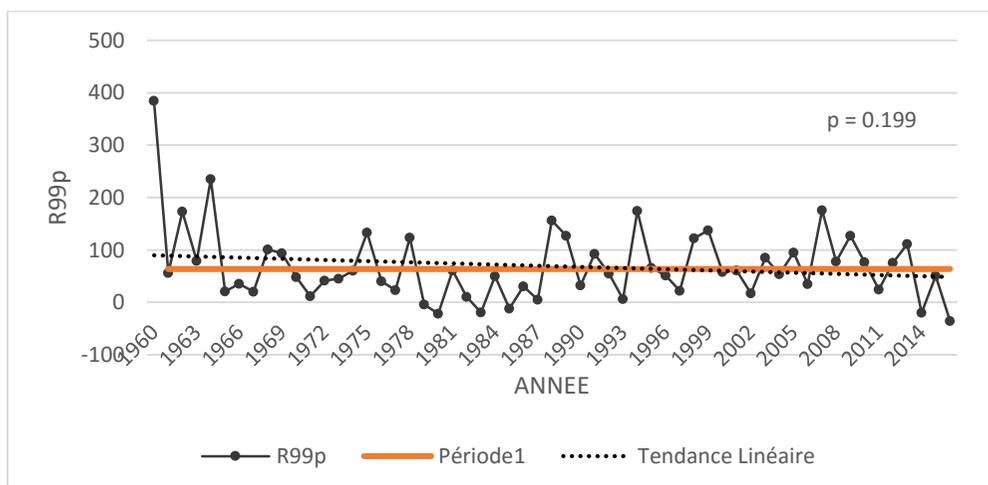


Figure 9 : Variation de l'indice de précipitations extrêmes

Les jours intensément humides (R95p) et les jours extrêmement humides (R99p) constituent les apports journaliers en eau les plus importants par rapports à leurs seuils (au 95^è percentile et au 99^è percentile). Par la quantité d'eau apportée, ils peuvent contribuer aux phénomènes des géorisques naturels notamment les inondations, les glissements de terrains, l'érosion des sols etc. [19].

IV - DISCUSSION

Les résultats de cette étude révèlent une baisse des précipitations totales annuelles à partir depuis les années 1970 avec des importantes baisses observées entre les années 1976 et 1987. Ces résultats sont confirmés par [14] en 2017 pour le Niger et par [20] en 2009 et également par plusieurs d'autres auteurs dans le sahel notamment en Mauritanie [21], au Sénégal [8], au Burkina Faso [22], au Mali [23], dans le nord du Nigéria [24] et du Bénin [25] ou encore dans l'est du Niger [26]. En fait, ces différents chercheurs ont montré que les régions du Sud et de l'Ouest de l'Afrique connaissent une baisse des précipitations totales annuelles (PRCPTOT). Par ailleurs, on remarque une augmentation du nombre de jours des séquences sèches et une baisse du nombre de jours de séquences pluvieuse ce qui est le cas en général dans l'Afrique de comme il est d'ailleurs montré par [19]. Nous observons également une baisse du nombre de jours de pluies (R1mm), du maximum journalier des précipitations (RX1day), et du maximum des précipitations sur 5 jours consécutivement humides (RX5day).

Ce phénomène semble être générale pour l'Afrique car il est confirmé par [26] dans leur analyse des précipitations de l'Afrique centrale entre 1955 et 2006. Les zones du pacifiques ne sont pas aussi laissées à la marge par ces phénomènes [27]. Certain chercheur pense même que ces ressemblances du comportement des précipitations seraient d'ordre planétaire [3 - 28]. En effet, le climat en Afrique de l'Ouest étant déterminé par le mouvement des masses d'air (front intertropical) [3, 27, 29], ces changements de précipitations associés à l'augmentation des températures que connaît la région (0,3°C à 1°C par décennie) [1, 31, 32] pourraient entrainer des perturbations pour ce mécanisme de front intertropical. La résultante de ces situations climatiques (baisse des précipitations et augmentation des températures) dans le bassin béninois du fleuve Niger n'est pas sans conséquences néfastes sur les activités économiques. Elle peut causer un dérèglement du calendrier de la production agricole, car la plupart des spéculations est liée à la pluviométrie surtout sa fréquence et sa distribution spatiale et aussi la longueur de la saison.

V - CONCLUSION

La présente étude qui analyse l'évolution de huit indices pluviométriques du bassin béninois du fleuve du Niger au cours de la période 1960-2016 indique une baisse des indices PRCTOT, R1mm et CWD respectivement de 0,013 mm/an, de 0,007 jour/an et de 0,223 jour/an. Les jours intensément humides (R95p) et les jours extrêmement humides (R99p) constituent les apports journaliers en eau les plus importants. Ces indices sont également en baisse sur le bassin. On note respectivement des baisses moyennes de 0,004 mm/an et 0,005 mm/an pour R95p et R99p. Cependant, l'indice CDD a connu une hausse de 3,58 jour/an. Cette situation impacte le bassin à une sécheresse, donc à la dégradation de l'environnement et une diminution de rendement agricole car la disponibilité en eau pour l'agriculture durant la saison des pluies est aussi prédisposée. L'exposition des infrastructures de transport par ces phénomènes n'est pas aussi exclue.

RÉFÉRENCES

- [1] - IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) GIEC, Changements climatiques en 2013, *Les éléments scientifiques*, résumé à l'intention des décideurs, service d'appui technique du groupe de travail I GTI, (2013)
- [2] - J-M. MOISSELIN et B. DUBUISSON, Évolution des valeurs extrêmes de température et de précipitations au cours du XXe siècle en France, *La Météorologie*, N° 54 (août 2006) 10 p.
- [3] - GIEC, Changements Climatiques, (2007) 114 p.
- [4] - OMM, (Organisation Mondiale de Météorologie), Déclaration de l'OMM sur l'état du climat en 2012, 1119 (2013) 15 p.
- [5] - M. ROUSSEAU, G. BILLEN, J-M MOUCHEL, D. MARTIN, Impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin versant de la Seine., *Résultats du projet GICC – RexHySS*, (2011) 49 p.
- [6] - M. NEW, M. TODD, M. HULME et P. JONES, Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *International Journal of Climatology*, 21 (15) (2001) 1889 - 1922
- [7] - JH. CHRISTENSEN, B. HEWITSON, A. BUSUIOC, A. CHEN, X. GAO, I. HELD et al., Regional Climate Projections. In : *Climate Change 2007: The physical Sciences Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M and HL Miller (eds.) *Cambridge University Press* : Cambridge, New York, (2007) 847 - 940
- [8] - S. A. BADARA et M. CAMARA, Evolution Des Indices Pluviométriques Extrêmes Par L'analyse De Modèles Climatiques Régionaux Du Programme CORDEX : Les Projections Climatiques Sur

- Le Sénégal, *European Scientific Journal* June 2017 edition Vol.13, N°17 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431 (2017)
- [9] - J. SPINONI, G. NAUMANN, H. CARRAO, P. BARBOSA, J. VOGT, World drought frequency, duration, and severity for 1951-2010. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.3875, (2013)
- [10] - C. M. TAYLOR, D. BELUŠIĆ, F. GUICHARD, D.J. PARKER, T. VISCHEL, O. BOCK, P.P. HARRIS, S. JANICOT, C. KLEIN & G. PANTHOU, Frequency of extreme Sahelian storms tripled since 1982 in satellite observations. *Nature*, 544 (2017) 475 - 478
- [11] - P. OZER, Y. C. HOUNTONDJI, A. J. NIANG, S. KARIMOUNE, O. LAMINOU MANZO, M. SALMON, Désertification au Sahel : historique et perspectives. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 54, (2010) 69 - 84
- [12] - D. F. BADOU, Multi-model evaluation of blue and green water availability under climate change in four-non sahelian basins of the niger river basin, A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (PhD), Bénin, (2016) 155 p.
- [13] - P. OZER, Dust variability and land degradation in the Sahel. *Belgeo*, 2 (2002) 195 - 210
- [14] - P. OZER, O. L. MANZO, A. D. TIDJANI, B. DJABY & F. DE LONGUEVILLE, Evolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014) Recent evolution of rainfall extremes in Niger (1950-2014), *Geo-Eco-Trop.*, 2017, 41, 3, n.s. : 375-383, Numéro spécial, (2017)
- [15] - E. W. VISSIN, Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger, thèse de doctorat, (2007) 310 p.
- [16] - P. J. LAMB, Persistence of subsaharan drought. *Nature*, 299, (1982) 46 - 48
- [17] - M. HULME & P. D. JONES, Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: Methods and illustrations. *International Journal of Climatology*, 16 (1996) 361 - 377
- [18] - P. HUBERT et J. P. CARBONNEL, Sur la sécheresse au sahel d'Afrique de l'Ouest. Une rupture climatique dans les séries pluviométriques du Burkina-Faso (ex-Haute-Volta). *Compte rendu de l'Académie des Sciences, Paris, Série II*, Vol. 301, N°13 (1985) 941 - 944 p.
- [19] - R. BALLIET, B. S. MAHAMAN, L. A. E. EVRADE, M. V. SOROKOBY, H. V. N'GUESSAN BI, A. O. N'DRI, B. K. DJE, J. BIEMI, Évolution Des Extrêmes Pluviométriques Dans La Région Du Gôh (Centre-Ouest De La Côte d'Ivoire), *European Scientific Journal* August 2016 edition, Vol. 12, N°23 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431 Évolution, (2016) 74 - 87
- [20] - P. OZER, Y. C. HOUNTONDJI & O. LAMINOU MANZO, Évolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007. *Geo-Eco-Trop*, 33 (2009) 11 - 30
- [21] - P. OZER, P. HOUNTONDJI, Y. C. GASSANI, J. DJABY, B. F. DE LONGUEVILLE, évolution récente des extrêmes pluviométriques en Mauritanie (1933-2010), *XXVIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie* 2-5 juillet 2014 – Dijon (France), (2014) 394 - 400

- [22] - F. DE LONGUEVILLE, Y. C. HOUNTONDI, I. KINDO, F. GEMENNE & P. OZER, Long- term analysis of rainfall and temperature data in Burkina Faso (1950–2013). *International Journal of Climatology*, 36 (2016) 4393 - 4405
- [23] - A. T. HALIMATOU, T. KALIFA & N. KYEI-BAFFOUR, Assessment of changing trends of daily precipitation and temperature extremes in Bamako and Ségou in Mali from 1961-2014. *Weather and Climate Extremes*, 18 (2017) 8 - 16
- [24] - S. B. OGUNGBENRO & T. E. MORAKINYO, Rainfall distribution and change detection across climatic zones in Nigeria. *Weather and Climate Extremes*, 5 (2014) 1 - 6
- [25] - Y. HOUNTONDI, F. DE LONGUEVILLE & P. OZER, Trends in extreme rainfall events in Benin (West Africa), 1960-2000. In *Proceedings of the 1st International Conference on Energy, Environment and Climate Change*. <http://hdl.handle.net/2268/96112> (juin 2019), (2011)
- [26] - A. AGUILAR, A. AZIZ BARRY, M. BRUNET, L. EKANG, A. FERNANDES, M. MASSOUKINA, J. MBAH, A. MHANDA, D. J. DO NASCIMENTO, T. C. PETERSON, O. THAMBA UMBA, M. TOMOU & X. ZHANG, Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry and Zimbabwe, 1955-2006. *Journal of geophysical research*, 114, DO2115, doi:10.1029/2008JDO11010, (2009)
- [27] - E. A. ASSEMIAN, F. K. KOUAME, E. V. DJAGOUA, K. AFFIAN, J. P. R. JOURDA, M. ADJA, T. LASM et J. BIEMI, Étude de l'impact des variabilités climatiques sur les ressources hydriques d'un milieu tropical humide : Cas du département de Bongouanou (Est de la Côte d'Ivoire). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, Vol. 26, N° 3, (2013) 247 - 261 p.
- [28] - J. MERLE, Environnement climatique du Pacifique Sud. Dans : C.R. du colloque Environnement Climatique dans le Pacifique Sud, 28-31 mars, Paris, France. Fonds documentaire ORSTOM, Cote B*6629, (1995) 17 p.
- [29] - B. ADIAFFI, Apport de la géochimie isotopique, de l'hydrochimie et de la télédétection à la connaissance des aquifères de la zone de contact « socle-bassin sédimentaire » du sud-est de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat, *Université Paris Sud, Paris, France*, (2008) 230 p.
- [30] - M. B. SYLLA, P. M. NIKIEMA, P. GIBBA, I. KEBE, N. A. B. KLUTSE, Climate Change over West Africa : Recent Trends and Future Projections. In : *J. A. Yaro and J. Hesselberg (Eds.)*, *Adaptation to Climate Change and Variability in Rural West Africa*. Springer, Switzerland, (2016)
- [31] - J. PADGHAM, J. JABBOUR and K. DIETRICH, Managing change and building resilience : A multi-stressor analysis of urban and peri-urban agriculture in Africa and Asia. *Urban Climate*, 12 (2015) 183 - 204. doi :10.1016/j.uclim.2015.04.003