

Variabilité des précipitations pour la période 1960 - 2022 dans le département du Mono, République du Bénin, Afrique de l'Ouest

**Victoire Modestine BESSAN¹, Wilfrid Expedit VISSIN¹, Katchele Faustin OGOU^{2*}
et Euloge OGOUWALE¹**

¹ *Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire Pierre Pagny Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), 03 BP 1122 Jéricho, Bénin*

² *Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire de la Physique de l'Atmosphère, 01 BP 526 Godomey, Bénin*

(Reçu le 16 Août 2024 ; Accepté le 15 Octobre 2024)

* Correspondance, courriel : ogofaustin@gmail.com

Résumé

Cette étude vise à approfondir notre compréhension de la précipitation dans le département du Mono. Les données utilisées sont obtenues de l'Agence Nationale de la Météorologie du Bénin couvrant une période 1960-2022. Les données sont traitées avec les logiciels Microsoft Excel, ArcGIS 10.7 et Khronostat version 1.0.1. Les techniques courantes comme la tendance linéaire, les tests Pettitt, Bayésien, Buishand et l'indice standardisé de précipitation sont employés. Les résultats ont montré qu'en moyenne, la précipitation a connu une augmentation sur la période d'étude. Au niveau communal, on a noté une diminution des précipitations à Athiémé et Bopa par opposition à une augmentation remarquable au niveau de la station de Grand-Popo. L'indice standardisé de précipitation dans le département du Mono a montré que les années 1962, 1968 et 2010 sont extrêmement humides (4,76 %) par contre celle de 1990 est extrêmement sèche (1,59 %). La zone d'étude est caractérisée par une longue période décennale sèche (1972 - 2007) et deux périodes décennales courtes d'humidité (1960 - 1971 et 2008 - 2021). Les résultats de cette étude sont utiles pour l'aménagement des ressources en eau, la résilience et l'adaptation au changement climatique.

Mots-clés : *Mono (Bénin), variabilité climatique, ressources en eau, précipitation.*

Abstract

Precipitation variability for the period 1960-2022 in the department of Mono, Republic of Benin, West Africa

This study aims to deepen our understanding of precipitation in the Mono department. The data used are obtained from the National Meteorological Agency of Benin covering a period of 1960 - 2022. The data are processed with Microsoft Excel, ArcGIS 10.7 and Khronostat version 1.0.1 software. Common techniques such as linear trend, break tests such as Pettitt, Bayesian, Buishand and the standardized precipitation index are used. The results showed that on average, precipitation increased over the study period. At the municipal level, there was a decrease in precipitation in Athiémé and Bopa as opposed to a remarkable increase at the

Grand-Popo station. The standardized precipitation index in the Mono department showed that the years 1962, 1968 and 2010 were extremely wet (4.76 %) while that of 1990 was extremely dry (1.59 %). The rainfall in the study zone is characterized by a long dry period (1972 - 2007) with two short wet periods (1960 - 1971 and 2008 - 2021). The results of this study are useful for water resources management, resilience and adaptation to climate change.

Keywords : *Mono (Benin), climate variability, water resources, precipitation.*

1. Introduction

La variabilité ou changement climatique crée de dégâts dans plusieurs secteurs dans le monde. Les problèmes les plus récurrents sont des événements extrêmes à l'instar de la sécheresse et des inondations avec l'irrégularité des pluies [1, 2]. Ces événements touchent plusieurs secteurs socio-économiques dont l'agriculture, l'environnement, les infrastructures, l'énergie, la santé et autres au Bénin [3, 4]. Des études ont trouvé que les indices précipitation extrême ont connu une augmentation dans le bassin du Mono [5, 6]. Plusieurs recherches ont été faites sur le bassin du Mono qui est Zone incluant le Bénin et le Togo [7, 8]. Afin de réduire les dommages dus à la variabilité de pluie, une connaissance approfondie des caractéristiques de cette variable est indispensable. Les événements de hasards sont classés dans la catégorie des catastrophes naturelles, donc l'humanité ne peut pas en empêcher. C'est ainsi que cette étude a été entreprise pour une meilleure compréhension de la variabilité de la pluie dans le département du Mono entre la période 1960 - 2022. Une tendance négative de la pluie sur la zone couvrant le département d'intérêt avait été révélé [9]. Ces dernières décennies, les catastrophes naturelles sont dites d'origines extrêmes climatiques et météorologiques avec une proportion d'environ 83 % de ces phénomènes [10]. L'actualité quotidienne fait de plus en plus état de catastrophes naturelles. Celles-ci dont les causes et origines sont multiples, géologiques et/ou climatiques, frappent le globe de manière très inégale [11]. Ces catastrophes sont des phénomènes qui restent particulièrement dramatiques dans certaines régions du monde malgré les progrès dans la prévision du temps [12]. Les dommages qu'elles engendrent aux populations augmentent au même rythme que la croissance démographique, l'urbanisation non planifiée constituant par ailleurs un facteur aggravant [13]. Ainsi, l'exposition accrue des pays à ces phénomènes naturels et anthropiques constitue non seulement une menace vitale, mais compromet également les efforts de développement durable [14]. Des travaux ont montré que sur l'ensemble des décès causés par les aléas météorologiques, climatiques et hydrologiques dans la période allant de 1970 à 2019 ; 91 % sont révélés dans des économies en développement [15], se basant sur la classification des pays par des Nations unies. Le département du Mono est l'un des départements du Sud du Bénin qui subit souvent les affres du changement et ou variabilité climatique [16]. Les conséquences de ces variations climatiques sont d'ordre humain, matériel et environnemental [17]. Jusqu'à ce jour peu de chercheurs ont focalisé leur attention sur ce département. C'est fort de cela que notre étude s'est focalisée sur le département du Mono. La période de couverture de notre étude est la plus récente. Par ailleurs la caractérisation des pluies dans le Mono est la première recherche scientifique qui a penché uniquement sur la zone selon nos recherches. L'objectif principal de cette étude est de caractériser les pluviométriques dans le département du Mono. Les résultats de cette étude seront d'importance capitale pour la gestion des ressources en eau, la prévision climatique, les activités agricoles et les préparatifs des réponses aux effets du changement climatique.

2. Matériel et méthodes

2-1. Données de pluie et zone d'étude

Les données de pluie utilisées dans cette étude sont obtenues de l'Agence nationale de la Météorologie du Bénin. Au nombre des stations disponibles, seulement quelques-unes remplissent les conditions de données manquantes ayant une portion moins de 10 % ont été retenues pour les études ultérieures. Il s'agit de pluviométrie des stations de Bopa, Grand-Popo et Athiémé couvrant la période de 1960 à 2022. Le département du Mono est situé au Sud-Ouest du Bénin entre 6°15' et 7°45' de latitude Nord d'une part, et entre 1°35' et 2°13' de longitude Est d'autre part (**Figure 1**). Il est limité au Nord par les départements des Collines, au Sud par l'océan Atlantique, à l'Ouest par la République du Togo et à l'Est, par les départements du Zou et de l'Atlantique. Le département se retrouve globalement dans la région du golfe de Guinée et ses parties hautes et moyennes sont en grande partie sur le territoire togolais [18]. Il couvre les départements du Mono (communes de Lokossa, Athiémé, Grand-Popo, Houéyogbé, Comè et Bopa) et du Couffo (Communes de Klouékanmè, Lalo, Toviklin, Aplahoué, Djakotomè et Dogbo) et une partie des départements des collines, du Zou et de l'Atlantique comme le montre la **Figure 1**.

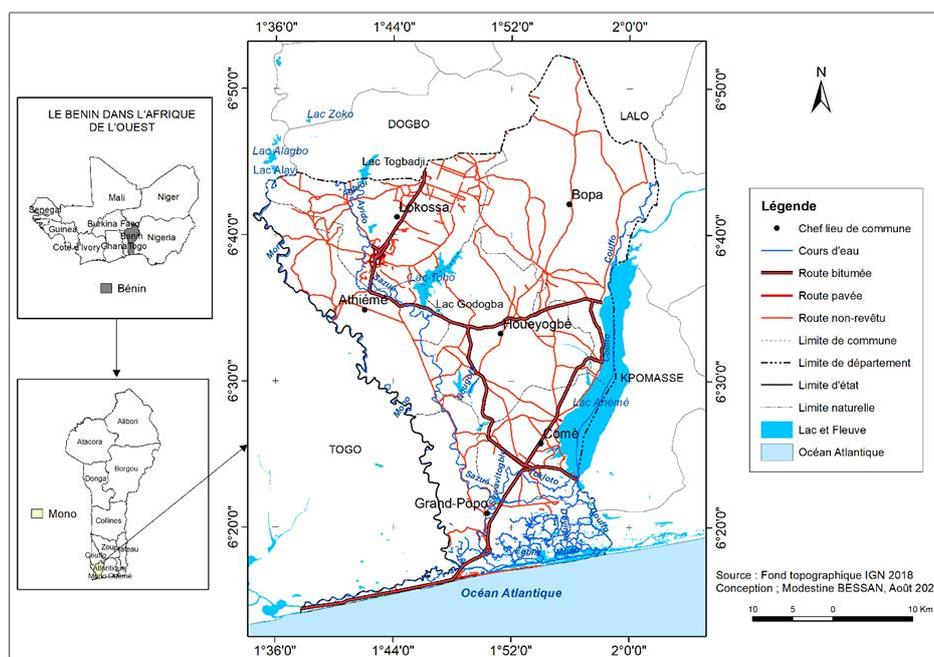


Figure 1 : Carte montrant le département du Mono (Bessan, 2023)

2-2. Méthodes

Diverses méthodes ont été employées afin d'atteindre les objectifs du travail. L'analyse des tendances pluviométriques à travers la méthode commune qui la simple régression linéaire. Une tendance comme un changement graduel dans les propriétés d'une variable aléatoire avait été défini [19]. Pour la présente étude, l'analyse des tendances des séries pluviométriques a été faite par (l'utilisation des anomalies centrées réduites et les moyennes mobiles. Les anomalies centrées réduites sont des indices qui mesurent l'écart par rapport à une moyenne établie sur une longue période en se référant aux données de différentes stations [20]. Pour cette recherche, le calcul des anomalies centrées réduites a constitué à déterminer un indice normalisé (I_n) qui traduit un excédent ou un déficit pluviométrique ou hydrométrique d'une variable. Ce qui permet d'identifier les séquences sèches ou déficitaires, les séquences humides ou excédentaires et

les séquences moyennes ou normales sur la période 1960 à 2022. L'indice normalisé (I_n) ou encore indice standardisé de la précipitation peut être positif ou négatif et s'exprime par la **Formule** ci-dessous [21, 22] :

$$I_n = \frac{X - \bar{X}}{\sigma(x)} \quad (1)$$

Dans le cadre de cette étude, la classification es indices standardisés de précipitation par catégories est indiquée dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Classification de l'indice normalisé (I_n) des précipitations

Valeurs de l'indice normalisé (I_n)	Qualification des périodes/années
Années ou périodes humides ou excédentaires en pluie	
0 à 0,99	Normalement humide
1 à 1,49	Modérément humide
1,5 à 1,99	Fortement humide
≥ 2	Extrêmement humide
Années ou périodes sèches ou déficitaires en pluies	
0 à -0,99	Normalement sèche
-1 à -1,49	Modérément sèche
-1,5 à -1,99	Fortement sèche
≤ -2	Extrêmement sèche

Source : [23]

Aussi, l'application des tests de rupture dans la série de la précipitation a été appliquée au niveau de chaque station et l'ensemble des stations.

3. Résultats et discussion

3-1. Variation interannuelle de la hauteur de pluies au niveau de chaque station du Mono

Après l'analyse de la variabilité interannuelle par station, une analyse globale de l'évolution des pluies de l'ensemble du bassin versant du Mono a été réalisée grâce utilisant des données de stations de pluies. Les résultats sont synthétisés sur la **Figure 2**. De façon générale, sur la période 1960 - 2022, le bassin du Mono a connu une augmentation de sa pluviométrie avec un taux d'augmentation de 0,96 ; mais à noter soit que la pluie diminue de plus de 13 mm sur la période de 1960 à 1990. Elle a été suivie d'une légère augmentation d'environ 5 mm par an sur un intervalle de temps compris entre 1991 et 2022. Les hauteurs de pluie atteignant 1836 mm sont observées en 2010 après une année très marquée de 1968 (1756 mm). L'étude de l'indice pluviométrique annuel a permis de mieux distinguer les années excédentaires et ou déficitaires en termes de pluviométrie.

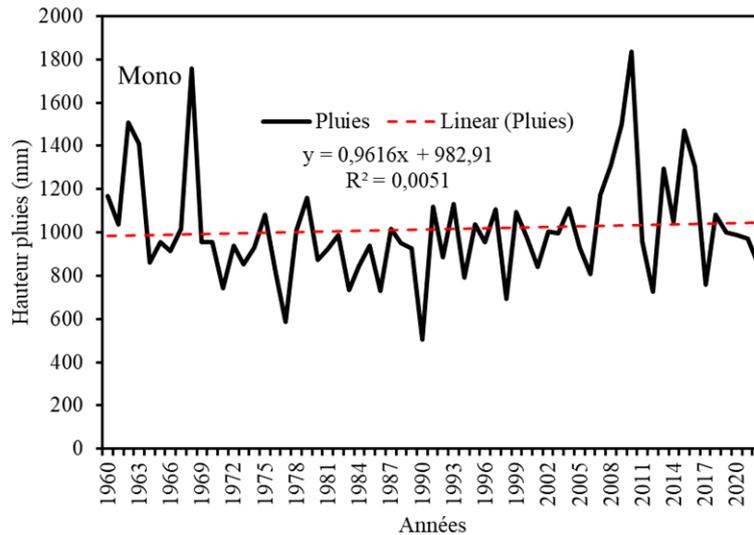


Figure 2 : *Variation interannuelle de la hauteur de pluie dans le Mono (en noir) et la ligne en discontinu représente la tendance linéaire*

3-2. Variation interannuelle de la hauteur de pluies au niveau de chaque station du Mono

La **Figure 3** présente les régimes pluviométriques du département du Mono par station. Cette figure a révélé la présence de régimes pluviométriques bimodaux sur l'ensemble des trois stations (Athiémié, Bopa et Grand-Popo) du bassin avec des pointes d'inégale importance. Ce qui a permis de distinguer deux saisons par station. Une grande saison pluvieuse qui a commencé généralement mi-mars et a pris fin en juillet et correspondu à la période où la hauteur des précipitations la plus élevée de l'année est observée avec le pic en juin. Il s'agit d'une période de pluies intenses où le bassin est souvent inondé. Il faut noter que cette saison a été suivie d'une pluie faible en mois D'août et constituant ainsi le début de la deuxième saison (petite saison). De septembre à mi-novembre, il a été remarqué le retrait progressif des pluies de l'intérieur des terres vers la côte, c'est la petite saison des pluies. La grande saison sèche a débuté de novembre à mi-mars sous la dominance de l'alizé continental du nord-est (l'harmattan) lors duquel, Il a été constaté que les apports en eau pluvial deviennent très faibles. Enfin une petite saison sèche de mi-août à mi-septembre où, s'observe le fléchissement des précipitations.

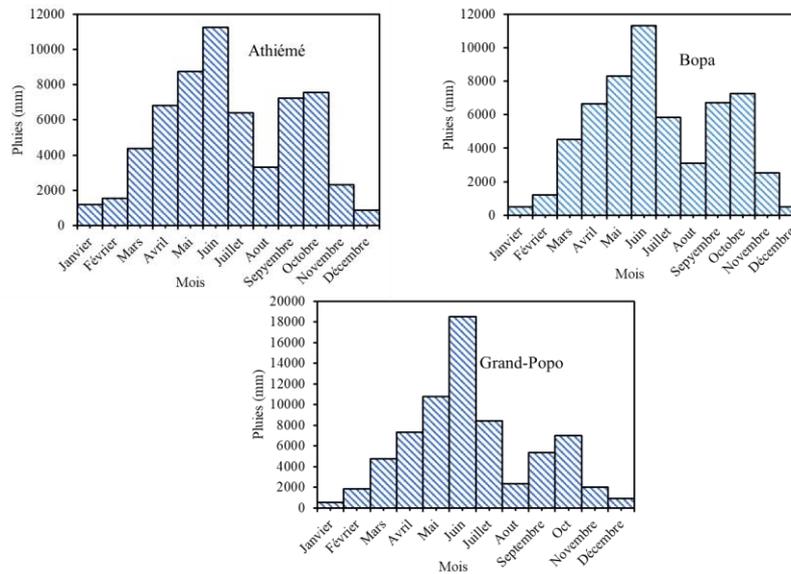


Figure 3 : Variation des régimes pluviométriques moyens (1960 - 2022) pour les stations Athiémé, Bopa et Grand-Popo dans le département du Mono

3.3. Variabilité interannuelle de la pluviométrie de 1960 à 2022 dans le département du Mono

La variabilité interannuelle des précipitations a permis de décrire et d'analyser l'évolution des totaux pluviométriques annuels par station et sur l'ensemble du bassin du Mono sur la période 1960 - 2022. La **Figure 4** présente cette variabilité interannuelle des pluies par station. La variabilité pluviométrique sur les stations du bassin du Mono est caractérisée par une évolution différenciée par station. Au total, sur la période 1960-2022, 67 % des stations du bassin, soit trois stations (Athiémé, Bopa) sur les trois ont connu de façon diversifiée, une baisse de leurs pluviométries, alors que les 33 % restantes (Grand-Popo) ont présenté une tendance à la hausse.

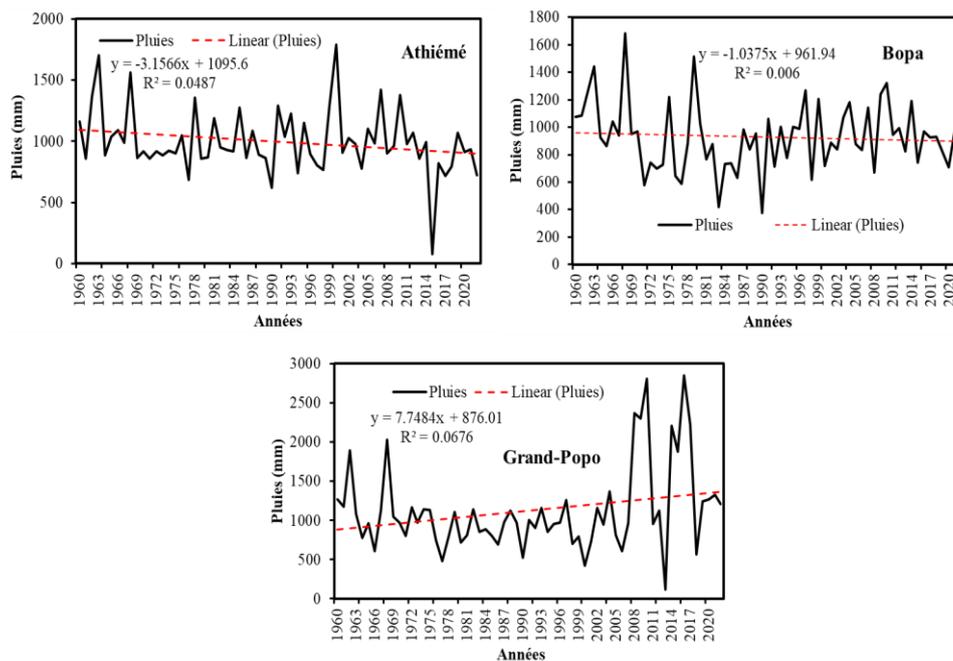


Figure 4 : Évolution interannuelle des pluies dans les stations du Mono (département) pour 1960 - 2022

3-4. Caractérisation des années de sécheresse et de l'humidité dans le Mono

L'évolution des indices normalisés de précipitations sur la période 1960-2022 sur l'ensemble du bassin du Mono, a montré une grande variabilité interannuelle et des fluctuations remarquables avec de variable périodes humides. De cette analyse, les années extrêmement humides sont : 1962, 1968 et 2010 ont été obtenues pendant que celles de 1963, 2009 et 2015 ont été fortement humides. La classification des indices pluviométriques (ln) a permis d'identifier de façon précise sur département du Mono les différentes années humides et sèches [24]. Le résultat est résumé dans le **Tableau 2**. L'analyse des coefficients de régression des tendances est illustrée par le **Tableau 2** qui a confirmé l'évolution diversifiée des pluies observée au niveau des différentes stations.

Tableau 2 : Spécificités des années excédentaires et déficitaires sur le bassin de 1960 - 2022

Catégories	Indices	Années	Proportion	Total
Extrêmement humides	$ln \geq 2$	1962 ; 1968 ; 2010	3	24
Fortement humides	$1,5 \leq ln \leq 1,99$	1963 ; 2009 ; 2015	3	
Modérément humides	$1 \leq ln \leq 1,49$	2008 ; 2013 ; 2016	3	
Normalement humides	$0 \leq ln \leq 0,99$	1960 ; 1961 ; 1967 ; 1975 ; 1979 ; 1987 ; 1991 ; 1993 ; 1995 ; 1997 ; 1999 ; 2004 ; 2007 ; 2014 ; 2018	15	39
Normalement sèches	$0 \leq ln \leq -0,99$	1964 ; 1965 ; 1966 ; 1969 ; 1970 ; 1972 ; 1973 ; 1974 ; 1976 ; 1978 ; 1980 ; 1981 ; 1982 ; 1984 ; 1985 ; 1988 ; 1989 ; 1992 ; 1994 ; 1996 ; 2000 ; 2001 ; 2002 ; 2003 ; 2005 ; 2006 ; 2011 ; 2019 ; 2020 ; 2021 ; 2022	31	
Modérément sèches	$-1 \leq ln \leq -1,49$	1971 ; 1983 ; 1986 ; 1998 ; 2012 ; 2017	6	
Fortement sèches	$-1,5 \leq ln \leq -1,99$	1977	1	
Extrêmement sèches	$ln \leq -2$	1990	1	

3-5. Évolution temporelle de l'indice standardisé de précipitation

L'indice standardisé de précipitation du département du Mono a été calculé avec une tendance basée sur la moyenne mobile de 5 ans comme l'indique la **Figure 5** qui suit. La moyenne mobile a permis de caractériser la variabilité inter-décennale à décennale des variables étudiées [25]. Ainsi, trois différentes périodes ont été observées notamment deux périodes décennales positives (1960 - 1971 et 2008 - 2021) et une longue période décennale négative (1972 - 2007). La période de la longue période de sécheresse a en partie confirmé les résultats d'une étude passée avait trouvé que l'Afrique de l'Ouest avait subi une longue période de sécheresse entre 1968 et 1995 [26]. Sans doute, cette caractéristique de la tendance décennale basée sur 'indice standardisé de précipitation ou anomalies centrées réduites est en harmonie avec d'autres travaux précédents [27].

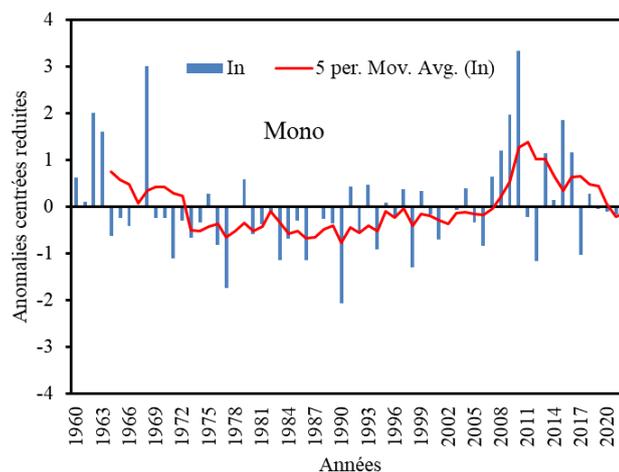


Figure 5 : Précipitations centrées réduites dans le département du Mono. Les bâtons (bleu) et courbes (rouge) représentent respectivement les valeurs centrées réduites et la moyenne glissante

Il y a eu dans le département du Mono 24 années humides contre 39 années sèches selon les valeurs des indices normalisés de précipitation sur la période 1960 - 2022. Ce résultat est en opposition à l'évolution interannuelle des hauteurs de pluies qui a montré une légère tendance à la hausse sur l'ensemble du territoire étudié. Ceci est en inadéquation avec les résultats d'une étude précédente qui avait travaillé sur la partie béninoise et togolaise du bassin dudit département de 1961 à 2000 [18]. La différence pourrait être due à l'étendue de la zone d'étude considérée. Cependant, il est important de noter la relativité obtenue dans les périodes excédentaires et déficitaires sur la série (**Tableau 2**) : trois années extrêmement humides (1962 et 1968 et 2010) ont été identifiées contre une année extrêmement sèche (voir section 3.2). De part et d'autre, il a été déterminé trois années fortement humides (2008, 2013 et 2016) et une année fortement sèche (1977) et également trois années modérément humides (1960 et 2010) et six modérément sèches (1971, 1983, 1986, 1998, 2012 et 2017) ; enfin, trente-et-une année normalement sèche contre quinze années normalement humides. Les intensités des pluies extrêmes humides dominent celles des extrêmes sèches. Ce qui confère la tendance positive de la pluviométrie obtenue. La **Figure 6** montre une fréquence des différentes catégories d'années pluviométriques suivant la valeur des indices.

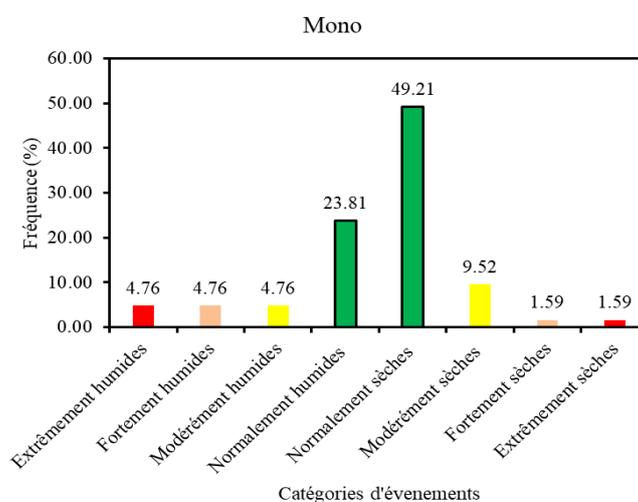


Figure 6 : Fréquence des années excédentaires et déficitaires suivant la méthode de Mckee et sur l'ensemble du département du Mono [24]. Source : Traitement des données, 2023

Cette **Figure** a confirmé les résultats du **Tableau 2** (voir section 3.2) où, seulement une année extrêmement sèche plus précisément en 1990, a été enregistrée sur la période. Par contre 4,76 % des années ont été extrêmement humides contre 23,81 % d'années normalement humides et 49,21% de normalement sèches. Ce résultat est en désaccord aux travaux antécédents, où plus de 50 % des années pluviométriques ont été normales sur le bassin inférieur de l'Ouémé sur la période 1951 - 2010 [28]. Cette différence de résultat pourrait s'expliquer par non seulement la durée d'étude mais aussi la gestion des données manquantes. Les études basées sur le SPI ont aussi montré une dominance des années normalement sèches dans le haut bassin du Sénégal [29]. Ce détail dans la classification des périodes humides et sèches a permis de vérifier les catégories d'années humides auxquelles appartiennent les années d'inondations antérieures ayant engendrés des dégâts non négligeables recensées dans la documentation. Ainsi, d'après les premiers témoignages et à partir de la bibliographie, les crues de 1999, 2003, 2007, 2009 et 2010 ont produit des inondations particulièrement nuisibles et les années d'inondation les plus citées sont : 1963, 1995, 1999, 2000, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 [30,31]. Un exercice de classification révèle que sur les douze (12) années citées, 1963, 1968 et 2010 ont été les années extrêmement humide (or, on sait que 2010 a été la plus catastrophique en termes d'inondation au Bénin jusqu'à présent), 1995, 1999, 2003, 2004, 2007, 2008, 2009 sont classées des années normalement humides (donc pas d'excès de pluie pour provoquer des inondations) et 2000, 2005, 2006 sont classées années normalement sèches. Cet exercice a permis à l'échelle du Mono qui est une partie du Sud Bénin, de conclure que bon nombre d'années de forte probabilité d'inondation coïncide avec beaucoup d'années allant de fortement à extrêmement humide, pour l'instant, la majorité des inondations survenue dans le bassin est bien liée à des excédents de pluies. A l'échelle de chaque station/commune, les résultats ne sont pas toujours les mêmes, donc ils sont susceptibles de changements. Ainsi, afin d'obtenir plus de précision sur les tendances, une étude spécifique de l'évolution des anomalies centrées réduites a été réalisée par station. Les résultats sont présentés sur la **Figure 7**.

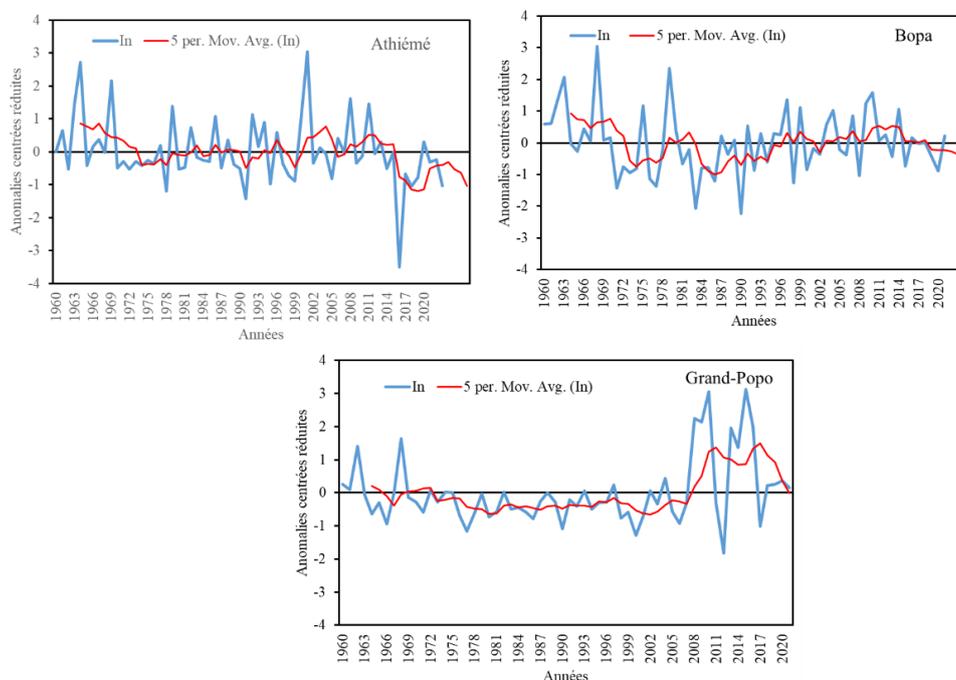


Figure 7 : Variation des anomalies pluviométriques par station de 1960 à 2022.

La station de pluviométrie d'Athiémé a enregistré trois (03) évènements extrêmement humides, spécifiquement dans les périodes 1969, 2011 et 2017 avec une fréquence de 4,76 %. L'année 1969 a été

détectée comme celle de rupture [32]. Pendant ce temps, les années fortement humides sont au nombre de quatre (04) avec une proportion de 6,35 %. Quant à la station de Bopa, elle a recordé une fréquence d'évènement extrêmement humide (4,76 %) semblable à celle d'Athiémé. Seulement une seule année (1,59 %) a été observé comme fortement humide en l'occurrence en 2010. Les évènements extrêmement humides sont plus observés au niveau de la station de Grand-Popo comparativement aux deux autres stations. On note une proportion de 7,94 % (3,17 %) d'occurrence des évènements extrêmes humides particulièrement dans les années 2008, 2009, 2010, 2016 et 2017. De tout ce qui suit, l'année 2010 semble être une année d'évènement majeur. Pour mieux apprécier les différentes périodes excédentaires et déficitaires identifiés, il a été recherché les éventuelles ruptures de stationnarité dans la série chronologique 1960 - 2022.

3-6. Détection des ruptures au sein des séries pluviométriques annuelles

Trois tests de Khronostat (tests de Buishand, de Pettitt, la procédure de segmentation et la méthode bayésienne) ont été appliqués à l'échelle du département et au niveau de chaque station [33]. La **Figure 8** présente les résultats obtenus au niveau de l'ensemble du bassin. Sur l'ensemble du bassin versant, on remarque que l'hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée au seuil de 90 %, 95 % et 99 % pour les tests de Buishand [30]. Ce qui signifie que selon ces deux tests, la série pluviométrique 1960 - 2022 ne présente aucune rupture. Par ailleurs, la méthode bayésienne et la procédure de segmentation de Hubert [33] n'ont été possible à cause de la non stationnarité de la série (**Figure 8**).

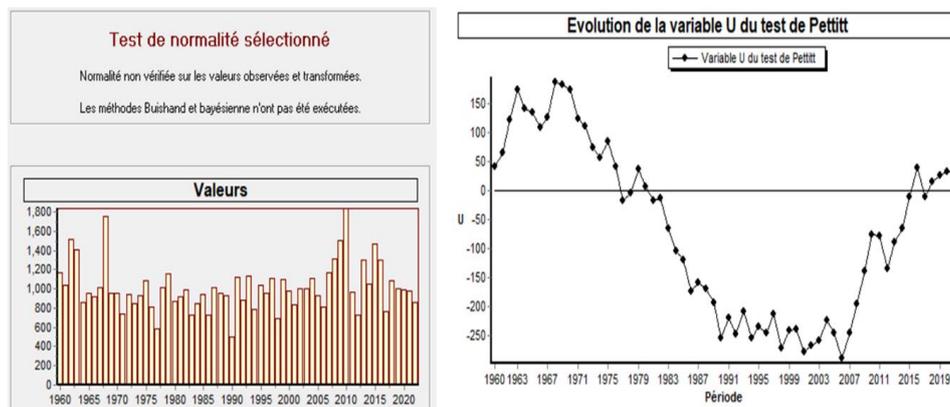


Figure 8 : Rupture de stationnarité pluviométrique dans le bassin du Mono de 1960 - 2022

Le **Tableau 3** décrit les résultats des analyses basées sur les différents tests. Ces tests sont appliqués sur chaque station et l'ensemble des stations du département.

Tableau 3 : Rupture dans les séries pluviométriques de 1960–2022 par station

Département et stations	Buis-hand	Pettitt	Lee et Heghinian	Seg. de Hubert	Spécificités de la segmentation d'Hubert		
					début	Fin	Moy.(mm)
Département du Mono	---	---	---	---	1960	2022	1013,68
					1964	2022	1048,61
Athiémé	---	---	---	---	1960	2013	1030,95
					2014	2015	38,75
					2016	2022	854,07
Bopa	---	---	1968	1968	1960	1968	1146,87
					1969	2022	892,39
Grand-Popo	---	2007	---	2007	1960	2007	965,94
					2008	2010	2490,63
					2011	2012	537,60
					2013	2016	2290,05
					2017	2022	1122,60

NB : Hypothèse nulle (absence de rupture) acceptée aux seuils de 90, 95 et 99 %

Il faut remarquer que l'hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée au seuil de 90 %, 95 % et 99 % au niveau des 3 stations pour le test de Buis-hand et le test de Pettitt. C'est à la station de Grand-Popo qu'une rupture a été détectée en 2007 au seuil de 90 % par Pettitt et au niveau des stations de Bopa qui a détecté de ruptures en 1968 [34]. Les résultats des tests sur l'ensemble de précipitation sur le Mono confirment l'absence de rupture sur l'ensemble du bassin pour les tests de Pettitt et de Buis-hand. Ceci est également conforme aux résultats des travaux antérieurs, ayant travaillé sur la période 1961 - 2000 sur le grand complexe hydrographique Mono-Couffo-Ahémé et qui n'ont détecté aucune rupture nette dans le sud du Bénin suite aux tests de Mann-Kendall et de Pettitt [35]. Ce sont ces résultats qui ont motivé le présent travail à se pencher sur la recherche d'autres ruptures par la méthode bayésienne de Lee et Heghinian et la procédure de segmentation d'Hubert. Ces deux derniers tests ont donc détecté des ruptures à l'échelle de chaque station (*Tableau 3*), excepté la station de Lanta où aucune rupture n'a été détectée par les quatre tests. Au total, les années de rupture qui ont été trouvées au niveau station. Deux stations dont Bopa, et Grand-Popo ont présenté des ruptures en 1963, 1968 et 2007. Ces observations confirment la tendance des précipitations notée par l'évolution de la courbe des indices et corroborent aussi les résultats de plusieurs auteurs, qui situent la plupart des ruptures en Afrique occidentale et centrale entre 1960 et 1970 [32, 36].

4. Conclusion

La pluviométrie étant l'un des principaux facteurs de changement climatique, une bonne connaissance des caractéristiques de celle-ci se révèle indispensable et principalement dans le département du Mono où trois de ses communes sont victimes des inondations. C'est ainsi que cette étude a été menée afin de connaître les comportements de la pluviométrie dans ce département sur la période de 1960 - 2022. Ils découlent de cette étude que la pluviométrie a connu une augmentation et est l'une des sources principales des inondations dans le département du Mono. Il est caractérisé par une fréquence élevée de sécheresse. Les résultats de cette analyse permettraient aux autorités politico-administratives de prendre des décisions pour la gestion des événements extrêmes dans la zone et l'adaptation aux changements climatiques.

Références

- [1] - C. JULIEN, C. NATIONAL, C. FABRICE, C. NATIONAL, D. HERV, C. NATIONAL, R. AUR et C. NATIONAL, Événements météorologiques extrêmes et changement climatique, Encyclopedie de Lmenvironnement, (2018) 1 - 11. file:///D:/Modestine/ARTICLES/Revisions/evenements-meteorologiques-extremes-et-changement-climatique-encyclopedie-environnement.pdf
- [2] - OMM, Changement climatique en 2020: des indicateurs et des effets de plus en plus alarmants, Organisation Météorologique Mondiale (2021). <https://public.wmo.int/fr/media/changement-climatique-en-2020-des-indicateurs-et-des-effets-de-plus-en-plus-alarmants> (accessed November 3, 2024)
- [3] - E. VINCENT, I. YABI, G. M. K. EMERIC et A. AHANCHEDE, Agriculture and food security under threat of change climate in Benin, *African Journal of Agricultural Research*, 13 (2018) 1389 - 1399. <https://doi.org/10.5897/ajar2014.8748>
- [4] - M. AGBAZO, G. K. N. GOBI, E. ALAMOU, B. KOUNOUHEWA et A. AFOUDA, Detection of hydrological impacts of climate change in Benin by a multifractal approach, 11 (2019) 45 - 55. <https://doi.org/10.5897/IJWREE2018.0819>
- [5] - E. AMOUSSOU, P. CAMBERLIN, T. V. S. H, Y. TRAMBLAY, C. HOUNDENOU, G. MAHE, J. PATUREL et M. BOKO, ÉVOLUTION DES PRÉCIPITATIONS EXTRÊMES DANS LE BASSIN VERSANT DU MONO (BÉNIN-TOGO) EN CONTEXTE DE VARIABILITÉ / CHANGEMENT CLIMATIQUE socioéconomique . La question de l ' évolution future de la fréquence ou de l ' intensité de ces particulièrement concer, in: XXVIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Dijon (France), (2014) 343 - 349 p.
- [6] - R. T. NAKOU, F. D. P. CODO, N. C. WOROU, Caractérisation des événements pluviométriques extrêmes dans la basse vallée du fleuve Mono au Bénin Résumé Abstract, 21 (2022) 177 - 192
- [7] - E. AMOUSSOU, H. AWOYE, H. S. T. VODOUNON, S. OBAHOUNDJÉ, P. CAMBERLIN, A. DIEDHIOU, K. KOUADIO, G. MAHÉ, C. HOUNDÉNOU et M. BOKO, Climate and extreme rainfall events in the mono river basin (West Africa): Investigating future changes with regional climate models, *Water (Switzerland)*, 12 (2020). <https://doi.org/10.3390/w12030833>
- [8] - K. D. HERVÉ, Caractérisations hydro-pluviométriques des inondations dans le bassin versant de Couffo a Lanta Hydro-pluviometric characterizations of flooding from Couffo watershed to Lanta Abstract, (2020) 20 - 27
- [9] - C. P. GNANGLE, R. G. KAKAÏ, A. E. ASSOGBADJO, S. VODOUNNON, J. AFOUDA et N. SOKPON, Tendances Climatiques Passees, Modelisation, Climatologie, 8 (2011) 27 - 40
- [10] - IFRC, Contre marées et chaleurs : S'attaquer ensemble aux conséquences humanitaires de la crise climatique., (2020). https://www.ifrc.org/sites/default/files/2021-09/IFRC_WDR_ExecutiveSummary_FR_Web.pdf
- [11] - J. F. BEAUX, L'environnement: Repères pratiques, Edition Na, Paris, (2002)
- [12] - G. BELTRANDO, Les climats. Processus, variabilité et risques., Armand Col, Collection U, Géographie., Paris, (2004)
- [13] - Comité De La Prévention et De La Précaution, Catastrophes environnementales : Préparer l'évaluation de leur effet et le retour d'expérience, Paris, (2008), <https://www.alerte-sante-environnement-deontologie.fr/IMG/pdf/cpp-catastrophes-2008.pdf>
- [14] - F. KAGAWA et D. SELBY, La Réduction des risques des catastrophes dans les programmes scolaires: études de cas concernant trente pays, (2012). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000230303>
- [15] - Y. KOBAYASHI, Gestion du risque de catastrophe, Banque Mondiale (2024). <https://www.banquemondiale.org/fr/topic/disasterriskmanagement/overview> (accessed October 27, 2024)
- [16] - S. F. HOUNVOU, K. F. GUEDJE, H. KOUGBEAGBEDE, J. ADECHINAN, E. HOUNGNINOUE et A. HOUETO, Spatiotemporal Variability of Extreme Rainfall in Southern Benin in the Context of Global Warming, 2023 (2023)

- [17] - Développement Programme des Nations Unies, LE BENIN: UN PAYS VULNERABLE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES, PNUD Benin, (2019) 6. file:///C:/Users/PC/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownloads/3739dfe9-c062-4403-9d21-40a2e1bc643b/UNDP-bj-Changements-climatiques-2019.pdf (accessed November 3, 2024)
- [18] - E. AMOUSSOU, Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin- versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest), Université de Bourgogne, (2010)
- [19] - A. BEDOUM, Impact de la variabilité pluviométrique et de la sécheresse au sud du Tchad: Effets du changement climatique, *Revue Ivoirienne Des Sciences et Technologie*, 23 (2014) 13 - 30
- [20] - S. ARDOIN-BARDIN, H. LUBES-NIEL, E. SERVAT, A. DEZETTER, J. E. PATUREL, G. MAHE, J. F. BOYER, Analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'Ouest: caractérisation de la situation de la décennie 1990, in: Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions, colloque IAHS, Montpellier, (2003) 223 - 228 p.
- [21] - E. SERVAT, J. E. PATUREL, H. LUBES-NIEL, B. KOUAME, J. M. MASSON, M. TRAVAGLIO et B. MARIEU, De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne., *Revue Des Sciences de l'Eau*, 12 (1999) 363 - 387. <https://doi.org/https://doi.org/10.7202/705356ar>
- [22] - P. J. LAMB, Sub-saharan rainfall update for 1982; continued drought, *Journal of Climatology*, 3 (1983) 419 - 422. <https://doi.org/10.1002/joc.3370030410>
- [23] - T. B. N. MCKEE, J. DOESKEN et J. KLEIST, The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales., in : C.A. Anaheim (Ed.), In Eight Conference on Applied Climatology, *American Meteorological and Society*, (1993) 179 - 184 p.
- [24] - T. B. MCKEE, N. J. DOESKEN et J. KLEIST, The relationship of drought frequency and duration to time scales., in: 8th Conference on Applied Climatology, January, Anaheim, CA, (1993) 179 - 184 p.
- [25] - E. AMOUSSOU, P. CAMBERLIN et G. MAHE, Impact de la variabilité climatique et du barrage nangkéto sur l'hydrologie du système Mono-Couffo (Afrique de l'ouest), *Hydrological Sciences Journal*, 57 (2012) 805 - 817. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.643799>
- [26] - L. DESCROIX, A. DIONGUE NIANG, G. PANTHOU, A. BODIAN, Y. SANE, H. DACOSTA, M. MALAM ABDOU, J.-P. VANDERVAERE et G. QUANTIN, Évolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'ouest à travers deux régions : la Sénégalie et le bassin du Niger moyen, *Climatologie*, 12 (2015) 25 - 43. <https://doi.org/10.4267/climatologie.1105>
- [27] - S. JANICOT, État des recherches sur l'attribution de la variabilité décennale récente en Afrique de l'Ouest, *Cahiers d'Outre-Mer*, 65 (2012) 463 - 477. <https://doi.org/10.4000/com.6694>
- [28] - B. T. DONOU, Extrêmes hydroclimatiques dans le bassin inférieur du fleuve Ouémé : diagnostic, impact agricole et scénarios de gestion., Université d'Abomey-Calavi au Bénin, (2015)
- [29] - A. FATY, A. KANE et A. L. NDIAYE, Influence de la manifestation climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers dans le haut bassin versant du Sénégal, *Revue Des Sciences de l'Eau*, 30 (2017) 79 - 87. <https://doi.org/10.7202/1042915ar>
- [30] - T. A. Buishand, Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series, *Hydrology*, 73 (1984) 51 - 69
- [31] - PNUD-Bénin, D'ÉVALUATION DU DISPOSITIF DE PRODUCTION ET DE DIFFUSION DES ALERTES AUX INONDATIONS DU FLEUVE NIGER A MALANVILLE ET KARIMAMA EN 2013 AU BENIN, Benin, (2014). https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/BEN/SAP Rapport-définitif-complet_evaluation-SAP-2013.pdf
- [32] - E. A. ALAMOU, G. M. QUENUM, A. E. LAWIN, Variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans le bassin de l'Ouémé , Bénin, *Afrique SCIENCE*, 12 (2016) 315 - 328. <http://www.afriquescience.info>
- [33] - P. HUBERT et J. P. CARBONNEL, Segmentation des séries annuelles de débits de grands fleuves africains., *Bulletin de Liaison Du CIEH*, 92 (1993) 3 - 10

- [34] - A. F. LEE et S. M. HEGHINIAN, A Shift of the Mean Level in a Séquence of Independent Normal 622 Random Variables : A Bayesian Approach. 503-506, *Technometrics*, 19 (1977) 503 - 506. [https://doi.org/doi: 623 10.1080/00401706.1977.10489592](https://doi.org/doi:62310.1080/00401706.1977.10489592)
- [35] - A. BODIAN, O. NDIAYE et H. DACOSTA, Evolution des caractéristiques des pluies journalières dans le bassin versant du fleuve Sénégal: Aavant et après rupture, *Hydrological Sciences Journal*, 61 (2016) 905 - 913. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.950584>
- [36] - A. BODIAN, Approche par modélisation pluie-débit de la connaissance régionale de la ressource en eau : Application au haut bassin du fleuve Sénégal, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), (2011)