

Fluctuations Pluviométriques et Analyse Fréquentielle des Hauteurs de Pluie Maximales en Milieu Subéquatorial au Bénin

[Rain Fluctuations and Frequential Analysis of Maximum Rainfall Heights in Sub-Equatorial Environment in Benin]

CHABI Ayédèguè Biaou Philippe

Ecole d'Agrobusiness et de Politiques Agricoles (EAPA), Université Nationale d'Agriculture (UNA)

Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE)



Résumé – La pluie apparaît en milieu subéquatorial comme l'un des éléments les plus dynamiques du climat et conditionne les activités humaines. Ses modifications, parfois brutales, comparativement aux autres paramètres climatiques provoquent des crises importantes et prises au sérieux.

L'objectif de cet article est d'analyser les fluctuations pluviométriques et les fréquences des hauteurs de pluie maximales en milieu subéquatorial au Bénin.

Les données collectées dans le cadre de cet article sont les hauteurs de pluie de dix stations dont deux stations synoptiques (Cotonou-Aéroport et Bohicon) et les postes pluviométriques (Grand-Popo, Bopa, Aplahoué, Porto-Novo, Sakété, Pobè, Zangnanado) et la station climatologique sur une période de 1981-2010. La classification des hauteurs de pluies a été mise à contribution

Les résultats issus de cet article montrent que les totaux pluviométriques varient d'une année à une autre. De plus, trois groupes de stations se dégagent. Le premier groupe est constitué des stations de Cotonou-Aéroport, Porto-Novo et Sakété qui enregistrent les plus fortes valeurs de totaux pluviométriques annuels. Quant au second groupe, il est constitué des stations de Niaouli, Pobè, Bohicon, Aplahoué et Zangnanado qui sont des stations continentales et enfin le troisième groupe est constitué des stations de Grand-Popo et Bopa. Quant à la fréquence des hauteurs de pluie maximales, toutes les séries pluviométriques s'ajustent bien aux lois de Gumbel avec une marge d'erreur de 1 à 5 %. Néanmoins, il faut noter qu'au niveau des stations de la région de recherche, l'incertitude devient élevée à partir des probabilités de non dépassement de 0,06 ou 0,2 selon les hauteurs maximales de pluie journalière.

Mots clés – Bénin, Milieu Subéquatorial, Fluctuations Pluviométriques, Pluie Maximale Fréquentielle.

Abstract – Rain appears in the subequatorial environment as one of the most dynamic elements of the climate and conditions human activities. Its changes, sometimes brutal, compared to other climatic parameters cause major crises and taken seriously.

The objective of this article is to analyze rainfall fluctuations and the frequencies of maximum rain depths in the subequatorial environment in Benin.

The data collected within the framework of this article are the rainfall depths of ten stations including two synoptic stations (Cotonou-Aéroport and Bohicon) and the pluviometric stations (Grand-Popo, Bopa, Aplahoué, Porto-Novo, Sakété, Pobè, Zangnanado) and the climatological station over a period from 1981-2010. Rainfall classification has been used

The results from this article show that rainfall totals vary from year to year. In addition, three groups of stations emerge. The first group is made up of the Cotonou-Aéroport, Porto-Novo and Sakété stations, which record the highest values of annual rainfall totals. As for the second group, it is made up of the stations of Niaouli, Pobè, Bohicon, Aplahoué and Zangnanado which are continental stations and finally the third group is made up of the stations of Grand-Popo and Bopa. As for the frequency of maximum rain depths, all rainfall series fit well with Gumbel's laws with a margin of error of 1 to 5%. However, it should be noted that at the stations of the

research region, the uncertainty becomes high from the probabilities of not exceeding 0.06 or 0.2 depending on the maximum heights of daily rain.

Keywords – Benin, Subequatorial Environment, Rainfall Fluctuations, Maximum Frequency Rain.

I. INTRODUCTION

Le régime des précipitations est le facteur principal de la productivité alimentaire dans la région du Sahel [11] et conditionne dans une certaine mesure les disponibilités en eau. Cette importance des précipitations pour les populations et les écosystèmes fait que la plupart des travaux sur l'analyse de la variabilité climatique en Afrique de l'Ouest portent sur ce paramètre [14] ; [13] et [2].

Quant à l'évolution pluviométrique actuelle, elle est caractérisée particulièrement en Afrique de l'Ouest par une péjoration pluviométrique très importante, constitue une préoccupation fondamentale dans les différents pays compte

tenu des impératifs de développement [9]. Très souvent, dans la zone tropicale, les précipitations sont le paramètre climatique majeur dans la caractérisation des climats. « Elles sont l'élément climatique qui varie le plus dans le temps et dans l'espace et qui définit les saisons sèche(s) et pluvieuse(s) » [10].

L'objectif de cet article est d'analyser les fluctuations pluviométriques et les fréquences des hauteurs de pluie maximales en milieu subéquatorial au Bénin.

Pour atteindre cet objectif, la situation géographique du milieu de recherche a été présentée. La figure xxx présente la situation géographique du milieu de recherche.

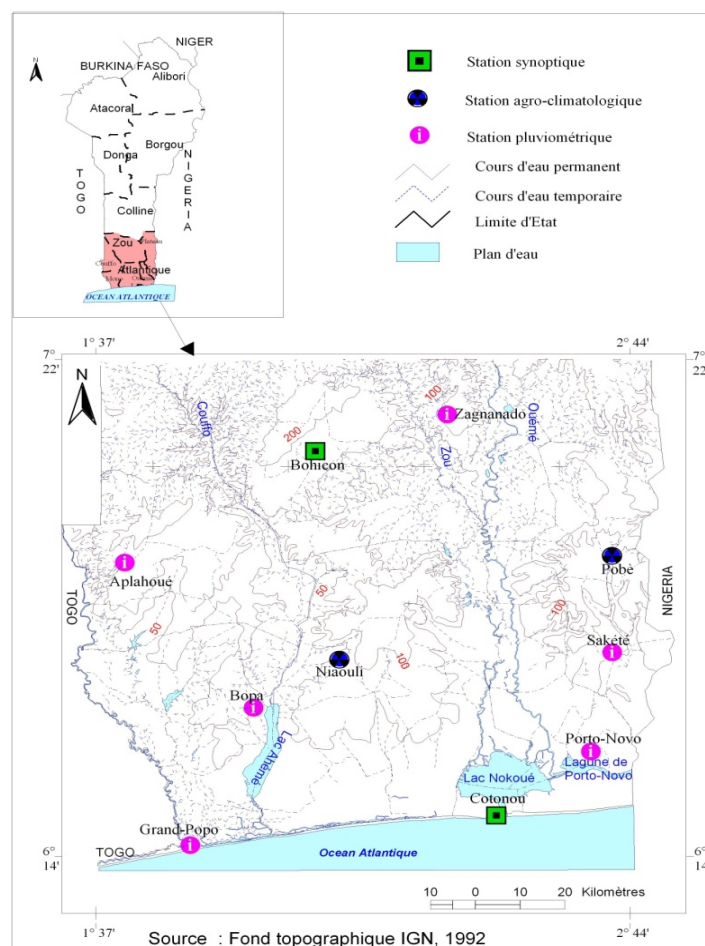


Figure 1: Situation géographique du milieu de recherche

Source : Fond topographique, IGN, 1992

Le milieu subéquatorial du Bénin s'étend de Cotonou (au Sud), sur la côte atlantique jusqu'à la latitude de Bohicon (au Nord) sur le socle dahoméen entre 1° 37' et 2° 44' de longitude Est et 6° 14' et 7° 22' de latitude Nord. Il couvre une superficie de 17920 km² dans le domaine subéquatorial marqué par deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches.

1. Données et méthodes

Les données collectées sont les hauteurs de pluie à l'échelle journalière sur une période de 1981-2010. Le traitement des données a été une partie importante de cette recherche. Pour traiter les différentes données recueillies, des méthodes statistiques ont été utilisées.

Les statistiques descriptives se présentent comme suit :

1.1. Les classes de pluie

La répartition des pluies par classe repose sur les recherches réalisées par plusieurs auteurs.

Bien que portant sur des régions de recherche différentes, tous deux ont défini deux types de pluies : les pluies faibles et les fortes pluies.

[7] M. Massouangui Kifouala (2004) a déterminé quatre classes de pluies dans le Sud du Congo qui se répartissent comme suit :

P1 = pluies inférieures à 1 mm d'eau : bruits de fond ;

P2 = pluies comprises entre 1 et 20 mm d'eau : pluies faibles ou légères ;

P3 = pluies comprises entre 20 et 40 mm d'eau : pluies modérées ;

P4 = pluies supérieures à 40 mm : pluies fortes.

Au total, cette classification cadre bien avec la région de recherche.

Dans le cadre de cette recherche, il a été retenu également quatre classes de hauteur de pluie par jour pluvieux (mais de bornes différentes). En plus, la classe des pluies inférieure à 1 mm n'est pas considérée. Les classes retenues sont des pluies de hauteurs comprises entre 1 et 40 mm = C1, des pluies de hauteurs comprises entre 40,1 et 80 mm = C2, des pluies de hauteurs comprises entre 80,1 et 120 mm = C3 et enfin des pluies de hauteurs supérieures 120 mm = C4. Cette classification se justifie par le fait que dans la région de recherche la moitié des pluies ont une hauteur supérieure à 40 mm.

1.2. Analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle permet de caractériser l'ampleur des événements extrêmes enregistrés afin d'en définir les

probabilités d'occurrence [8]. Elle est l'un des outils de base de l'analyse de l'occurrence d'événements extrêmes. C'est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné (climatologique ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future. L'analyse fréquentielle est utilisée, en particulier, pour estimer l'ampleur de l'événement temporel, Tx auquel est associé une période de retour T (quantile de période de retour T ou de probabilité au dépassement $p = 1/T$). L'estimation T_x de la valeur du quantile s'obtient en ajustant une loi de probabilité $F(x; \theta)$ à un échantillon de n observations $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, où θ représente le vecteur de paramètres associé à la distribution de probabilité F .

Pour estimer la probabilité d'apparition d'un événement pluviométrique, on dispose de séries sur une période d'observation. L'événement pluviométrique observé doit être échantillonné pour sélectionner les valeurs maximales (précipitation maximales journalières). L'événement ainsi échantillonné est ajusté à une loi de probabilité. On peut ainsi définir :

- la fonction de répartition $F_Q(q)$, qui correspond à la probabilité que la variable Q prenne une valeur inférieure à q , c'est à dire $F_Q(q) = P[Q \leq q]$;
- la fonction de densité de probabilité $f_Q(q)$; qui est une représentation de la probabilité d'apparition d'une hauteur de pluie q élémentaire : $F_Q(q) = P[q \leq Q < q + dq]$. Où dq : variation élémentaire de Q .

La probabilité de non occurrence d'une hauteur de pluie supérieure à q est :

$$F_Q(q) = P[Q \leq q] = \int_0^q f_Q(q) dq$$

La probabilité d'occurrence d'inondation, avec d'une hauteur de pluie supérieure à q , est définie par :

$$P[Q > q] = 1 - F_Q(q) = 1 - \int_0^q f_Q(q) dq$$

La série de débits et des précipitations constitue donc l'information de base pour la prévision événements hydrométéorologiques.

Pour définir la probabilité d'apparition d'une hauteur de pluie, les étapes à suivre sont :

- échantillonnage de la série de précipitations ;
- vérification des hypothèses d'indépendance, homogénéité et stationnarité ;
- choix d'une loi statistique ;
- contrôle de l'ajustement ;

- analyse des incertitudes ;
- échantillonnage de hauteur de pluie maximale.

L'échantillonnage consiste à sélectionner les hauteurs de pluie les plus fortes de la série. Deux méthodes existent à cet effet, les valeurs maximales annuelles (M.A) et les valeurs supérieures à un seuil (S.S.)

- Identification des Valeurs maximales (valeur record)

Cette méthode consiste à sélectionner la hauteur de pluie maximale de chaque année. Elle utilise l'année comme durée de regroupement car elle représente, à travers toutes les saisons, l'ensemble des phénomènes physiques qui gouvernent la pluviométrie (Valencia ; 2006).

- Vérification des hypothèses d'indépendance, homogénéité et stationnarité

- Indépendance : ce test consiste à vérifier l'absence d'auto corrélation entre les hauteurs de pluie. Ce test est particulièrement important lorsque l'échantillonnage se fait à partir des valeurs supérieures à un seuil car il est alors probable que deux hauteurs de pluies consécutives soient dépendantes.

- Homogénéité et stationnarité: il s'agit de vérifier que toutes les observations proviennent des mêmes conditions de fréquences et du même phénomène, par exemple que toutes les fréquences soient associées à la pluie et non à la fonte de neige. Ces hypothèses peuvent être examinées à l'aide de tests statistiques.

- Choix d'une loi statistique

L'ajustement d'une loi statistique à la série de hauteurs de pluie échantillonnée ($q_1; q_2; \dots, q_N$) permet de prévoir la probabilité d'apparition de la fréquence d'une précipitation à partir de la fonction de répartition de fortes précipitations FQ ou de la densité de probabilité f Q. Cet ajustement est fait sur la base d'un échantillon ordonné pour lequel une probabilité au dépassement p ou une probabilité au non dépassement q ($q = 1-p$) est calculée. Plusieurs formules empiriques existent pour calculer la probabilité au non dépassement des pluies ordonnées. Celle utilisée dans cette étude est la formule de Cunnane (1978) :

$$q = \frac{K - a}{n - 2a + 1}$$

Où k est le rang des observations (classées de la plus faible à la plus élevée),

n est la taille de l'échantillon et a =0,4 (constante de la formule de Cunnane).

• A l'aide du modèle théorique fourni par la loi statistique ajustée, on procède à l'extrapolation qui permet d'obtenir les valeurs des quantiles (valeur de X_r pour une période de retour T). La relation entre la probabilité au non dépassement et la période de retour est:

$$T = \frac{1}{1 - q}$$

- Choix du modèle fréquentiel

La validité des résultats d'une analyse fréquentielle dépend du choix du modèle fréquentiel et plus particulièrement de son type. Ce choix dépend de la vitesse à laquelle la probabilité des grandes valeurs évolue. Plusieurs lois statistiques sont utilisées en analyse fréquentielle. Parmi celles-ci, seulement deux ont été utilisées pour la caractérisation des risques pluviométriques.

• Loi de Gumbel

Un modèle fréquentiel très souvent utilisé pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes est la distribution statistique de Gumbel (loi double exponentielle ou loi de Gumbel) (Meylan et Musy, 1999). La fonction de répartition de la loi de Gumbel F(x) s'exprime de la manière suivante :

$$f(x) = \exp \left\{ -\left(1 - c \frac{x-a}{b}\right) \right\}^{1/e}$$

Où a est le paramètre de position, b le paramètre d'échelle et c le paramètre de forme et x la variable, ici les hauteurs de pluie. Le temps de retour T d'un événement est défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement, soit :

$$T = \frac{1}{1 - F(x)}$$

• Ajustement du modèle fréquentiel

La technique d'ajustement utilisée est la méthode graphique. Cette méthode repose sur le fait que l'expression d'un quantile correspond à l'équation d'une droite. En conséquence, les points de la série à ajuster sont reportés dans un système d'axes (x ; y). A partir de ce système d'axes, il a été alors possible de tracer la droite qui passe le mieux par ces points et d'en déduire les deux paramètres a et b définissant la loi.

• Loi de Pearson

La loi de Pearson ou du Gamma incomplet est une loi statistique qui fixe, a priori, la valeur du paramètre de

position x_0 à zéro. En retenant toujours Q comme variable hauteur de pluie, et $u=a$. Q comme variable réduite, avec $\alpha = \frac{1}{\delta}$ étant le paramètre d'échelle.

Dans ces conditions, la fonction de répartition s'écrit:

$$F(Q) = \frac{a\sigma}{T\delta} \int_a^{-\alpha Q} Q^{\delta-1} d$$

Avec la limite supérieure est de Q et celle inférieure 0.

Avec l' δ est calculé à partir d'une fonction complexe:

$$g(x) = \log_{Q_m} - \sum \log \frac{Q}{N}$$

• Contrôle de l'ajustement

Avant tout autre test statistique, il est préférable de faire un ajustement graphique, (Miquel ; 1984), car c'est un critère simple et efficace qui permet de juger si une loi statistique est bien ajustée à la série de hauteur de pluie observée. Un contrôle plus rigoureux doit être effectué avec des tests comme le test X, le test Kolmogorov-Smirnov ou le test d'Anderson-Darling, etc. (Miller et al., 1992). Ces tests servent à juger si un échantillon provient d'une population qui suit une loi de distribution donnée. Les diverses étapes de l'analyse fréquentielle sont présentées sur la figure 2.

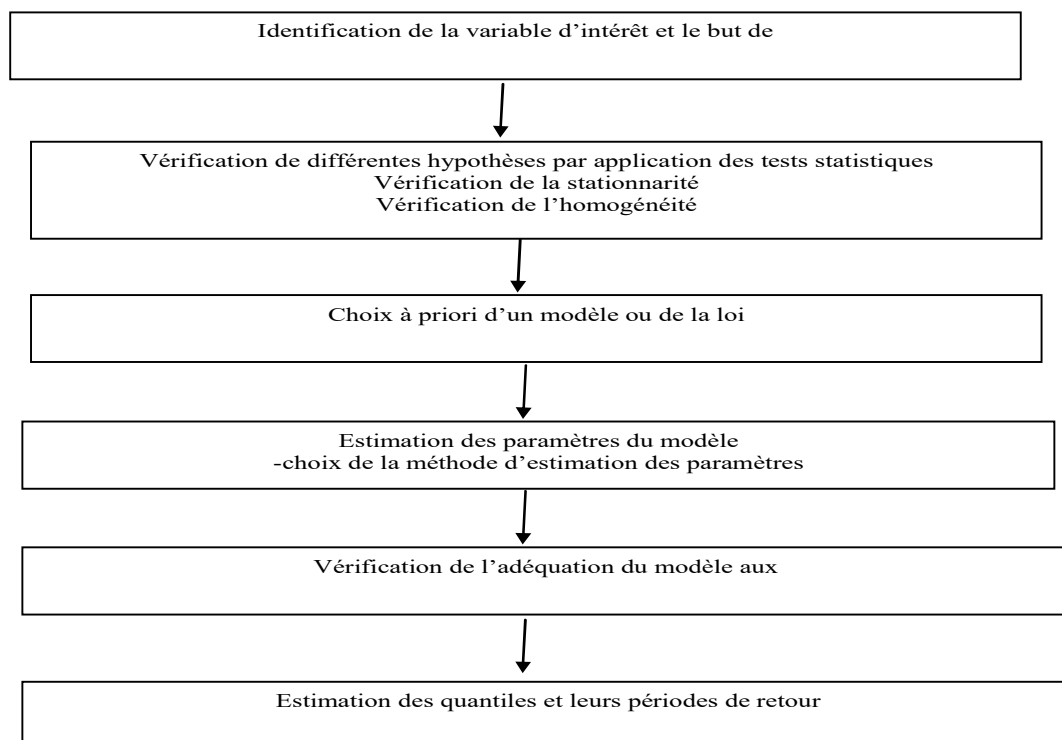


Figure 2 : Principales étapes de l'analyse fréquentielle

Source : Benyahy et al(2004) cité par Koumassi (2014)

• La moyenne arithmétique :

Elle est l'outil statistique le plus fréquemment utilisé dans les études climatologiques. Dans cette étude, elle a été utilisée d'abord sous forme de normale. Elle a été calculée sur la série de 30 ans et elle demeure représentative du climat sur une longue période. Elle s'obtient en faisant la somme des valeurs distinctes qui ont été observées, chacune

d'elles étant affectée d'un poids égal à sa fréquence. Elle s'exprime de la façon suivante :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

n est l'effectif total des variables x_i considérées ainsi $\bar{x}$ peut désigner la hauteur annuelle ou mensuelle ou journalière des pluies.

La moyenne $\bar{X}$ a également permis d'identifier les différents rythmes pluviométriques, de caractériser le climat moyen d'une part, et de mettre au point certains indices régionaux d'autre part.

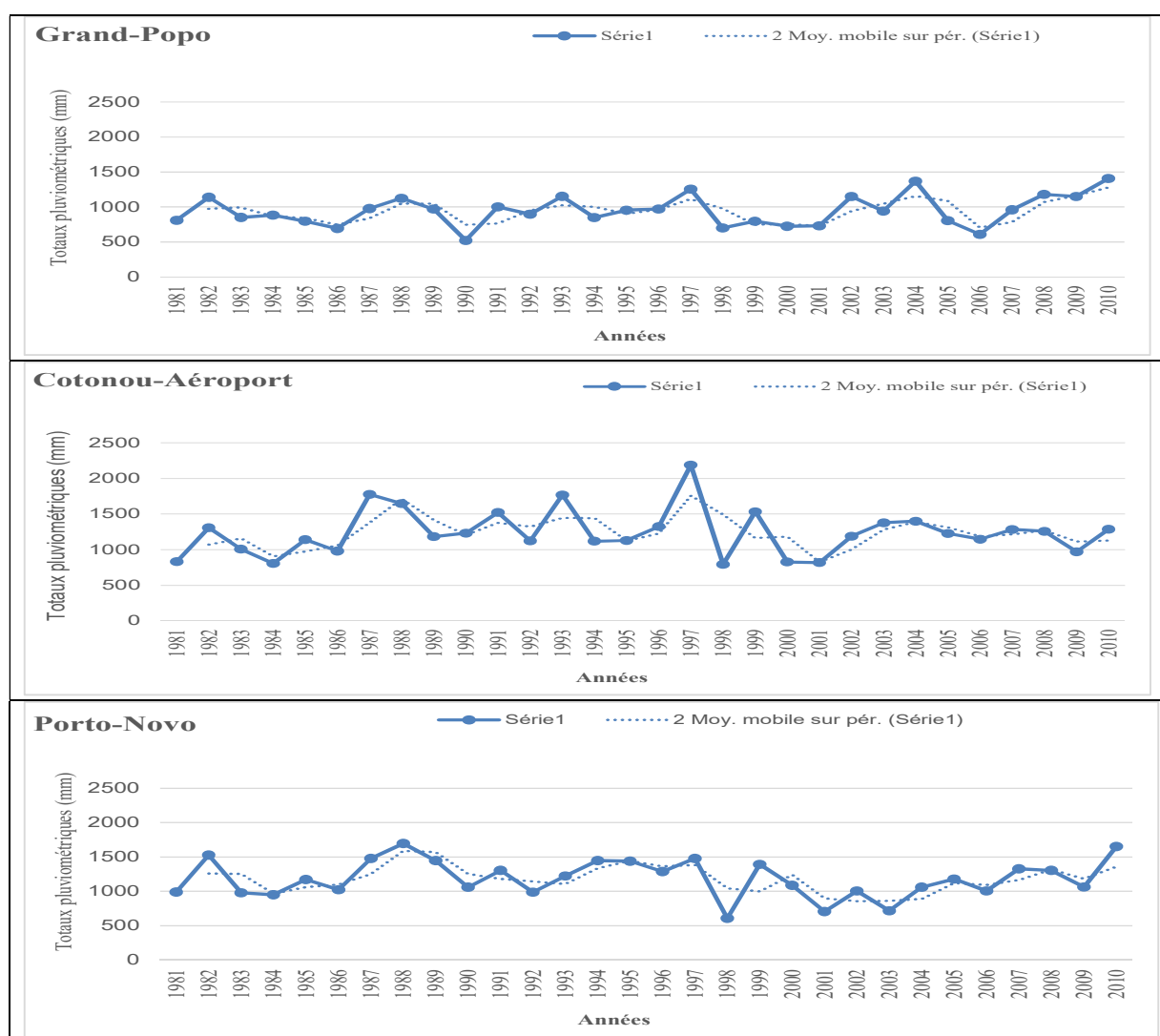
II. RESULTATS

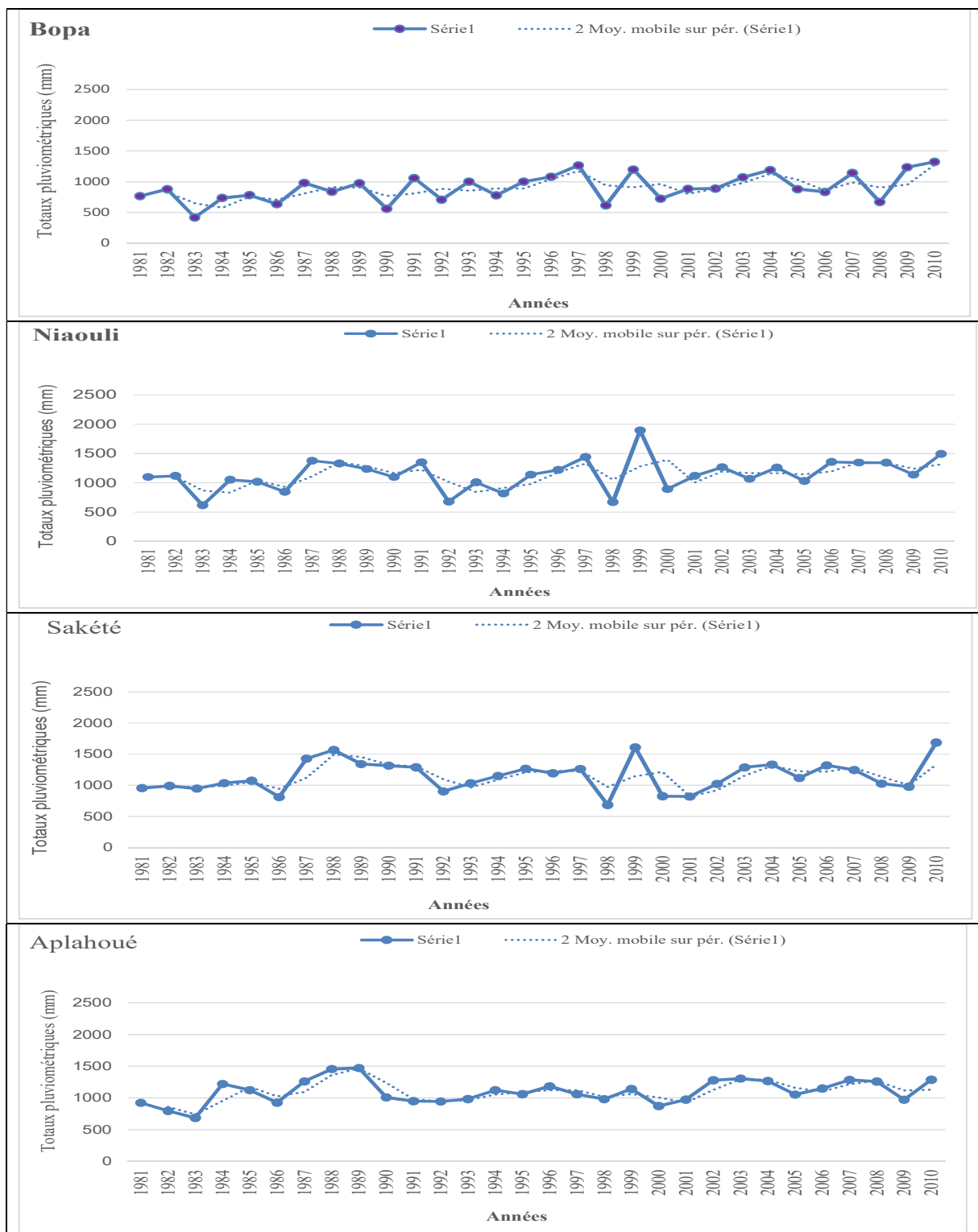
Les résultats de cette recherche se présentent en trois points. Le premier point présente la variabilité des totaux pluviométriques. Quant au second point, il illustre la variabilité temporelle des indices pluviométriques et le

troisième point expose la fréquence des pluies journalières au cours des années extrêmes et enfin le quatrième point analyse la fréquence des hauteurs de pluie maximales.

2.1. Variabilité des totaux pluviométriques

La figure 3 illustre les totaux pluviométriques du milieu de recherche.





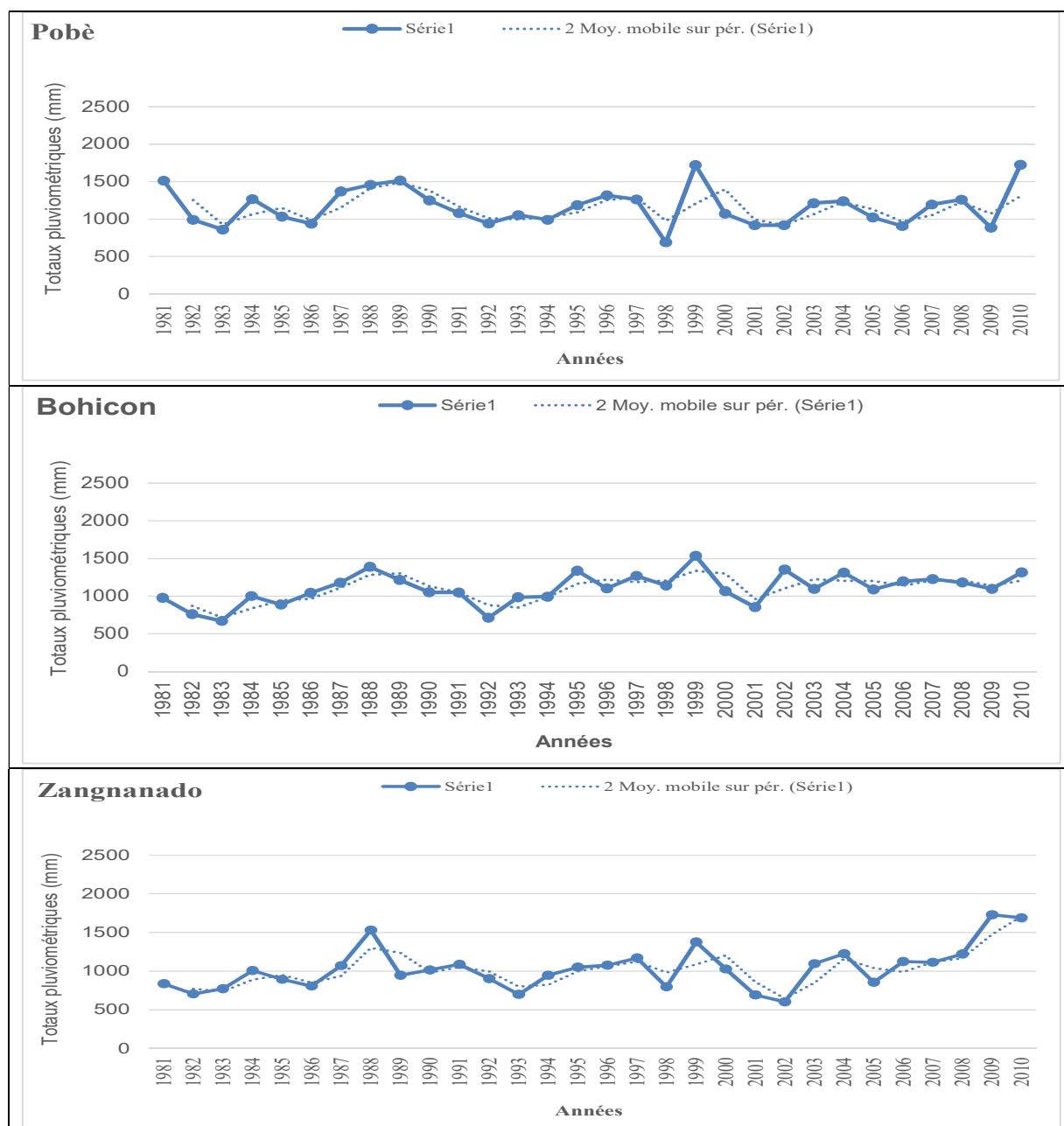


Figure 3 : Totaux pluviométriques annuels du milieu de recherche

Source : Traitement statistique des données de hauteurs de pluie, 2020

De l'observation de la figure 3, il ressort que les totaux pluviométriques varient d'une année à une autre. De plus, trois groupes de stations se dégagent. Le premier groupe est constitué des stations de Cotonou-Aéroport, Porto-Novo et Sakété qui enregistrent les plus fortes valeurs de totaux pluviométriques annuels. La présence des surfaces évaporantes (mer et lacs) sans oublier la relative perpendicularité du trait de côte par rapport aux flux de mousson pourraient justifier ces observations. Quant au second groupe, il est constitué des stations de Niaouli, Pobè,

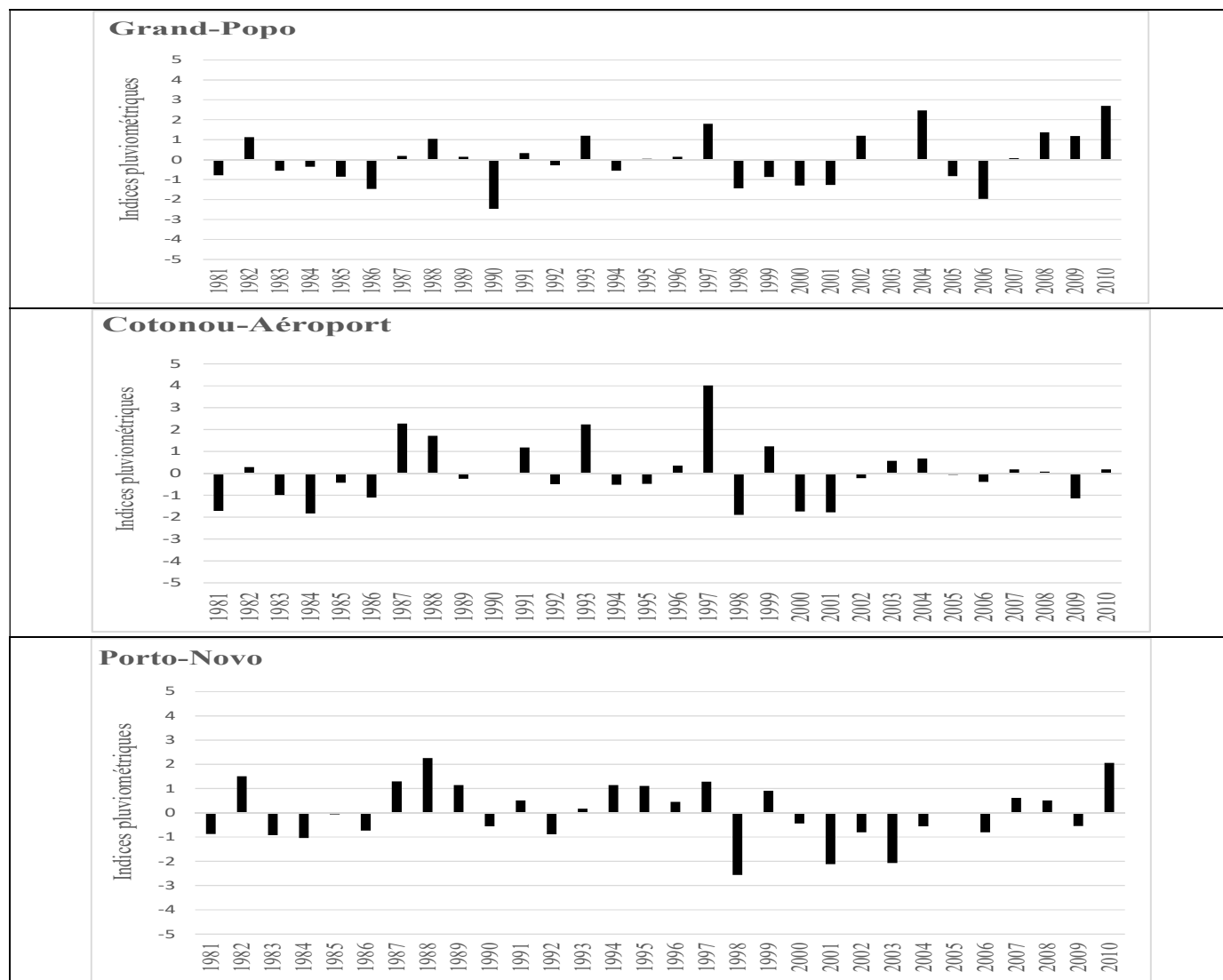
Bohicon, Aplahoué et Zangnanado qui sont des stations continentales et enfin le troisième groupe est constitué des stations de Grand-Popo et Bopa qui sont situées dans la diagonale de sécheresse et marquées par le relatif parallélisme du trait de côte par rapport au flux de mousson. Ce qui induit par conséquent les faibles totaux pluviométriques enregistrés dans ces stations.

Il a été constaté qu'il y a des totaux pluviométriques qui imposent leur rythme à d'autres totaux pluviométriques enregistrés dans ces différentes stations de la région de

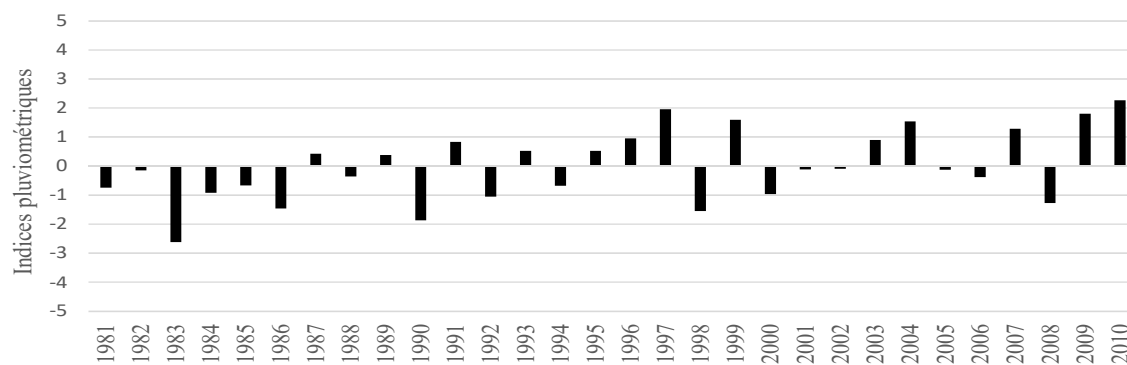
recherche. Pour mieux cerner la variation des totaux pluviométriques dans le milieu de recherche, les indices pluviométriques ont été calculé.

2.2. Variabilité temporelle des indices pluviométriques du milieu de recherche

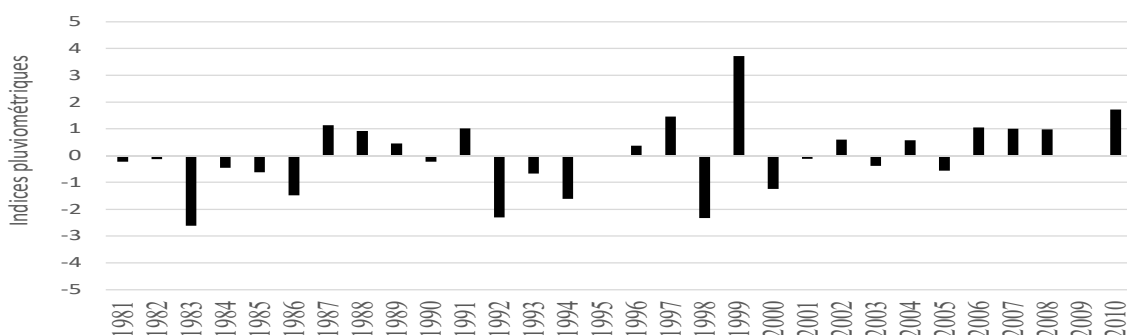
Les indices pluviométriques ont été mis à contribution afin de pouvoir déterminer les années excédentaires et les années déficitaires (figure 4).



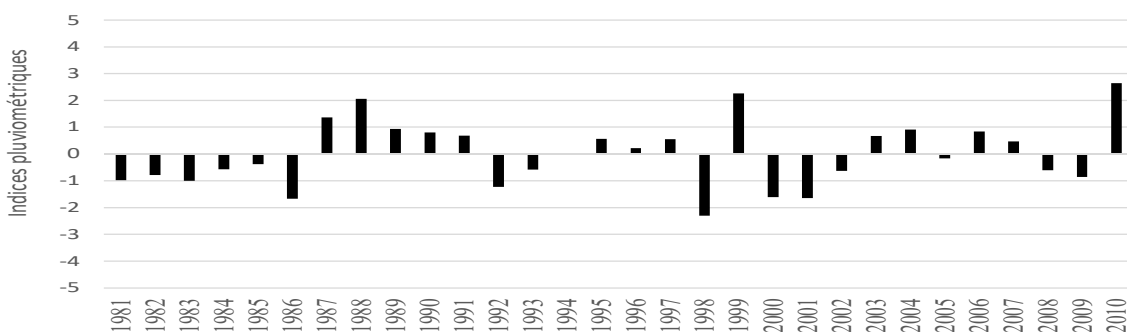
Bopa



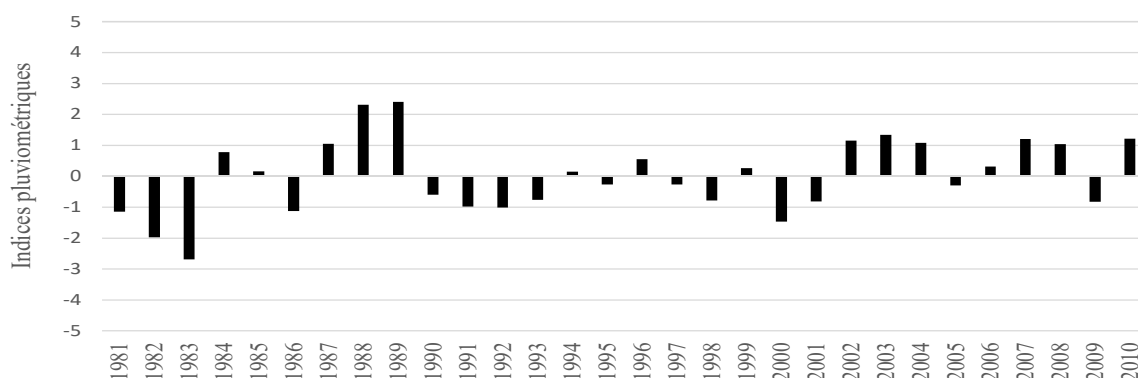
Niaouli



Sakété



Aplahoué



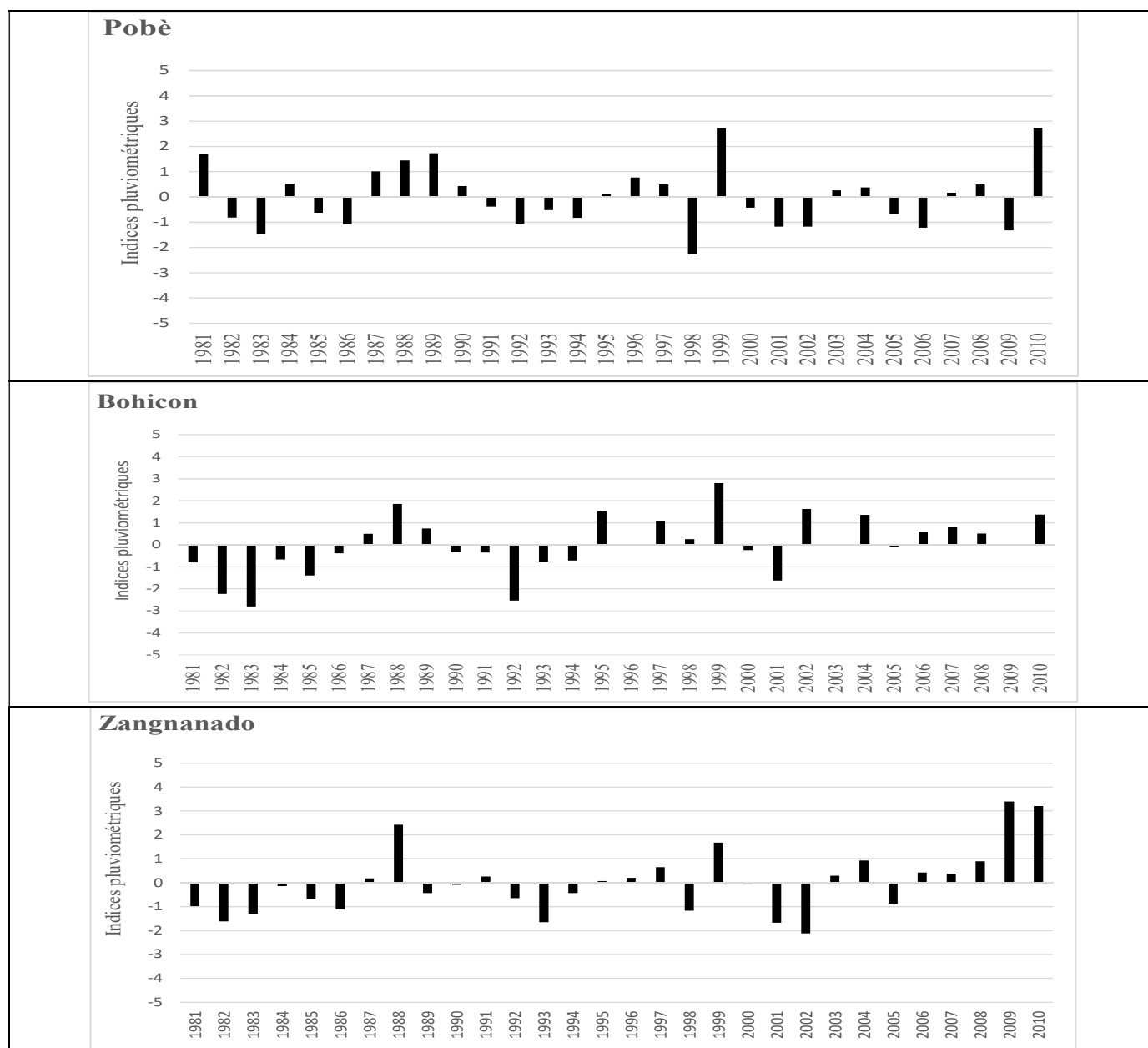


Figure 4 : Indices pluviométriques du milieu de recherche

Source : Traitement statistique des données de hauteurs de pluie, 2020

De l'observation de la figure 4, il ressort que les indices pluviométriques varient d'une année à une autre. Il a été constaté également une alternance des années excédentaires et des années déficitaires dans le milieu de recherche. Toutefois, la persistance des anomalies demeurent sans doute le phénomène climatique le plus remarquable dans le milieu de recherche. Des années excédentaires ont eu presque les conséquences au plan socio-économiques que les années déficitaires, à savoir de gros dégâts au niveau des établissements humains, agricoles, problème d'approvisionnement en eau, la famine, etc.

2.3. Fréquence des pluies journalières au cours des années extrêmes

La fréquence des pluies journalières a été représentée au cours des années excédentaires et déficitaires.

2.3.1. Cas des années excédentaires

La répartition des pluies journalières pendant les années très excédentaires est analysée à travers l'importance des classes de jours pluvieux (figure 5). L'observation de la figure 5 ne montre aucun ordre géographique mais elle permet de distinguer les différentes classes de pluie.

D'abord, il y a des stations où l'excédent pluviométrique se justifie par une augmentation combinée de la fréquence de C1 et C2 (Bopa, Aplahoué et Zangnando). Il y a ensuite des stations où l'excédent de pluie s'explique par une augmentation de C1 (Cotonou-aéroport, Porto-Novo,

Niaouli et Pobè). Il y a également des stations dont l'excédent de pluie est déterminé par une augmentation de l'occurrence de C1, C2, C3 et C4 (Cotonou-aéroport et Sakété).

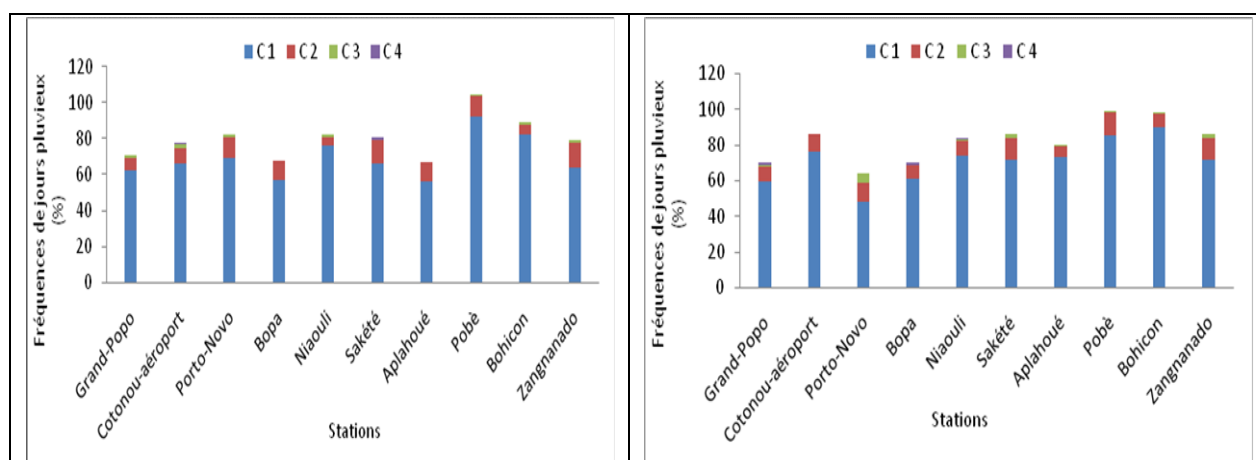


Figure 5 : Importance des classes de jours pluvieux pendant les années excédentaires

Source : Traitement statistique des données de hauteurs de pluie, 2020

Il convient de signaler le cas des stations de Cotonou-aéroport, Porto-Novo, Niaouli et Pobè où l'excédent de pluie est justifié par une augmentation de la fréquence de C1. Ces constats amènent à conclure que les excédents pluviométriques dans la région de recherche sont fondamentalement engendrés par une augmentation du nombre de jours pluvieux toutes les classes confondues. L'abondance des pluies par jours pluvieux ne joue qu'un effet secondaire.

2.3.2. Cas des années déficitaires

La figure 6 montre la répartition des classes des jours pluvieux au cours des années très déficitaires. La figure 6 permet de distinguer trois catégories de déficits

pluviométriques. Il y a des stations caractérisées par une réduction de C1 (Grand-Popo, Porto-Novo, Bopa). Les stations situées vers la côte ont été touchées par cette réduction. Dans toutes les stations de la région de recherche, les classes C2, C3 et C4 ont les pluies affectées par une réduction de leur fréquence. Néanmoins, il faut préciser que les fréquences des jours pluvieux C2, C3 et C4 a toujours baissé dans les stations, il n'y a que les jours pluvieux C1 qui n'ont pas totalement baissé de fréquence.

Ces constats permettent de conclure dans la région de recherche, les déficits pluviométriques dans la région de recherche sont engendrés principalement par la rareté de jours pluvieux de C2, C3 et C4 c'est-à-dire des pluies importantes.

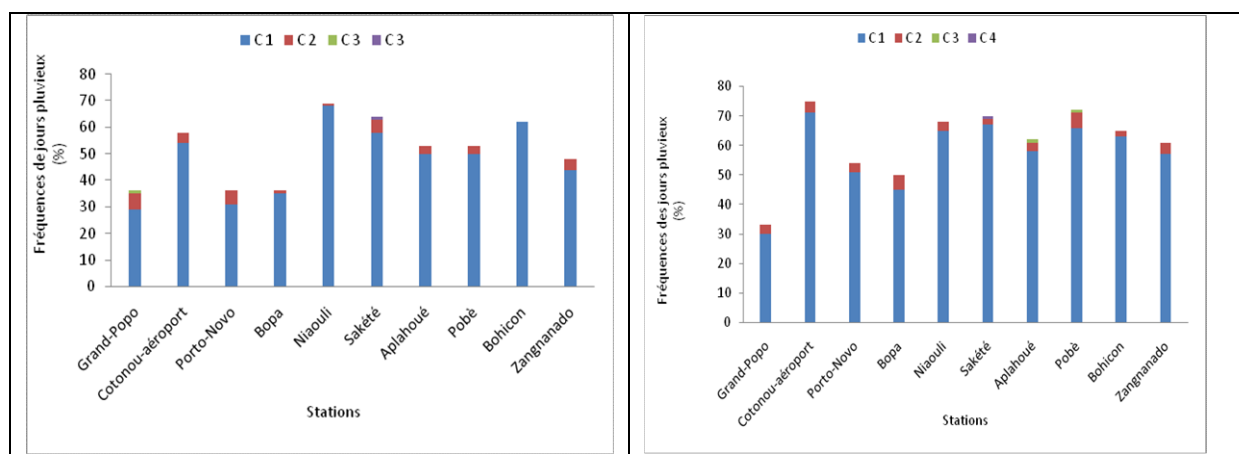


Figure 6 : Importance des classes de jours pluvieux pendant les années déficitaires

Source : Traitement statistique des données de hauteurs de pluie, 2020

La fréquence des pluies de C 1 est moins affectée au cours des années déficitaires surtout à Niaouli, Sakété et Bohicon.

Une interrogation mérite de réflexion à savoir, quelle est la fréquence des hauteurs de pluie maximales ?

2.4. Analyse fréquentielle des hauteurs de pluie maximales

L'analyse fréquentielle des hauteurs de pluie maximales journalières a consisté à vérifier des hypothèses de base des

hauteurs de pluie maximales et à appliquer des lois sur les séries pluviométriques maximales de la région de recherche.

2.4.1. Vérification des hypothèses de base des hauteurs de pluie maximales

Le Tableau I montre les résultats des tests statistiques appliqués aux hauteurs de pluie maximales journalières dans la région de recherche.

Tableau I : Résultats des tests statistiques appliqués aux pluies journalières maximales dans la région de recherche

Stations	Test d'indépendance		Test de stationnarité		Test d'homogénéité	
	U	P	K	P	W	P
Grand-Popo	1,42	0,15	0,51	0,60	0,30	0,75
Cotonou-aéroport	1,72	0,08	1,61	0,10	2,25	0,02
Porto-Novo	1,34	0,18	0,66	0,50	0,39	0,69
Bopa	0,36	0,71	2,28	0,02	1,42	0,15
Niaouli	0,65	0,51	0,26	0,78	1,50	0,13
Sakété	0,50	0,61	0,00	1,00	0,69	0,48
Aplahoué	0,94	0,34	0,76	0,44	1,70	0,08
Pobè	2,67	0,00	0,55	0,58	0,97	0,33
Bohicon	0,78	0,43	2,21	0,02	1,31	0,19
Zangnanado	0,78	0,43	1,77	0,07	0,97	0,32

Légende : U= Valeur de la statistique, P= P-Value, K= Valeur de la statistique, P= P-Value, W= Valeur de la statistique, P= P-Value

Source : Traitement statistique des données, 2020

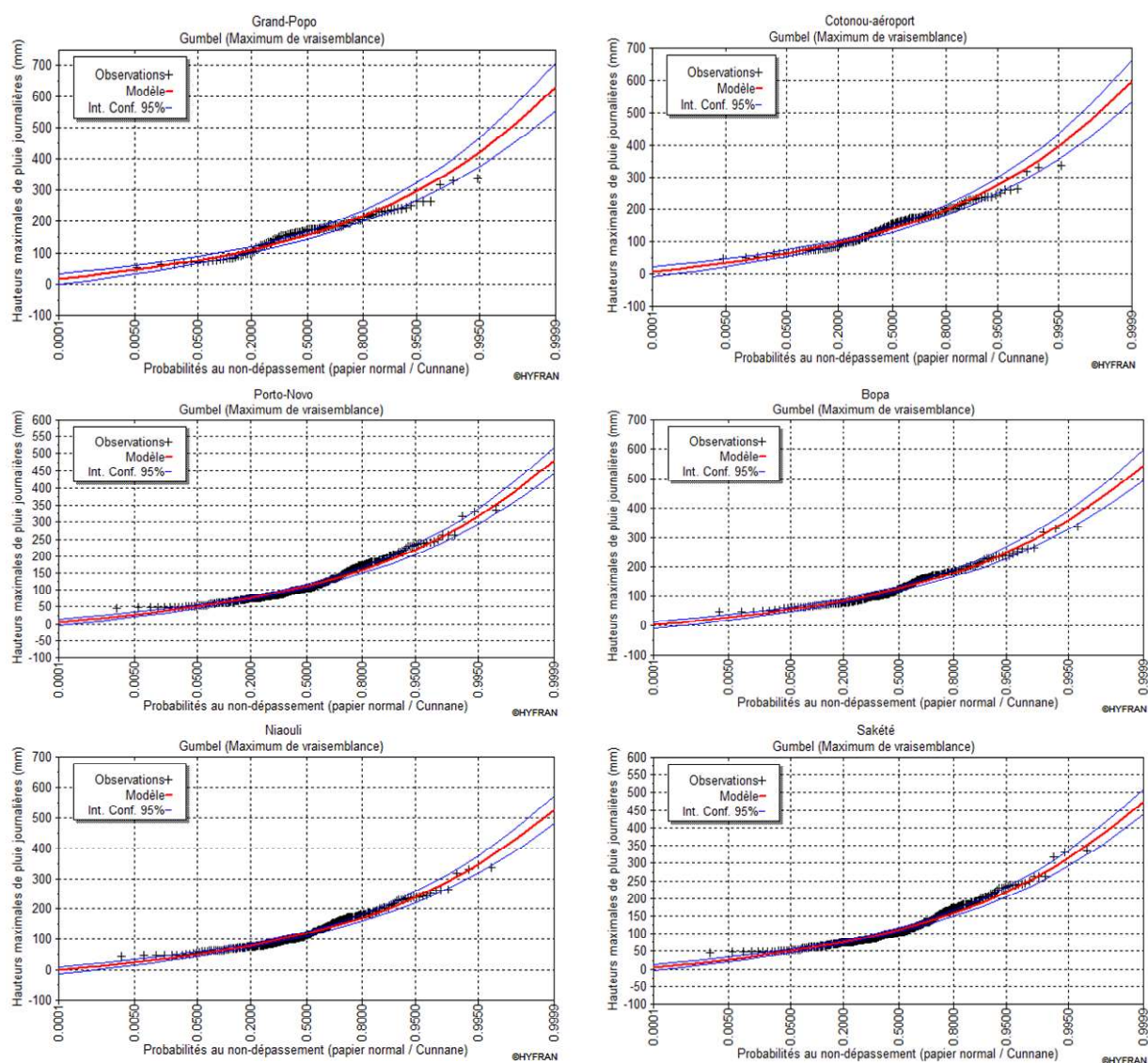
L'analyse des données du Tableau I, permet de constater qu'à un niveau de signification de 5 %, l'ensemble des hauteurs de pluie journalières maximales dans la région de

recherche obéit aux exigences de la loi de Gumbel, ceci a permis de poursuivre la démarche de construction du modèle par l'analyse fréquentielle.

Conformément à la méthodologie de l'analyse fréquentielle, il faut assurer l'indépendance, l'homogénéité et la stationnarité de la série [13]. Ainsi, les hypothèses d'indépendance, homogénéité et stationnarité ont été vérifiées. L'hypothèse d'indépendance a été validée à l'aide du test de Wald-Wolfowitz ([1]. Les tests d'homogénéité et de stationnarité utilisés sont respectivement ceux de F. Wilcoxon [3] et de Kendal [15].

2.4.2. Ajustement aux lois de pluie journalières maximales

Après l'application de plusieurs lois sur les séries pluviométriques maximales, celle qui s'adapte le mieux est la loi de Gumbel. Plusieurs méthodes existent pour ajuster les distributions statistiques aux échantillons. La méthode maximum de vraisemblance a été utilisée dans la présente étude pour ajuster les séries aux lois retenues. La figure 7 illustre un ajustement des séries pluviométriques par la loi de Gumbel et sur la période 1981-2010.



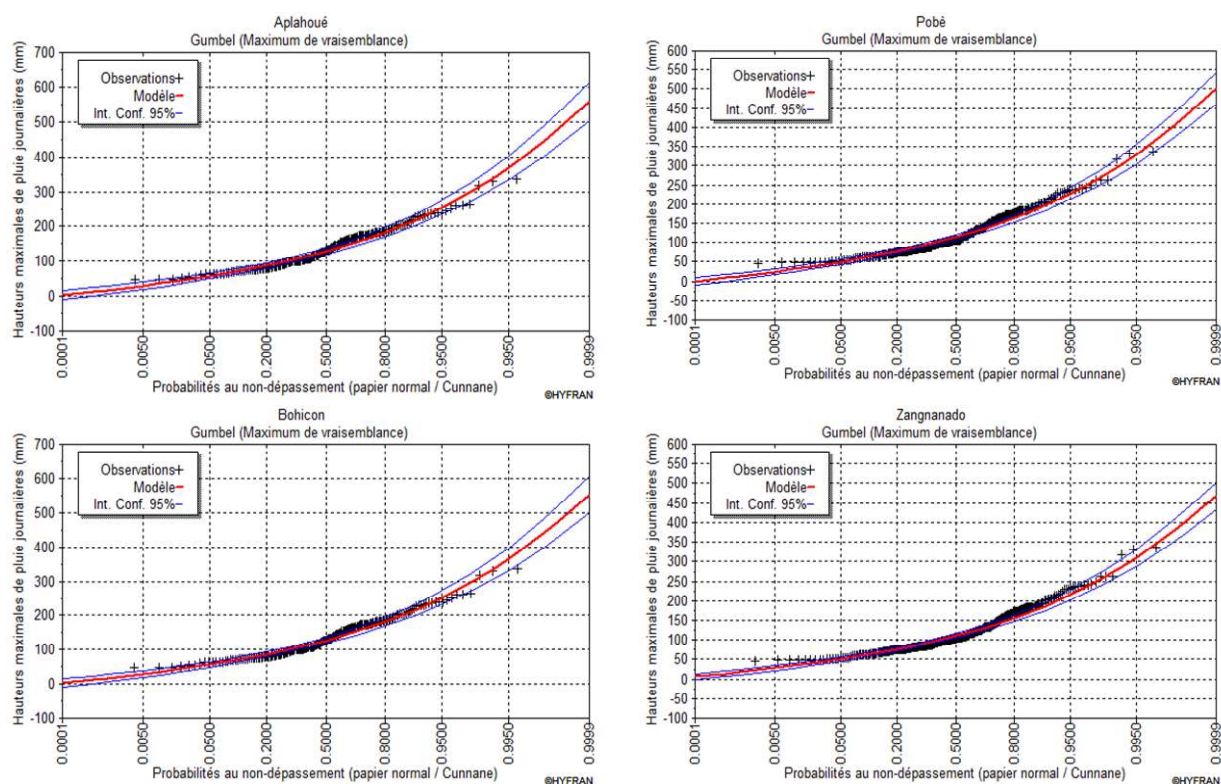


Figure 7 : Ajustement de la loi de Gumbel aux pluies journalières maximales dans la région de recherche

Source : Traitement statistique des données de hauteurs de pluie, 2020

La figure xx montre que toutes les séries pluviométriques s'ajustent bien aux lois de Gumbel avec une marge d'erreur de 1 à 5 %. Néanmoins, il faut noter qu'au niveau des stations de la région de recherche, l'incertitude devient élevée à partir des probabilités de non dépassement de 0,06 ou 0,2 selon les hauteurs maximales de pluie journalière. Ces incertitudes liées à l'estimation de la probabilité d'apparition des pluies maximales sont dues à plusieurs facteurs qu'on peut regrouper en trois parties ([6] :

- Incertitudes liées à l'écart sur les mesures de la série pluviométriques ;
- Incertitudes liées aux hypothèses c'est-à-dire les effets saisonniers trop marqués, non homogénéité des échantillons dans les différentes stations de la région de recherche ;

- Incertitudes liées aux modèles statistiques d'échantillonnage ou la forme inadéquate des lois statistiques.

L'ajustement des pluies journalières aux tests statistiques a permis d'obtenir les quantiles estimés pour différentes périodes de retour (2, 5, 10, 20 et 50 ans). Les intervalles de confiance qui permettent d'évaluer l'incertitude associée aux estimations sont illustrés par le tableau II).

Tableau II : Quintiles estimés sur les stations de la région de recherche

Stations	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
Grand-Popo	94,8 [83,9 -106]	124 [107 -141]	144 [122 -165]	162 [136 -189]	186 [153 -220]
Cotonou-aéroport	92,2 [81,2 -103]	122 [105 -139]	142 [120 -164]	161 [134 -188]	185 [151 -215]
Porto-Novo	95,5	124	142	160	183

	[85,2 -106]	[85,2 -106]	[85,2 -106]	[85,2 -106]	[152 -219]
Bopa	79,7 [70,3 -89,2]	105 [90,6 -120]	122 [103 -141]	138 [115 -162]	159 [131 -188]
Niaouli	86,1 [73,8 -98,5]	120 [100 -139]	142 [117 -167]	163 [133 -193]	191 [153 -228]
Sakété	76,6 [70 -83,2]	94,5 [84,2 -105]	106 [93,1 -120]	118 [101 -134]	132 [112 -153]
Aplahoué	83,2 [74,8 -91,6]	106 [93,0 -119]	121 [104 -138]	136 [119 -156]	154 [129 -180]
Pobè	79,9 [70,5 -89,3]	105 [90,8 -120]	122 [103 -141]	138 [115 -161]	188 [130 -188]
Bohicon	79,5 [70,5 -88,6]	104 [90,0 -118]	120 [102 -138]	136 [114 -158]	156 [128 -184]
Zangnanado	73,6 [67,8 -80]	90,4 [80,9 -99,8]	101 [89,1 -113]	112 [96,8 -127]	125 [107 -144]

Source : Traitement statistique des données, 2020

L'examen du tableau xxx, indiquent que les hauteurs de pluie journalières de 73,6 à 95,5 mm ont une chance sur deux de se produire tous les deux ans dans la région de recherche. De même, celles qui ont une chance sur dix de se produire varie entre 101 mm à Zangnanado contre 144 mm à Grand-Popo. Les précipitations exceptionnelles dans la région de recherche sont celles dont les valeurs sont supérieures à 101 mm c'est -à-dire celles dont les périodes de retour sont supérieures à 10 ans.

Ces hauteurs de pluie maximales auront des conséquences dans les milieux ruraux et dans les agglomérations urbaines. Par exemple, les inondations dévastatrices des cultures et récoltes et d'autres dégâts matériels et humains. Les conséquences seront plus importantes si ces pluies tombent pendant la saison pluvieuse où les sols sont déjà saturés. Les politiques d'occupations du sol et les travaux de génie civil (ponts, routes, etc.) doivent en tenir compte. [5] ont montré que de façon spécifique, les ingénieurs (génie civil et du génie rural en particulier) ont besoin de connaître les intensités de pluie extrême qui est un des éléments constitutifs de l'étude du risque d'inondation.

III. DISCUSSION

L'analyse des fluctuations pluviométriques et fréquentielles des hauteurs de pluie a permis de déterminer la variabilité des totaux pluviométriques, les indices pluviométriques, la fréquence des classes de pluies d'une part et des hauteurs maximales de pluie d'autre part.

Dans toutes les stations de la région de recherche, il a été conclu que les déficits pluviométriques sont engendrés principalement par la rareté de jours pluvieux de C 2, C 3 et

C 4 c'est-à-dire des pluies importantes. Ces résultats sont corroborés avec celui de [2] et [16] qui ont abouti à une conclusion identique. Cette conclusion suggère que les déficits sont moins déterminés par la brièveté de la durée de la masse d'air pluvigéniques que leur teneur en humidité. Les hauteurs de pluie journalières de 73,6 à 95,5 mm ont une chance sur deux de se produire tous les deux ans dans la région de recherche. De même, celles qui ont une chance sur dix de se produire varie entre 101 mm à Zangnanado contre 144 mm à Grand-Popo. Les précipitations exceptionnelles dans la région de recherche sont celles dont les valeurs sont supérieures à 101 mm c'est -à-dire celles dont les périodes de retour sont supérieures à 10 ans.

Ces hauteurs de pluie maximales auront des conséquences dans les milieux ruraux et dans les agglomérations urbaines. Les politiques d'occupations du sol et les travaux de génie civil (ponts, routes, etc.) doivent en tenir compte. [5] ont montré que de façon spécifique, les ingénieurs (génie civil et du génie rural en particulier) ont besoin de connaître les intensités de pluie extrême qui est un des éléments constitutifs de l'étude du risque d'inondation. Il faut également signaler que les hauteurs de pluie maximales sont aléatoires et très variables dans l'espace. Ce résultat est en accord avec ceux obtenus par [12] qui ont prouvé que malgré le caractère aléatoire de ces phénomènes exceptionnels variables dans l'espace, ils possèdent une certaine structure. Il est donc fondamental pour se protéger des catastrophes naturelles de bien connaître ces structures. De plus, [4] a démontré que la probabilité au non dépassement, ce qui fournit un outil d'aide à la décision, notamment en terme de projection ou d'aménagement.

IV. CONCLUSION

A la lumière de tout ce qui précède, il est à retenir qu'il y a des totaux pluviométriques qui imposent leur rythme à d'autres totaux pluviométriques enregistrés dans les différentes stations de la région de recherche. Les indices pluviométriques varient d'une année à une autre. Il a été constaté également une alternance des années excédentaires et des années déficitaires dans le milieu de recherche. De plus, il a été constaté également une alternance des années excédentaires et des années déficitaires dans le milieu de recherche. Les excédents pluviométriques dans la région de recherche sont fondamentalement engendrés par une augmentation du nombre de jours pluvieux toutes les classes confondues. Les déficits pluviométriques dans la région de recherche sont engendrés principalement par la rareté de jours pluvieux de C 2, C 3 et C 4 c'est-à-dire des pluies importantes. Quant aux hauteurs de pluie journalières de 73,6 à 95,5 mm, elles ont une chance sur deux de se produire tous les deux ans dans la région de recherche. De même, celles qui ont une chance sur dix de se produire varie entre 101 mm à Zangnanado contre 144 mm à Grand-Popo. Les précipitations exceptionnelles dans la région de recherche sont celles dont les valeurs sont supérieures à 101 mm c'est -à-dire celles dont les périodes de retour sont supérieures à 10 ans.

REFERENCES

- [1] ADAM Kolawolé Sikirou and BOKO Michel (1993), "Le Bénin" EDICEF, Paris, 96 p
- [2] BODIAN Ansoumana, DACOSTA Honoré et DEZETTER Alain (2011) - Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité climatique. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, vol. V, p. 116-133. DOI : 10.4000/physio-geo.1958
- [3] BOKO Michel (1988) " Climats et communautés rurales du Bénin. Rythmes climatiques et rythmes de développement ", Thèse d'Etat, CRC/UB-Dijon, 2 volumes, 608 p
- [4] DJERBOUA Abdelatif., DUBAND Daniel., BOIS Philippe. (2004) : Estimation des lois des précipitations extrêmes à partir de données journalières complètes, In La Houille Blanche, pp-65-74.
- [5] HABIBI Brahim, MEDDI Mohamed, BOUCEFIANE Abdelkader, 2012, Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales (Cas du Bassin Chott-Chergui), In Nature et technonologie, pp-41-48.
- [6] KENDALL Maurice (1975) «Rank Correlation Methods" Charles Griffin, London, 200 p
- [7] MASSOUANGUI KIFOUALA Martin (2004) : Etude de la pluviométrie journalière dans le sud du Congo de 1950 à 2002. Mémoire de DEA. UMN/FLSH. 70 p.
- [8] MEYLAN P. and MUSY A. (1999) : "Hydrologie générale : Analyse fréquentielle", annale revue hydrologie, 19 p.
- [9] SAGNA Pascal (2005) - *Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l'Afrique de l'occidentale*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Cheikh Anta Diop, Dakar (Sénégal), 2 tomes, 786 p.
- [10] SAMBA-KIMBATA Marie Joseph (1993) : Précipitations et bilan de l'eau dans le bassin forestier du Congo et ses marges. Thèse d'état, Univ. De Bourgogne, 2 Vol. 242 p + 163 figures.
- [11] SARR Mamadou Adama, ZOROME Malicki, SEIDOU Ousmane, BRYANT Christopher Robin et GACHON Philippe (2013) - Recent trends in selected extreme precipitation indices in Senegal – A changepoint approach. *Journal of Hydrology*, vol. 505, p. 326-334. DOI : 10.1016/j.jhydrol.2013.09.032
- [12] SAUQUET Eric, BOIS Philippe et RENARD Benjamin (2006) : Observations d'événements extrêmes historiques dans le monde, selon les climats et les réseaux, In La Houille Blanche, pp-60-65.
- [13] SERVAT Éric., PATUREL Jean-Emmanuel., LUBES-NIEL Hélène., KOUAME Brou. ET MASSON Jean-Marie. TRAVAGLIO Michel. et MARIEU Bertrand (1999) - De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale. *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 12, n° 2, p. 363-387. URL : http://www.rse.inrs.ca/art/volume12/v12n2_363.pdf. DOI : 10.7202/705356ar
- [14] SIRCOULON Jacques., (1976), « Les données hydro-pluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale : comparaison avec les sécheresses "1913" et "1940" ». *Cahiers ORSTOM*, série Hydrologie, vol. 13, n° 2, 75-174.
- [15] WILCOXON, Frank (1945) "Individual comparisons by ranking methods", *Biometrics*, 1, pp-80-83.
- [16] YABI I., CHABI A. B. P, AFOUDA F. (2013) : Analyse de quelques caractéristiques des pluies journalières dans le Bénin central. In Climat et développement, Université d'Abomey-Calavi, n°15, pp 15-27.