Revue Internationale du Chercheur
ISSN: 2726-5889
Volume 4 : Numéro 4

Modélisation des précipitations journalières extrêmes et leurs périodes de retour en République du Congo de 1950 à 2017 : application de la loi de Pareto

Modeling of extreme daily precipitation and their return periods in the republic of congo from 1950 to 2017: application of the Pareto law

BATCHI MAV Achille Patrick
Docteur
Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines
Université Marien Ngouabi,
Laboratoire Géographie, Environnement, Aménagement (LAGEA),
République du Congo
batchiachillepatrick@gmail.com

NGOUALA MABONZO Médard
Enseignant chercheur
Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines
Université Marien Ngouabi,
Laboratoire Géographie, Environnement, Aménagement (LAGEA),
République du Congo
medngouala@yahoo.fr

MASSOUANGUI KIFOUALA Martin
Enseignant chercheur
Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines
Université Marien Ngouabi
Laboratoire Géographie, Environnement, Aménagement (LAGEA),
République du Congo
mmartinkif@gmail.com

Date de soumission : 29/09/2023

Date d'acceptation : 07/11/2023

Pour citer cet article :

BATCHI MAV A.P. & al. (2023) «Modélisation des précipitations journalières extrêmes et leurs périodes de retour en République du Congo de 1950 à 2017 : application de la loi de Pareto », Revue Internationale du chercheur «Volume 4: Numéro 4» pp : 71 - 92

Digital Object Identifier : https://doi.org/10.5281/zenodo.10207412

Résumé

Le changement climatique ou variabilité du climat sur des pluies extrêmes peut s'avérer, plus dommageable qu'une simple variation pluviométrique. L'objectif poursuivi par cette étude est de faire une analyse statistique des précipitations journalières extrêmes et leurs périodes de retour par l'application de la loi de Pareto. L'approche méthodologique appliquée dans cette étude a été faite à partir de l'analyse des séries de valeurs supérieures à un seuil, la distribution de probabilité des pluies journalières extrêmes, l'évolution des quantiles de pluie et celle des périodes de retour des précipitations journalières extrêmes. Les données de précipitations ont été analysées et calculés à base de la loi de Pareto pour les treize (13) stations synoptiques du pays sur la période allant de 1950 à 2017. Les résultats obtenus montrent que la loi de Pareto ajuste parfaitement les précipitations journalières extrêmes. Elle ne permet pas de prédire les périodes de retour des valeurs au-delà de 80 ans. Le paramètre de forme (ξ), dans les stations de Djambala, Makoua, Mouyondzi, Mpouya, Pointe-Noire, Sibiti et Souanké obéit à la loi de Fréchet, $\xi > 0$. Par contre, dans les stations de Dolisie, de Gamboma, d'Impfondo, de Makabana et de Ouesso, ce paramètre obéit à la loi de Weibull, $0 < \xi$. La répartition spatiale des quantiles révèle que les plus fortes valeurs de pluies sont localisées dans la partie septentrionale du pays, à Impfondo et à Ouesso. L'évolution des quantiles de pluie est proportionnelle à celles des périodes de retour car en effet, les périodes de retour augmentent avec les quantiles de pluie. La présente étude permet de disposer d'une nouvelle base de données des pluies journalières extrêmes et de périodes de retour.

Mots clés : Congo Brazzaville ; modélisation ; précipitations journalières extrêmes ; loi de Pareto

Abstract

Climate change or climate variability on extreme rainfall can be more damaging than a simple rainfall variation. The objective pursued by this study is to make a statistical analysis of the extreme daily precipitations and their periods of return by the application of the law of Pareto. The methodological approach applied in this study was made from the analysis of series of values above a threshold, the probability distribution of extreme daily rainfall, the evolution of rainfall quantiles and that of the return periods of precipitation extreme dailies. Rainfall data were analyzed and calculated based on Pareto's law for the country's thirteen (13) synoptic stations over the period from 1950 to 2017. The results obtained show that the Pareto law perfectly adjusts the extreme daily precipitation. It does not make it possible to predict the periods of return of values beyond 80 years. The shape parameter (ξ), in the stations of Djambala, Makoua, Mouyondzi, Mpouya, Pointe-Noire, Sibiti and Souanké obeys Fréchet's law, $\xi > 0$. On the other hand, in the stations of Dolisie, Gamboma, of Impfondo, Makabana and Ouesso, this parameter obeys the Weibull law, $0 < \xi$. The spatial distribution of the quantiles reveals that the highest rainfall values are located in the northern part of the country, in Impfondo and Ouesso. The evolution of the rain quantiles is proportional to those of the return periods because indeed, the return periods increase with the rain quantiles. This study provides a new database of extreme daily rainfall and return periods.

Keywords : Congo-Brazzaville; modelling; extreme daily rainfall; Pareto's law

Introduction

Les changements climatiques constituent l'un des plus grands défis auxquels l'humanité doit faire face au cours du XXIè siècle. Ils constituent aujourd'hui une menace potentiellement majeure pour l'environnement et le développement durable. Les changements climatiques entrainent l'augmentation de la fréquence des évènements hydro-climatiques. Le GIEC estime très vraisemblable (de 90 à 95 % de probabilité) que les chaleurs extrêmes et les événements de fortes précipitations continueront à devenir plus fréquents, plus intenses et surtout de plus en plus variables d'une année sur l'autre (Pomerleau, 2009).

La réalité d'une variabilité climatique fait désormais l'objet d'un consensus bien affirmé (Ouédraogo et al., 1998 ; Kouassi et al., 2010). Aussi, sa répercussion sur la pluviométrie moyenne constitue une réalité en Afrique (Servat et al., 1998; Conway et al., 2009). Cependant, l'impact de la variabilité du climat sur la pluie extrême a été très peu étudié (Assani, 1999 ; Goula et al., 2012). L'une des principales raisons évoquée est la difficulté d'accès aux données qualitatives (pluie journalière, débit minimal ou maximal…). Pourtant une variation de la pluie extrême peut s'avérer plus dommageable que celle de la moyenne (Lemaître, 2002). Les études sur la variabilité pluviométrique réalisées ces trois dernières décennies au niveau sous régional de l'Afrique centrale et local du Cono (Ibiassi Mahoungou, et al., 2013; Samba et al., 2008 ; Zhang et Yang, 2005; Maloba Makanga et al., 1997) ont montré une évolution à la baisse de la pluviométrie à partir des années 1970 et 1980.

L'estimation des pluies extrêmes est donc d'un grand intérêt pour anticiper des catastrophes, telles que des inondations (Kouassi et al., 2019). L'application de l'analyse statistique aux pluies extrêmes permet de déterminer des quantiles selon les durées de retour. Ces quantiles servent entre autres au dimensionnement des ouvrages hydrauliques (Éténé, et Boko, 2014). L'analyse fréquentielle des événements rares présente un intérêt particulier dans la gestion et la prévention des événements extrêmes en hydroclimatologie (Kouassi et al., 2018). L'objectif de ce travail est d'analyser et modéliser la variabilité des extrêmes pluviométriques au Congo Brazzaville en utilisant les hauteurs de pluies journalières à partir d'un seuil par la distribution de Pareto généralisée (GDP) et la loi exponentielle qui est son cas particulier.

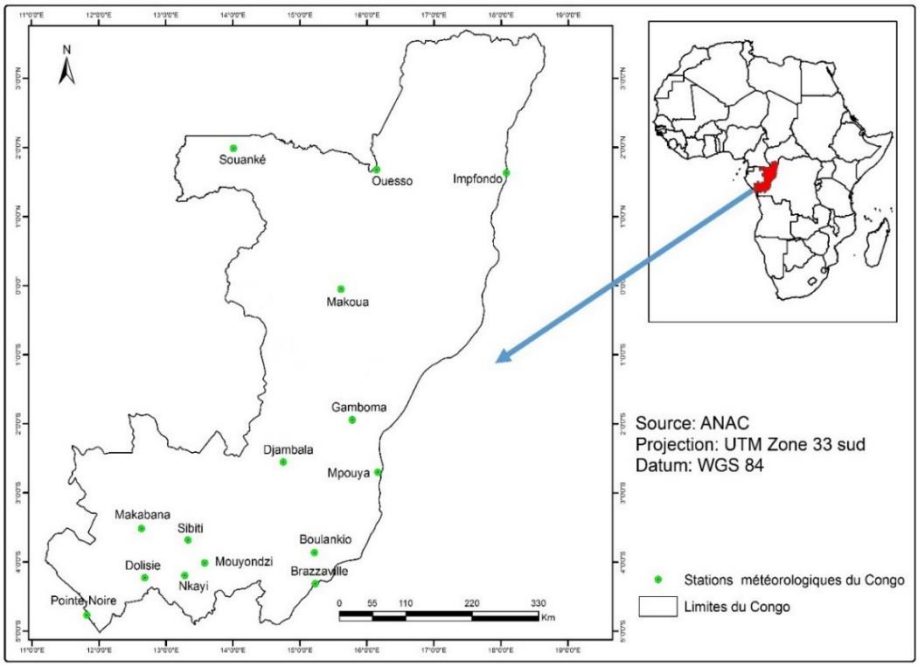
1. Méthodologie

1.1. Cadre général de l'étude

Située au cœur de l'Afrique centrale et à cheval sur l'équateur entre les latitudes 3°30' Nord et 5° Sud, et les longitudes 11° et 18° Est, la République du Congo s'étend sur une superficie de

342.000 km² (figure 1). Elle renferme trois domaines climatiques : le domaine équatorial dans le nord, le domaine subéquatorial au centre et le domaine tropical humide dans le sud-ouest. La température moyenne annuelle est de 25°C. Les précipitations sont abondantes dans les régions d'altitude élevée avec plus de 2000 mm d'eau par an (Plateaux Batéké). La vallée du Niari, au sud-ouest, ne reçoit que 1000 à 1200 mm d'eau par an.

Figure N°1 : Localisation de la zone d'étude et des stations étudiées



Source des données : ANAC

Les principales stations synoptiques retenues sont : Djambala, Gamboma, Impfondo, Makabana, Makoua, Mpouya, Ouesso, Souanké, Brazzaville, Sibiti, Dolisie, Mouyondzi et Pointe-Noire. Les principales stations synoptiques retenues sont présentées dans le tableau 1.

Tableau N°1 : Principaux observatoires retenus (période 1950-2022)

Stations	Longitudes E	Latitudes	Altitudes (m)
Djambala	14°46’	02°32’S	790
Gamboma	15°51’	01°54’S	377
Impfondo	18°04’	01°37’N	327
Makoua	15°39’	00°1’S	380
Mpouya	16°13’	02°37’S	313
Ouesso	16°04’	03°17’N	352
Souanké	14°02’	02°04’N	550
Brazzaville	15°15’	4°15’S	314
Sibiti	13°24’	3°44’S	535
Makabana	12°37’	03°29’ S	160
Dolisie	12°40’	4°11’S	357
Mouyondzi	13°55’	3°59’S	511
Pointe-Noire	11°54’	4°49’S	17

Source des données : ANAC

1. 2. Données

Les données des précipitations journalières utilisées dans cette étude ont été collectées dans des observatoires gérés par la Direction de Météorologie Nationale. Elles ont été insérées dans les fichiers du Centre de Recherches sur les Tropiques Humides (CRTH) de l’Université Marien Ngouabi qui les a mises à notre disposition. Notre étude s’appuie sur l’exploitation des séries chronologiques d’observation du 01er janvier 1950 au 31 décembre 2022, dans treize (13) stations synoptiques assez représentatives des différentes zones climatiques du Congo Brazzaville.

1. 3. Méthodes

Les lois Généralisée des Valeurs Extrêmes (GEV), Gumbel, Pareto, Fréchet, Weibull, Normale, Log-Normale et Gamma constituent des méthodes statistiques souvent utilisées en météorologie, en climatologie et en hydrologie pour rechercher les valeurs extrêmes pour les précipitations ou les crues (Massouangui-Kifouala et al., 2021). Ces lois permettent de définir une distribution de probabilité en fonction de la fréquence d’apparition d’événements dans le passé et de prévoir la probabilité d’apparition d’un événement de plus grande ampleur avec une période de retour longue. Ces différentes lois sont choisies en fonction de leurs performances à modéliser les paramètres climatiques ou hydrologiques à analyser (Amar, 2023).

1.3.1. Contrôle de qualité

Nous avons utilisé le programme disponible dans le progiciel RClimDex développé par la branche de recherches sur le climat du service météorologique du Canada (voir le http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml). Le procédé de contrôle de qualité dans RClimDex n'est pas censé être complet. Néanmoins, elle aide plutôt l'utilisateur à identifier les erreurs d'enregistrement qui peuvent exister dans des données quotidiennes de station.

1. 3. 2. Théorie des valeurs extrêmes (loi de Pareto)

Les analyses de Pareto constituent une des méthodes statistiques en météorologie, climatologie et hydrologie pour rechercher les valeurs extrêmes pour les précipitations, les débits ou les vents. Ces analyses permettent d'ajuster une courbe de régression en fonction de la fréquence d'apparition des événements dans le passé et de prévoir la probabilité d'apparition d'un événement de plus grande ampleur avec une période de retour plus longue (par exemple 100 ans) que la série de mesures disponibles. La théorie des valeurs extrêmes **(**Massouangui Kifouala et *al.*, 2017) offre un cadre mathématique rigoureux pour l'estimation des probabilités de valeurs extrêmes. Elle indique que le comportement asymptotique de valeurs maximales annuelles ou de valeurs supérieures à un seuil converge en probabilité respectivement vers une loi GEV (loi généralisée des valeurs extrêmes) ou une loi GP (loi Pareto généralisée). Cette méthode est encore appelée méthode de dépassement de seuil. Elle implique le choix d'un seuil au-delà duquel le modèle peut être appliqué. La loi de Pareto est sensible aux perturbations sur les données et aux hypothèses d'indépendance. On montre que la loi conditionnelle de u X−U sachant que X>U est approximativement :

$$H(y) = 1 + \left(1 + \xi y / \xi\right)^{-1/\xi} \text{ sur } \{y : y > 0, (1 + \xi y / \breve{\sigma}) > 0\}, y = x - u \text{ et } \breve{\sigma} = \sigma + \xi(u - u) \text{ si } \xi \neq 0$$

$$\text{dans le cas où } \xi = 0 \text{, on a } H(y) = 1 - \exp\left(-\frac{y}{\breve{\sigma}}\right) \text{avec y>0.}$$

Le paramètre de forme ξ est le même que celui des lois GEV (théorie sur la Généralisation des Valeurs Extrêmes). Cette famille de lois constitue les lois de Pareto généralisées (GPD en anglais). Elle répond à 3 étapes essentielles : détermination de seuil, estimation de paramètres et le niveau de retour.

- **Choix du seuil**

Le choix du seuil au-dessus duquel les pluies journalières peuvent être considérées comme extrêmes ou rares par une distribution de Pareto est souvent le résultat d'un compromis entre

le biais et la variance. En effet, le seuil doit être suffisamment élevé pour satisfaire le caractère asymptotique du modèle statistique, mais pas trop élevé pour garder un nombre suffisant de dépassements pour estimer les paramètres du modèle. Pour cette étude, deux approches ont été utilisées pour déterminer le seuil d'estimation des pluies journalières : la fonction moyenne des excès et l'approche proposée par Massouangui-Kifouala et al. (2017). La fonction moyenne des excès utilise l'approximation asymptotique selon laquelle le nombre annuel moyen de dépassements croît linéairement en fonction du seuil. L'approche proposée par Massouangui Kifouala et al. (2017) repose sur la méthode graphique. Elle permet de sélectionner le seuil *a priori*, sans avoir estimé les paramètres de distribution. Cette méthode se fonde sur la moyenne de la loi GPD. Ce choix est très fondamental. Il permet de déterminer la taille de l'échantillon sur lequel sera appliquée la loi de Pareto.

- **Estimation des paramètres**

Le problème de l'estimation des quantiles d'une distribution des extrêmes passe sur l'estimation de ses paramètres (des lois de GEV et GPD) sur la base de l'échantillon retenu. Elle se fait par la technique de maximum de vraisemblance (Massouangui-Kifouala, 2021) ou la méthode des moments pondérés. L'idée fondamentale de l'estimation par maximum de vraisemblance est de trouver un ensemble d'estimations de paramètres, telles que la probabilité d'obtenir les valeurs observées soit maximisée. Elle convient mieux pour les échantillons de grande taille. La méthode de moments, quant à elle, est basée sur la possibilité d'évaluer n'importe quel moment statistique d'une distribution par ses moments empiriques correspondants, et d'exprimer les paramètres en fonction des moments. Elle donne de meilleurs résultats pour des tailles d'échantillon inférieures (< 100 pour la loi GEV et < 500 pour la loi GPD, pour un paramètre de forme $k > 0$**.**

- **Niveau de retour**

Il est souvent plus pratique d'interpréter un modèle aux valeurs extrêmes en termes de niveaux de retour et de périodes de retour. Cela est une bonne caractérisation des occurrences des valeurs rares. En effet, l'intérêt de toute étude de modélisation statistique fondée sur la théorie des valeurs extrêmes, est d'établir de façon fiable le niveau qui est susceptible d'être dépassé au moins une fois tous les cinq, dix, vingt voire cent ans. Une période de retour est le nombre moyen d'année entre un évènement passé et un autre de même ampleur ou hauteur. Selon la classification internationale des événements extrêmes proposée par l'Institut Royal de la

Météorologie de Belgique (Samba, 2008; Soro, 2008), une précipitation est qualifiée « *d'anormale* », de « *très anormale* », « *d'exceptionnelle* » ou de « *très exceptionnelle* » respectivement pour au moins une période de retour de 6 ans, 10 ans, 30 ans, et 100 ans.

Le niveau de retour *z N* dépassé en moyenne toutes les *N* années ou saisons (*m* observations) est donné par la relation :

$$\xi u\left[1+\xi\left(\frac{ZN-u}{\sigma}\right)^{-1/\xi}\right]=\frac{1}{m}\ ;\quad \begin{cases} ZN=u+\sigma\log(m\xi u), \xi=0 \\ ZN=u+\frac{\sigma}{\xi}\left[(m\xi u)^{\xi}-1\right], \xi\neq 0 \end{cases} \text{avec}: m=observation,$$

$$ZN=nombre\ d'années\ ou\ saisons,\ u=seuil\ de\ dépassement,\quad \xi=moyenne,$$

$$k=paramètre\ de\ forme,\ \sigma=Paramètre\quad d'échelle$$

2. Résultats

2. 1. Modélisation des précipitations journalières extrêmes

2.1.1. Choix de seuil (U)

Le seuil de confiance a été pris à 95%. Il a été retenu du fait que toute valeur supérieure ou égale à ce seuil permet de définir le jour très humide (R95p). A ce seuil, les événements extrêmes sont très rares (tableau 2). Les nombres de seuils les plus élevés sont enregistrés dans les stations d'Impfondo et de Ouesso. Par contre, les nombres les plus faibles sont enregistrés dans les stations de Mpouya et de Makabana.

Tableau 2 : Seuil de dépassement

Station	Seuil de dépassement (en mm d'eau)	% de valeurs > U
Dolisie	20	381
Djambala	31	830
Gamboma	28	849
Impfondo	29	1002
Makabana	24	309
Makoua	27	367
Mouyondzi	29	383
Mpouya	24	271
Ouesso	26	978

Pointe-Noire	20	362
Sibiti	26	352
Souanké	62	521

Source des données : ANAC

2.1.2. Estimation des paramètres du modèle

Les valeurs journalières des précipitations ont été ajustées en utilisant le modèle statistique d'excès des seuils, la distribution Généralisée de Pareto ou GPD. Bien qu'il existe un nombre important des logiciels appliquant l'analyse statistique des valeurs extrêmes, nous avons utilisé le *toolkit* (*extReme*) dont les applications sont utilisées dans le domaine de l'analyse du temps et du climat. Il donne la possibilité de présenter l'information de covariance en estimant les paramètres. Les paramètres de distribution de GPD (d'échelle σ et de forme k) estimés dans l'ensemble des stations du Congo sont portés dans le tableau 6 (ci-dessus). Les erreurs types notées entre parenthèses indiquent que la valeur pour le paramètre de forme est tout à fait en conformité avec son écart type. Nous avons utilisé les lois maximums de vraisemblance et les moments pondérés (Soro, 2010) pour estimer ces paramètres. Les valeurs estimées par ces deux lois sont voisines mais ne sont présentées ici que celles de la loi de vraisemblance. En utilisant la méthode delta, il est plus facile de déterminer les intervalles de confiance sur les paramètres et sur les niveaux de retour avec le maximum de vraisemblance qu'avec les moments pondérés. En tenant compte du paramètre de forme (ξ), il existe trois différentes familles de distributions : Gumbel (0→k), Fréchet (0>k) et Weibull (0<k) (Soro, 2010; Taibi, 2015). Dans le cas du Congo, deux familles se dégagent. D'une part, les stations de Djambala, Makoua, Mouyondzi, Mpouya, Pointe-Noire, Sibiti et Souanké qui obéissent à la loi de Fréchet, ce qui signifie que les événements pluviométriques extrêmes sont assez rares (tableau 3) ; d'autre part, les stations de Dolisie, Gamboma, Impfondo, Makabana et Ouesso répondent à la loi de Weibull, ce qui signifie que ces stations enregistrent des fréquents évènements extrêmes.

Tableau 3 : Paramètres du modèle

Station	Paramètres estimés du modèle	
	Paramètre d'échelle (σ)	Paramètre de forme (k)
Dolisie	17 (0,67)	-0,007 (0,02)
Djambala	16 (0,67)	0,033 (0,03)
Gamboma	19 (0,67)	-0,006 (0,02)
Impfondo	17 (0,65)	-0,01 (0,02)
Makabana	19 (0,76)	-0,01 (0,02)
Makoua	17 (0,74)	0,04 (0,03)
Mouyondzi	17 (0,79)	0,02 (0,03)
Mpouya	19 (0,79)	0,04 (0,03)
Ouesso	19 (0,69)	-0,02 (0,02)
Pointe-Noire	24 (0,98)	0,04 (0,03)
Sibiti	18 (0,71)	0,01(0,028)
Souanké	20 (0,99)	0,26 (0,03)

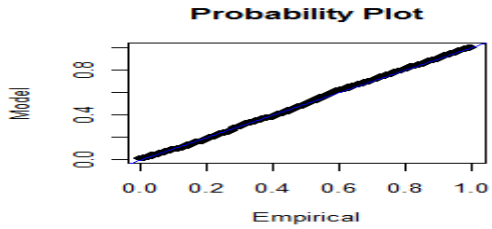
Source des données : ANAC

2.1.3. Ajustement au modèle

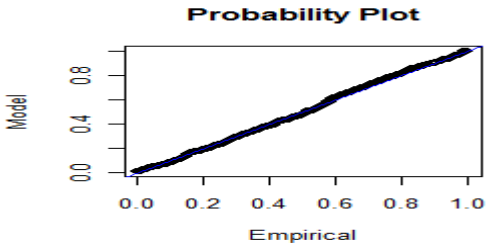
2.1.3.1-Probabilités des valeurs observées et des valeurs du modèle

Ce modèle ajuste parfaitement bien les différentes séries. En effet, l'ensemble des points est aligné sur la diagonale. La figure 2 présente un exemple d'ajustement des précipitations journalières extrêmes. Comme on peut le constater, il s'agit d'un ajustement parfait au modèle aussi bien au niveau des quantiles que des probabilités. Pour notre cas, il apparaît très nettement que les valeurs extrêmes des précipitations journalières au Congo répondent positivement au modèle, malgré les déviations observées au niveau de la station de Souanké. Au niveau des quantiles le non alignement se fait remarquer dans les stations de Dolisie à partir de 120, à Djambala, Gamboma, Impfondo, Makabana, Makoua, Mouyondzi et de Ouesso au-delà de 140 (figure 2). L'exception dans toutes les stations est visible à Souanké.

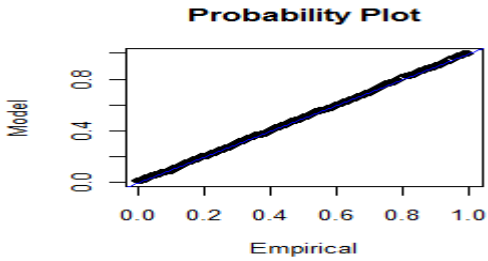
Figure 2 : probabilités des valeurs observées et des valeurs empiriques



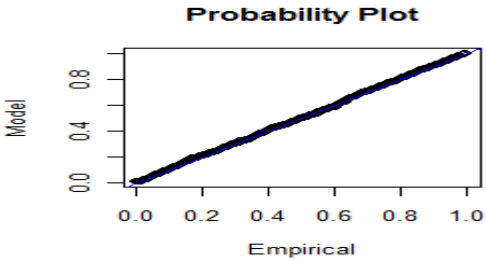
Station de Dolisie



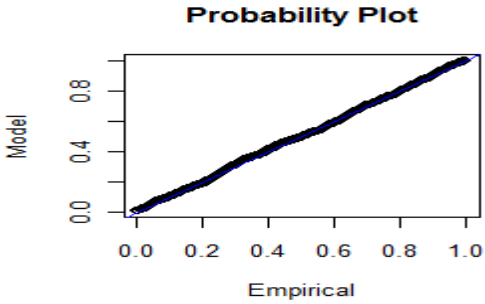
Station de Djambala



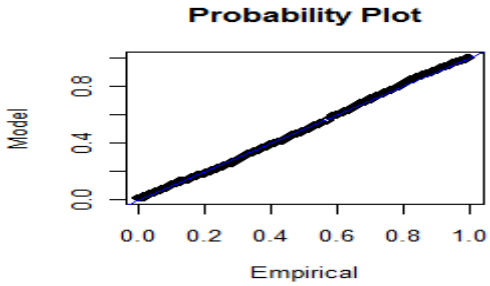
Station de Gamboma



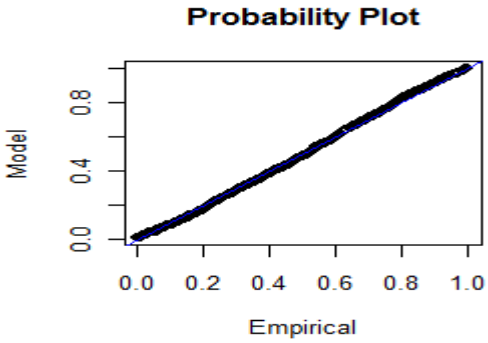
Station d'Impfondo



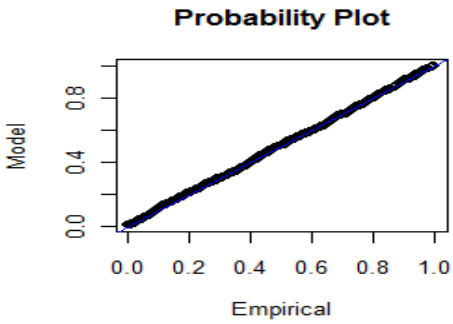
Station de Makabana



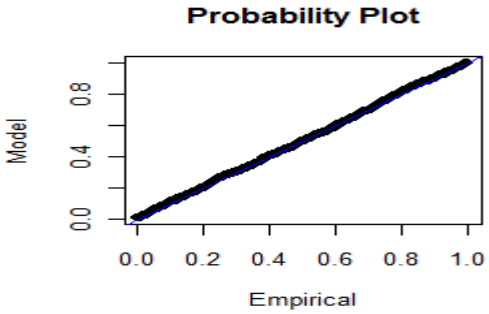
Station de Makoua



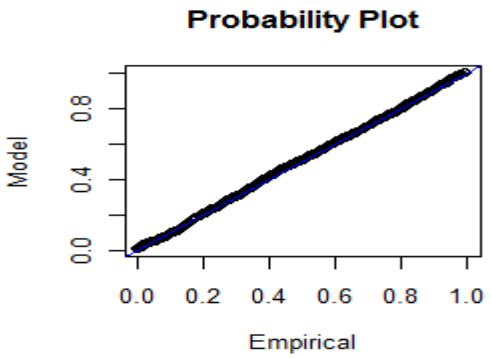
Station de Mouyondzi



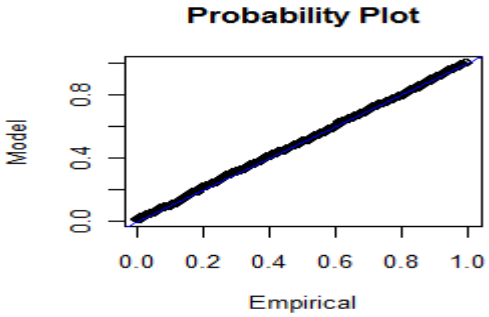
Station de Mpouya



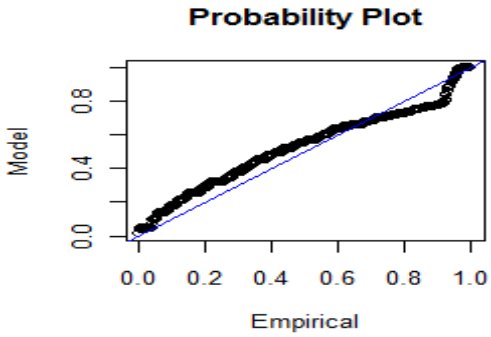
Station de Ouesso



Station de Pointe-Noire



Station de Sibiti

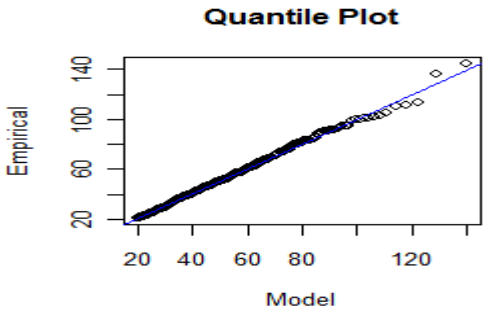


Station de Souanké

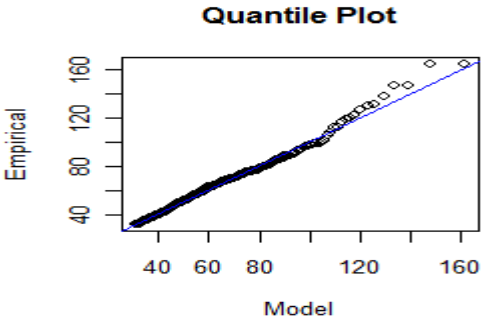
2.1.3.2-Quantiles des valeurs observées et des valeurs théoriques

Au niveau des quantiles le non alignement se fait remarquer dans les stations de Dolisie à partir de 120, à Djambala, Gamboma, Impfondo, Makabana, Makoua, Mouyondzi et Ouesso au-delà de 140. L'exception dans toutes les stations est visible à Souanké (figure 3).

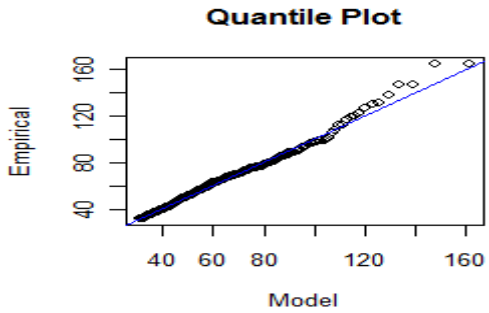
Figure 3 : quantiles des valeurs observées et des valeurs théoriques



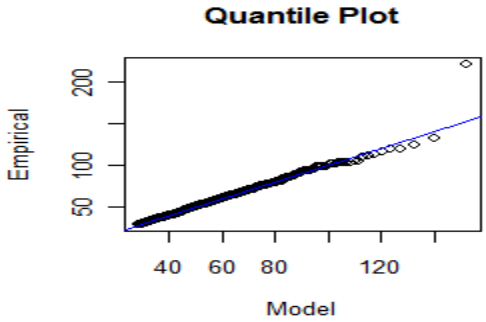
Station de Dolisie



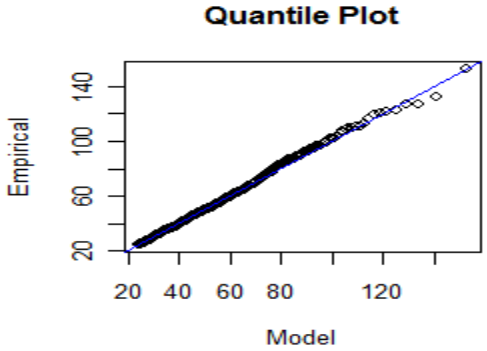
Station de Djambala



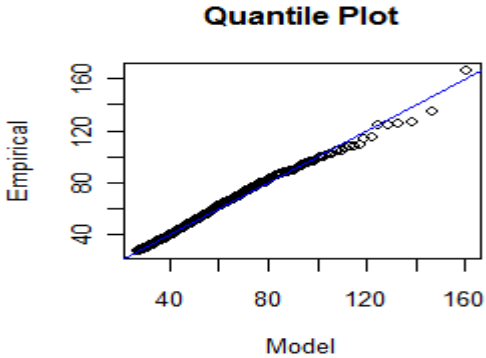
Station de Gamboma



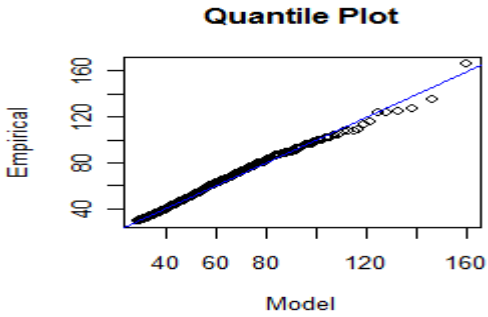
Station d'Impfondo



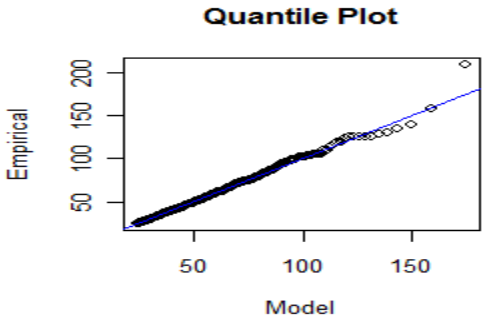
Station de Makabana



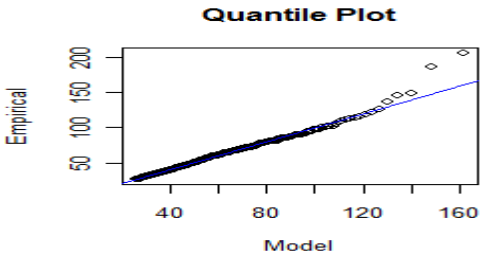
Station de Makoua



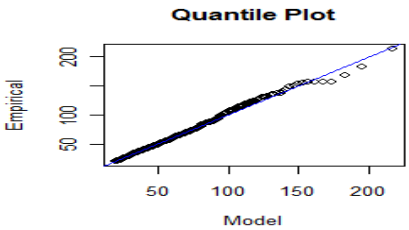
Station de Mouyondzi



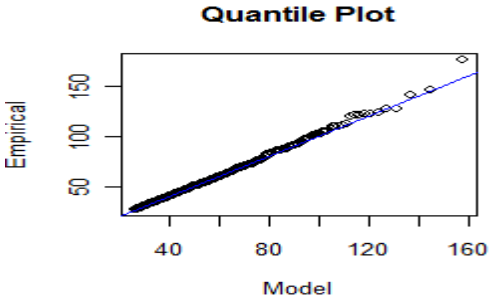
Station de Mpouya



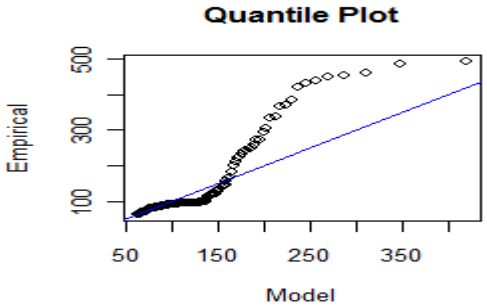
Station de Ouesso



Station de Pointe-Noire



Station de Sibiti



Station de Souanké

2.1.4. Période de retour

Le tableau 4 montre que quel que soit le niveau de retour et la station considérée, les précipitations journalières extrêmes dans l'ensemble du pays atteignent des valeurs supérieures ou égales à 97 mm d'eau. Ces valeurs sont plus impressionnantes à l'observatoire de Souanké situé dans les plateaux du nord-ouest et de Pointe-Noire dans la plaine côtière. Par contre, les stations de Dolisie, Impfondo et Makabana présentent des faibles.

Tableau 4 : Périodes de retour des précipitations journalières extrêmes

Période de retour (ans)	Dolisie	Djambala	Gamboma	Impfondo	Makabana	Sibiti
5	97	110	111	106	107	109
10	109	123	123	118	119	122
15	116	131	130	125	127	129
20	120	137	136	131	132	135
25	124	141	140	135	136	139
50	135	155	152	147	148	152
75	142	164	160	154	155	160
100	146	170	165	160	160	165

Période de retour (ans)	Makoua	Mouyondzi	Mpouya	Ouesso	Pointe-Noire	Souanké
5	109	109	117	111	138	172
10	123	122	132	124	158	184
15	131	130	141	132	170	204
20	136	136	147	138	179	244
25	141	140	152	142	186	266
50	155	154	168	156	207	292
75	163	162	177	164	220	301
100	169	168	184	170	230	334

Source : ANAC

3. Discussion

La problématique examinée dans cette étude s'inscrit sur la modélisation des précipitations journalières extrêmes par l'application de la loi de Pareto dans les stations du Congo-Brazzaville. L'analyse statistique des pluies journalières extrêmes montre une adaptation parfaite de ces valeurs au modèle d'excès des seuils de la loi généralisée de Pareto.

3. 1. Sur l'estimation des paramètres du modèle

Les résultats montrent que le paramètre de forme (k), dans les stations de Djambala, Makoua, Mouyondzi, Mpouya, Pointe-Noire, Sibiti et Souanké obéit à la loi de Fréchet, $k > 0$, ce qui signifie que les événements pluviométriques extrêmes sont assez rares**.**

Par contre, les stations de Dolisie, Gamboma, Impfondo, Makabana et Ouesso répondent à la loi de Weibull ($k< 0$), ce qui signifie que ces stations enregistrent des fréquents évènements extrêmes. Ces résultats sont en accord avec les travaux de (Van De Vyver, 2010). Plusieurs études (Mahugnon Tchibozo et al., 2020 ; Coles, 2001) ont montré que la loi de Pareto ajuste bien les précipitations extrêmes au pas de temps journalier.

Ces résultats confirment ceux trouvés par l'Organisation Mondiale de la Météorologie (Hosking, 1986) qui a montré que 55 agences de 28 pays utilisent la loi des valeurs extrêmes. Ces résultats sont en phase avec ceux d'Eténé (2014).

Ceux-ci affirment que le modèle de distribution usuel utilisé pour l'ajustement des pluies journalières maximales annuelles à savoir : la loi de GEV (Weibull) a donné des résultats satisfaisants dans l'ensemble. Il en est de même pour Coles (2001) et Benhattab (2014) qui confirment que la loi d'ajustement des pluies journalières extrêmes, qui a été utilisée dans plusieurs études antérieures de régionalisation des précipitations extrêmes, a été identifiée comme distribution régionale adéquate. Ces résultats corroborent ceux des travaux de Ngouala Mabonzo et Batchi Mav (2021). Ces derniers ont obtenu que les débits du fleuve Congo obéissent à la loi de Weibull. Ce qui revient à dire que le fleuve Congo enregistre des nombreux événements extrêmes. Ceux-ci sont identiques aux résultats de Coles (2001). Aussi, la formule de Weibull serait la meilleure pour estimer les précipitations journalières centennales à partir de la série de mesures pluviométriques 1961-2010 (Amoussou, 2014). Aussi les précipitations extrêmes dans le bassin versant du Mono (Bénin-Togo) obéissent parfaiatement à la loi Weibull, (Mahugnon Tchibozo et al., 2020). Ces résultats sont aussi similaires à ceux de Benhattab (2014) qui indiquent que les pluies maximales en 24 heures

présentent un meilleur ajustement avec les lois GEV et de Pareto dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou en Afrique de l'Ouest. C'est le cas des quelques études réalisées par l'OMM (2012) en Algérie, Mayima et al., (2018) au Congo Kinshasa et Benhattab (2014) en Côte d'Ivoire.

3. 2. Période de retour

Les valeurs associées aux différents niveaux de retour sont assez fortes. La loi de GEV comme celle de Pareto ne permet pas de prédire les valeurs au-delà de 80 ans. La courbe montre qu'après 80 ans, les valeurs sortent de l'intervalle de confiance dans les stations de Ouesso, Mpouya et Impfondo (Mahugnon Tchibozo et al., 2020). En se référant à la classification internationale des événements extrêmes (Coles, 2001 ; Samba et al., 2008), il ressort que les hauteurs de pluie quotidienne de 80, 106, 120 et 137 mm représentent respectivement les seuils caractérisant les événements anormal (période de retour de 5 ans), très anormal (PR de 10 ans), exceptionnel (PR de 20 ans) et très exceptionnel PR de 100 ans) (Agué et Afouda, 2015 ; Gneneyougo et al., 2016). Ces travaux corroborent avec ceux de Hosking (1986) où les intensités des précipitations connaissent une augmentation remarquable suivant les différents niveaux de retour. Les quantités d'eau de fortes pluies sont inquiétantes et confirment l'abondance des pluies à l'avenir démontrée par les modèles climatiques. Les totaux pluviométriques estimés sur les différentes stations augmentent en fonction de période de retour comme dans le Congo subéquatorial (Coles, 2001). Les évènements hydrologiques exceptionnels et très exceptionnels ont une période de retour supérieur à 50 et 100 ans (Séné et Ozer, 2002 ; Sahani et al., 2012). Dans ce même contexte, les niveaux associés aux périodes de retour cinquantennales et centennales représentent une menace pour la pérennité des terrasses agricoles situées le long de l'oued Melloulou (Goula et al., 2012). Aussi, de nombreuses études montrent que les pluies extrêmes sont devenues plus intenses au cours du 21ème siècle et que cette tendance devrait se poursuivre avec le réchauffement de la planète (Chaouche, 2001 ; Sisson et al., 2006 ; Bacro et Chaouche, 2006). Aussi, selon les conclusions du rapport du GIEC, les milieux arides sont non seulement menacés par une intensification de l'aridité mais aussi par une augmentation de la fréquence des pluies extrêmes (Hangnon et al., 2015).

Conclusion

L'analyse statistique des pluies journalières extrêmes en République du Congo est la thématique abordée par la présente étude. L'objectif de celle-ci est d'analyser des pluies journalières extrêmes et leurs périodes de retour par la loi de Pareto.

Les principaux résultats obtenus montrent une adaptation de ces valeurs au modèle d'excès des seuils de la loi généralisée de Pareto. Cette loi ajuste parfaitement les précipitations journalières extrêmes. Mais, elle ne permet pas de prédire les valeurs au-delà de 80 ans. Les analyses statistiques mettent en évidence des seuils optimaux d'estimation des pluies journalières extrêmes compris entre 20 et 63 mm. A ces seuils, les événements extrêmes sont très rares.

Le paramètre de forme (k), dans les stations de Djambala, Makoua, Mouyondzi, Mpouya, Pointe-Noire, Sibiti et Souanké obéit à la loi de Fréchet, $k > 0$, ce qui signifie que les événements pluviométriques extrêmes sont assez rares. Par contre, le paramètre de forme (k), dans les stations de Dolisie, de Gamboma, d'Impfondo, de Makabana et de Ouesso obéit à la loi de Weibull, $0 < k$. Ce qui montre qu'au sein de ces stations des fréquents évènements extrêmes. La répartition spatiale des quantiles révèle que les plus fortes valeurs de pluie sont localisées dans la partie septentrionale du pays, à Impfondo et à Ouesso.

Ces résultats pourraient servir à la prise à la gestion et à la prévention des risques. Il est important aussi en perspective, de mener des études sur les impacts des pluies journalières extrêmes et les stratégies d'adaptation locale mises en place.

BIBLIOGRAPHIE

Agué A. I., Afouda, A. (2015). Analyse fréquentielle et nouvelle cartographie des maxima annuels de pluies journalières au Bénin, Int. J. Biol. Chem. Sci. 9 (1). 121-133.

Amar F. & Afroukh J. (2023). Modèle de Diagnostic Intégré Avancé ; Swot/Pestel, 7s Combinés», Revue Internationale des Sciences de Gestion, Vol. 6 (1): 428-453.

Amoussou, E., Camberlin, P., Totin Vodounon, S. H. (2014). Evolution des précipitations extrêmes dans le bassin versant du Mono (Bénin-Togo) en contexte de variabilité / changement climatique, XXVIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 2-5 juillet 2014-Dijon (France). 331-337.

Assani, A.A. (1999). Variabilité temporelle et persistance des épisodes secs en saison des pluies à Lubumbashi (Congo – Kinshasa). Note méthodologie, Sécheresse, Vol. 10 (1) : 45 - 53.

Bacro, J.N., Chaouche, A. (2006). Incertitude d'estimation des pluies extrêmes du pourtour méditerranéen : illustration par les données de Marseille. Journal des Sciences Hydrologiques, vol. 51, n°3 :389-405.

Benhattab K., Bouvier C., Mohamed M. (2014). Analyse fréquentielle régionale des précipitations journalières maximales annuelles dans le bassin hydrographique - Chéliff, Algérie, Revue des sciences de l'eau, Volume 27 (3) :189-203.

Chaouche, K. (2001). Approche multifractale de la modélisation stochastique en hydrologie. Thèse de l'École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Centre de Paris. 146 p.

Coles, S. (2001). An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values. London, Springer Verlag. 209 p.

Conway, D., Persechino, A., Ardoin, B. S., Hamandawana, H., Dieulin, C., & Mahe, G. (2009). Rainfall and Water Resources Variability in Sub-Saharan Africa during the Twentieth Century. 41-59.

Eténé, C. G., Boko, M. (2014). Perturbation pluviométrique et inondation dans la commune de Dangbo au Bénin, XXVIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 2-5 juillet 2014-Dijon (France) :620-624.

Éténé, C.G., Boko M. (2004). Perturbation pluviométrique et inondation dans la commune de Dangbo au Bénin, XXVIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 2-5 juillet 2014 – Dijon (France). 620-624.

Gneneyougo, E S., Dao, A., Fadika, V., Goula B. T. A., Srohorou, B. (2016). Estimation des pluies journalières extrêmes supérieures à un seuil en climat tropical : cas de la Côte d'Ivoire, Physio-Géo, volume 10. 16.

Goula, A.B.T., Gneneyougo Soro, E., Kouassi, W., & Srohourou, B. (2012). Tendances et ruptures au niveau des pluies journalières extrêmes en Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). Journal des Sciences Hydrologiques, Vol. 57 (6) :1067-1080.

Goula, B.T.A., Konan, B., Brou, Y.T., Savané, I., Fadika, V., Srohourou, B. (2007). Estimation des pluies exceptionnelles journalières en zone tropicale : cas de la Côte d'Ivoire par comparaison des lois lognormale et de Gumbel. Journal des Sciences Hydrologiques, vol. 52(2) :49-67.

Hangnon, H., De Longueville, F., Ozer, P. (2015). Précipitations « extrêmes » et inondations à Ouagadougou : Quand le développement urbain est mal maîtrisé, XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie : 497-502.

Hosking, J. (1986). The theory of probability weighted moments, Research Report RC12210, IBM Thomas J. Watson Reasearch Center, York-town Heights, NY.158 p.

Ibiassi Mahoungou, G., Samba-Kimbata, M. J., Assani A. A. (2013). Analyse de l'influence de la circulation océanique sur la variabilité inter annuelle des précipitations en République du Congo de 1950 à 2005, Acte du Colloque AIC. 1-14.

Kouassi, A. M., Nassa, R.A.K, Yao, K. B. (2018). Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire), Revue des sciences de l'eau, Vol. 31(2)147-160.

Kouassi, K. M., Meledje, N. H., Koffi Y. B. (2019). Modélisation statistique des extrêmes de pluies à différentes échelles de temps: comparaison des approches théorique et pratique, Rev. Ivoir. Sci. Technol., 34 : 368-388.

Lemaître, F. (2002). Recensement des tests de détection de tendances ou de ruptures l'analyse de stationnarité des régimes de crues en France. Rapport de fin d'études, Entpe, Cemagref-Lyon (France). 94 p.

Maloba Makanga, J. D., et Samba G. (1997). Organisation pluviométrique sur l'espace Congo-Gabon (1950-1990), Sécheresse, vol. 8(1) : 39-45.

Mankessi J. (2013). Les contraintes climatiques et bioclimatiques et leurs indices sur l'agriculture pluviale sur les plateaux Babembé (Congo-Brazzaville), Thèse de Doctorat, Université Marien Ngouabi, FLSH (République du Congo), 288 p

Massouangui-Kifouala M. (2014). Aléas pluviométriques et pratiques paysannes dans les pays du Niari (République du Congo), Thèse de Doctorat, Université Marien NGOUABI, 271p.

Massouangui Kifouala, M., Maleké. P. Sh. L. et Samba - Kimbata M. J. (2017). Application de la théorie classique des valeurs extrêmes (tve) en hydrologie: modélisation statistique des

débits du fleuve Congo à Brazzaville, Annales de la Faculté des lettres et des sciences humaines, n°8, Université Marien Ngouabi, République du Congo : 321-333.

Massouangui-Kifouala, M., Moutakala Mounsounou, C.C., Batchi Mav., A.P., Michellon, B. (2021). Vulnérabilité et résilience des quartiers précaires à Brazzaville (République du Congo) face au changement climatique: cas de Soukissa et Moukondzi-Ngouaka, Rev. Ivoir. Sci. Tech., 37:257-281.

Massouangui-Kifouala M., Moukietou Kizimou A. G. B., Maleké P. Sh. L., 2023. Analysis of Vulnerability and Adaptation Strategies to Climate Change at the Scale of Neighbourhoods in the Agglomeration of Pointe-Noire (Republic of Congo), International Journal of advanced Multidisciplinary Research and Studies, 3(3): 89-96.

Mayima, B. A., **Ditengo, C., Goma Boumba, H. B. (2018).** Croissance spatiale et phénomènes morphoclimatiques dans la ville de Brazzaville au Congo, Revue de Géographie, d'Aménagement Régional et de Développement du Sud : 88-97.

Miame G. A., Massouangui-Kifouala M., Samba-Kimbata M.-J., 2015. Analyse des perceptions paysannes des activités agricoles et des stratégies locales d'adaptation à la variabilité climatique sur les Plateaux Batéké (République du Congo), Annales de la faculté des lettres, arts et sciences humaines, Université d'Abomey-Calavy (Bénin), Vol.2 (21) : 4-17

Ngatsé, R., Mayima, B. A., Bouzou M. I., Samba-Kimbata M. J. (2020). Perception du phénomène des ravinements par les populations de Pointe-Noire en République du Congo, Afrique science 16 (2) :22-33.

Ngouala Mabonzo, M., Batchi Mav. A. P. (2021). Cartographie spatiale des risques d'inondation par le Système d'Information Géographique du site urbain de Brazzaville (République du Congo), Revue Baobab : 152-164.

NZoussi H. K. and Li J. F., 2015. Urbanization and the Risk of Flooding In the Congo: Case of The City Of Brazzaville, American Journal of Engineering Research *(AJER):* 48-53.

OMM. (2013). Déclaration de l'OMM sur l'état du climat en 2012, n°1108.

Ouedraogo, M., Servat, E., Paturel, J.E., Lubes-Niel, H. J., Masson, M. (1998). Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit autour des années 1970 en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne. Water Re.source.s Variability in Africa during the XXth CenJury (Proceedings of the Abidjan'98 Conference held at Abidjan, Côte d'lvoire, November 1998), IAHS Pub. nº 252, 1998. 315-321.

Pomerleau, J. (2009). "Changements climatiques et sécurité en Afrique»; Centre Universitaire de Formation en Environnement, Université de Sherbrooke. 99 p.

Sahani, M., Moeyersons, J., Vandecasteele, I., Trefois, P., Ozer, P. (2012). Evolution des caractéristiques pluviométriques dans la zone urbaine de Butembo (RDC) de 1957 à 2010. Geo-Eco-Trop : Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Ecologie Tropicales 36. 121-136.

Samba, G., Nganga D., et Mpounza M. (2008). Rainfall and temperature variations over Congo-Brazzaville between 1950-1998, Theoretical and Applied Climatolology 91: 85-97.

Séné, S., Ozer, P. (2002). Evolution pluviométrique et relation inondations-événements pluvieux au Sénégal. Bulletin de la société géographique de Liège, 42 : 27- 43.

Servat, E., Paturel, J.E., Kouamé, B., Travaglio, M., Ouédraogo, M., Boyer, J. F., Lubès-Niel, H., Fritsch, J.M., Masson, J.M., & Marieu, B. (1998). Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et centrale » IAHS Publication, vol. 252. 323 - 337.

Sisson, S.A., Perrichi, L.R., Coles, S. (2006). A case for a reassessment of the risk of extreme hydrological hazards in the Caribbean. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, vol. 20 (4):296-306.

Sitou L., Ngatse R. et Bavedila M. (2022). Etude de la dynamique et des facteurs du ravin de Tchiali à Pointe-Noire en République du Congo, Revue Internationale du Chercheur, Vol.3 (1) : 284-304.

Soro, G. E. (2008). Modélisation statistique des pluies extrêmes en Côte d'Ivoire. Thèse unique de doctorat, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire.172 p.

Soro, G. E., Goula B. T. A., Kouassi, F. W., Koffi K. (2010). Courbes Intensité Durée Fréquence des précipitations En climat Tropical Humide : Cas de la Région d'Abidjan (Côte d'Ivoire). European Journal of Scientific Research, 21(3): 394-405.

Taibi, S., Meddi M., Mahe, G. (2015). Evolution des pluies extrêmes dans le bassin du Chéliff (Algérie) au cours des 40 dernières années 1971-2010, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH)-Blida, Algérie Hydro Sciences Montpellier, IRD, Extreme Hydrological Events (JH01–IUGG) : 175-180.

Tchibozo, E. A. M., Agbon A. C., Zinsou, E. P. A. (2020). Cartographie par télédétection des risques géomorphologiques sur la berge urbanisée de la vallée de Louho (ville de Porto-Novo, Bénin). Revue Canadienne de Géographie Tropicale : 37-47.

Van De Vyver, H., Démarrée, G. R. (2010). Construction of Intensity–Duration– Frequency (IDF) curves for precipitation at Lubumbashi, Congo, under the hypothesis of inadequate data. Hydrological Sciences Journal, 55(4): 555-564.

Zhang, X. and Yang, F., (2005). RClimDex 1.0, User Manual°; Climate Research Branch Environment, Downsview, Ontario, Canada. 23 p.