

## Analyse statistique des pluies journalières extrêmes à partir d'un seuil dans le Bénin subéquatorial

HOUNVOU S. F.<sup>1</sup>, GUEDJE F. K.<sup>2</sup>, KOUGBEAGBEDE H.<sup>3</sup>, ADECHINAN J.<sup>4</sup>, HOUNGNINOU E.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de physique de l'atmosphère, FAST/UAC, [ferdilu25@gmail.com](mailto:ferdilu25@gmail.com)

<sup>2</sup> Laboratoire de physique de l'atmosphère, FAST/UAC, [guedjefranco@yahoo.com](mailto:guedjefranco@yahoo.com)

<sup>3</sup> Laboratoire de physique de l'atmosphère, FAST/UAC, [hilars83@gmail.com](mailto:hilars83@gmail.com)

<sup>4</sup> Laboratoire de physique de l'atmosphère, FAST/UNSTIM, [adjos85@gmail.com](mailto:adjos85@gmail.com)

<sup>5</sup> Laboratoire de physique de l'atmosphère, FAST/UAC, [houngnb@gmail.com](mailto:houngnb@gmail.com)

### INFOS SUR L'ARTICLE

*Historique de l'article:*

Reçu le : 31 juillet 2019

Reçu en format révisé le : 23 décembre 2019

Accepté le : 31 décembre 2019

*Mots-Clés: Variabilité climatique, analyse statistique, pluies extrêmes, seuil, loi de Pareto, Bénin subéquatorial.*

*Keywords : Climate variability, statistical analysis, threshold, Pareto law, daily rainfall, Benin subequatorial.*

**Résumé :** La forte variabilité du climat de l'Afrique de l'ouest à des impacts socio-économiques sévères sur la vie des habitants. Il urge de mieux comprendre les mécanismes physiques de celle-ci pour améliorer la prédétermination et la prévision des inondations et des sécheresses dans cette région du monde. L'analyse des pluies extrêmes supérieures à un seuil, est faite à cet effet dans le Bénin subéquatorial. Les données de pluies journalières exploitées sont recueillies sur dix-sept (17) stations au sud du Bénin. Les résultats montrent des seuils variants entre 17,4973 mm et 37,9033mm d'une part et une croissance du nombre annuel des hauteurs de pluie supérieures à un seuil après la reprise de la pluie des années 80 ou du début des années 90 sur les différentes stations d'étude. Avec un paramètre de forme significativement négatif, la loi généralisée de Pareto permet de bien ajuster les pluies journalières supérieures à un seuil.

**ABSTRACT:** West Africa's high climate variability has severe socio-economic impacts on people's lives. There is a need to better understand its physical mechanisms to improve the prediction and prediction of floods and droughts in this region of the world. The analysis of extreme rainfall above a threshold is made for this purpose in subequatorial Benin. Daily rainfall data are collected seventeen (17) stations in southern Benin. The results show thresholds ranging between 17.4973 mm and 37.9033 mm on the one hand and a growth in the annual number of rainfall heights greater than a threshold after the resumption of rain in the 1980s or early 1990s on the different study stations. With a significantly negative shape parameter, the Pareto generalized law allows to adjust well the daily rains superior to only one.

### INTRODUCTION

L'Afrique de l'Ouest est l'une des régions du monde qui subissent de graves problèmes de crue et d'inondation, tant en milieu urbain que rural à cause de son climat caractérisé par une forte variabilité pluviométrique (Soro *et al.*, 2016). Les conséquences sont parfois dramatiques à cause de la forte vulnérabilité de sa population aux extrêmes climatiques (Tschakert P., 2007). La spécificité des différentes mesures de prévention et de protection nécessite de bien connaître l'aléa (Panthou, 2013).

Le Bénin comme la plupart des pays de cette région du monde, a connu plusieurs pluies de fortes intensités qui pourraient être l'un des éléments majeurs des

inondations de ces dernières années dans les différentes villes du pays. C'est le cas par exemple des inondations de 2010, qui ont causé surtout dans le sud Bénin, des dégâts importants sur les biens et services (rapport d'évaluation des besoins post catastrophe au Bénin, 2011). Il convient donc de faire une minutieuse analyse de la pluviométrie à travers la variabilité des pluies extrêmes.

L'approche statistique fréquemment utilisée est l'analyse des valeurs maximales annuelles de la pluie. Plusieurs auteurs (Koutsoyiannis et Baloutsos, 2000 ; Gellens, 2002 ; Sahani M. *et al.*, 2012) ont utilisé cette approche surtout à cause de la simplicité de sa mise en œuvre à travers la loi de Gumbel afin de quantifier le

risque associé aux pluies extrêmes. Cependant la seule valeur maximale annuelle retenue peut conduire au rejet de beaucoup d'autres événements extrêmes. Ce qui peut restreindre l'échantillonnage des données de pluie pour l'analyse (Coles, 2001, Soro *et al.*, 2016). La méthode des valeurs supérieures à un seuil permet de résoudre ce problème.

Encore appelée méthode des excès, cette méthode permet de fournir une caractérisation asymptotique de la distribution de dépassements de seuil (Pickands, 1975 ; Coles, 2001). Elle est particulièrement efficace pour extraire des informations concernant les véritables événements extrêmes (Acero *et al.*, 2011 ; Saidi *et al.*, 2013 ; Soro *et al.*, 2016). Les dépassements de seuil extraits (de pluie ou tout autre variable hydrométéorologique) d'un échantillon peuvent être modélisés par les lois de Pareto généralisées dont la loi exponentielle est un cas particulier (Beirlant *et al.*, 2004 ; J.N. Bacro et A. Chaouche, 2006). De nombreux auteurs ont utilisé cette approche pour estimer les valeurs

extrêmes de température et de pluie (M. Nogaj *et al.*, 2006 ; Coelho *et al.*, 2008 ; J.J. Egozcue et C. Ramis, 2001 ; S. Beguería et M. Vicente-Serrano, 2006 ; L. Tomassini et D. Jacob, 2009 ; M. RE et V.R. Barros, 2009 ; F. Serinaldi ; C.G. Kilsby, 2014 cités par Soro *et al.*, 2016).

Dans le présent travail, les hauteurs de pluies journalières à partir d'un seuil sont analysées et modélisées par la distribution de Pareto généralisée (GDP) et la loi exponentielle qui est son cas particulier.

## I. DONNEES ET METHODES

### I.1. Données

S'étendant de Cotonou (au sud), sur la côte atlantique, jusqu'à la latitude de Bohicon (au nord) sur le socle Dahoméen, le Bénin subéquatorial est situé entre 1°37' et 2°44' E et 6°14' et 7°22' N. Il couvre une superficie de (14111,0811 Km<sup>2</sup>). Le sud du Bénin est soumis à un régime pluviométrique bimodal. La grande saison s'étale de mars en juillet et la petite de septembre à novembre (Boko, 1992 ; Adewi *et al.*, 2010).

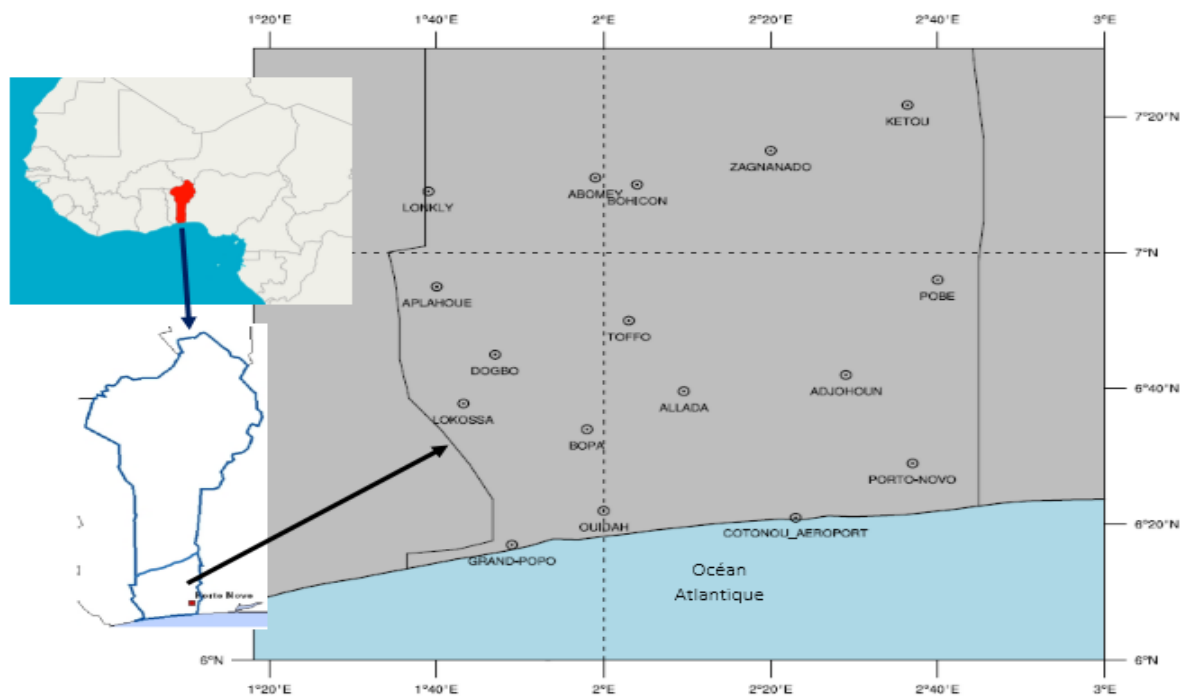


Fig.1. Situation géographique de la zone d'étude.

Les données utilisées dans cette étude sont des séries chronologiques de précipitations journalières recueillies sur 17 stations (voir figure 1b) de Météo Bénin. Deux stations (02) sont synoptiques (Cotonou et Bohicon) et le reste pluviométrique ou agro-climatique. Les hauteurs de pluies journalières sont recueillies entre 1980 et 2007 pour quatre (04) stations et de 1960 et 2012 sur les treize (13) autres. Les données manquantes n'excèdent pas 5% dans les séries.

### I.2. Méthodes

La fonction moyenne des excès est utilisée dans cette étude pour déterminer le seuil de pluie sur les différentes

stations. Elle a permis de définir l'intervalle (zone de linéarité) dans lequel se trouve le seuil adéquat. Cette approche proposée par Coles (2001) repose sur la stabilité des estimateurs des paramètres du modèle statistique sur une gamme de seuils. La gamme de seuils est celle proposée par la fonction moyenne des excès. Le seuil sur chaque station est estimé par la moyenne des différentes hauteurs de pluie de la gamme de seuils déterminée. Les détails concernant ces procédures de sélection du seuil d'estimation des événements extrêmes sont donnés par Coles (2001).

Tableau 1 : Les coordonnées géographiques des stations d'étude

Stations	Longitude (° Est)	Latitude (° Nord)	Altitude (m)	Période des données
Abomey	1,98	7,18	260	1960-2012
Adjohoun	2,48	6,70	60	1960-2012
Bopa	2,44	6,38	7	1960-2012
Bohicon	2,07	7,17	166	1960-2012
Cotonou	2,38	6,35	4	1960-2012
Grand-Popo	1,82	6,28	5	1960-2012
Kétou	2,60	7,35	118	1960-2012
Lonkly	1,69	7,15	110	1960-2012
Ouidah	2,08	6,37	10	1960-2012
Pobè	2,67	6,98	136	1960-2012
Porto-Novo	2,62	6,48	20	1960-2012
Toffo	2,08	6,85	37	1960-2012
Zagnanado	2,33	7,25	102	1960-2012
Aplahoué	1,67	6,92	153	1980-2007
Allada	2,16	6,66	46	1980-2007
Lokossa	1,72	6,63	31	1980-2007
Dogbo	1,78	6,8	56	1980-2007

La variabilité interannuelle du nombre annuel des pluies supérieures à un seuil est analysée sur chaque station. L'indice pluviométrique normalisé (Lawin *et al.*, 2012) est déterminé sur les périodes de 1960-2012 d'une part et de 1980-2007 d'autre part, par :  $I(i) = (P(i) - P) / \sigma$ . Avec  $P(i)$ , le cumul annuel du nombre de jours de précipitation supérieure au seuil sur chacune des stations de la zone d'étude pour l'année  $i$ .  $P$  et  $\sigma$  correspondent respectivement à la moyenne et à l'écart type de la série. La moyenne mobile a été utilisée pour rechercher la tendance à la hausse ou à la baisse dans la série.

Pour apprécier la qualité des séries à être indépendantes et identiquement distribuées, les tests de rupture de Pettitt et Buishand (Langet *et al.* 2003) et celui de stationnarité de Kendall (Aka *et al.*, 1996 ; Ague et Afouda, 2015) ont été appliqués aux hauteurs de pluie supérieures à un seuil sur chaque station pour vérifier les éventuels changements météorologiques (Lang *et al.*, 2003). Les tests de corrélation de Pearson (Johnson *et al.*, 1994) et d'homogénéité de Wilcoxon (Siegel, 1956) sont aussi appliqués.

Les pluies journalières supérieures à un seuil, sont ajustées par l'une des distributions de la loi de PARETO généralisée.

$$F(x) = \begin{cases} 1 - \left[ 1 - \frac{k(x-u)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{k}} & \text{pour } k \neq 0 \text{ (loi de Pareto)} \\ 1 - \exp \left[ \frac{-x-u}{\alpha} \right] & \text{pour } k = 0 \text{ (loi exponentielle)} \end{cases}$$

où  $u$ , paramètre de position ( $-\infty < u < +\infty$ ), représente le seuil d'estimation,  $\alpha$  est le paramètre d'échelle ( $\alpha > 0$ ) et  $k$  le paramètre de forme ( $-\infty < k < +\infty$ ). Le domaine des

valeurs possibles de la distribution de Pareto généralisée est donné par  $u < x < \infty$  pour  $k \leq 0$  et par  $u < x < u + \alpha/k$  pour  $k \geq 0$ .

Pour faciliter les interprétations dans les différentes applications, en hydrologie par exemple, les quantiles élevés sont exprimés en fonction de période de retour plutôt qu'en termes de probabilité et appelés niveaux de retour. Une période de retour est le nombre moyen d'année entre un événement passé et un autre de même ampleur ou hauteur. Il existe une relation simple entre la probabilité d'occurrence d'un événement correspondant au  $p$  - quantile et sa période de retour  $T$  ( $T \geq 2$ :  $p = 1 - 1/T$  ou  $T = 1/(1 - p)$ ). Selon la classification internationale des événements extrêmes proposée par l'Institut Royal de la Météorologie de Belgique (Sene et Ozer, 2002 ; Sahani *et al.*, 2012), 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. Des quantiles de pluies maximales journalières correspondant aux périodes de retour de 6 ans, 10 ans, 30 ans et 100 ans (avec un intervalle de confiance de 95%) sont calculés sur les différentes stations.

Les critères d'information Bayésien (BIC) et d'Akaike (AIC) sont utilisés pour dégager la loi de la famille qui quantifie au mieux les valeurs de pluie supérieures à un seuil dans le Bénin subéquatorial.

## II. RESULTATS ET DISCUSSION

### II.1. Estimation du seuil des pluies journalières extrêmes

Les figures 2a et 2b présentent la fonction moyenne des excès des pluies journalières à la station Lokossa et Abomey. Cette fonction est utilisée pour déterminer l'intervalle dans lequel pourrait se situer le seuil. Par exemple à la station de Cotonou, le seuil est compris entre 20 et 60 mm. À la station d'Abomey, une linéarité de la fonction moyenne des excès est observée entre 15 et 45 mm. Pour les stations de Porto-Novo et Toffo, le seuil est compris respectivement entre 10 et 35 mm et entre 10 et 55 mm. La moyenne des différentes valeurs des intervalles d'estimation des seuils a permis de proposer un seuil par station d'étude. Ainsi les seuils du tableau 2 sont retenus pour les différentes stations. La plus petite valeur est obtenue à la station de Bopa avec 17.4973 mm tandis que la plus grande valeur est estimée à Cotonou avec 37.9033 mm. Les séries de dépassements concernées peuvent donc être modélisées par une distribution de Pareto.

Le nombre total de dépassements de seuil varie de 522 (à Cotonou) à 1081 à Lonkly pour les stations de 1960-2012. Quant aux stations dont les données s'étendent sur 27 ans, le nombre total de dépassements

varie de 153 à Allada et 353 à Aplahoué. Le plus petit nombre obtenu à Cotonou pourrait expliquer la part des pluies diluviennes ou de leurs cumules dans les inondations que connaît la ville chaque année. A l'échelle annuelle, le nombre de jours de pluie supérieure à un seuil a relativement augmenté depuis la reprise des pluies des années 80 et 90 sur toutes les stations (figures 3a et 3b pour les stations Toffo et Bohicon).

Tableau 2 : Seuils estimés et nombres moyens annuels de dépassements des pluies journalières extrêmes.

Stations	Seuil (mm)	Nombre annuel Moyen de dépassements
Abomey	28.6637	11
Adjohoun	29.4593	11
Bohicon	24.7631	14
Bopa	17.4973	14
Cotonou	37.9033	10
Grand-Popo	26.1533	13
Kétou	19.9214	18
Lonkly	19.8282	20
Ouidah	26.7354	13
Pobè	26.7554	13
Porto-Novo	22.3278	14
Toffo	28.8501	19
Zagnanado	29.4601	11
Allada	32.4667	5
Aplahoué	27.4348	12
Dogbo	18.7600	7
Lokossa	23.4727	7

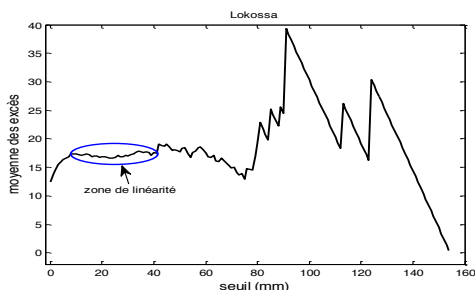


Fig.2a. Fonction moyenne des excès à Lokossa.

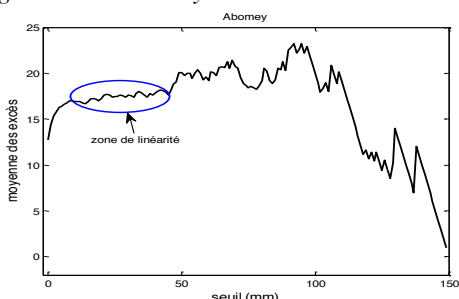


Fig.2b. Fonction moyenne des excès à Abomey.

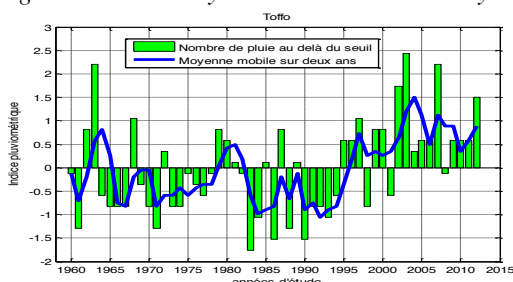


Fig.3a. Variation interannuelle du nombre de jours de pluie supérieure à 28.8501mm à Toffo.

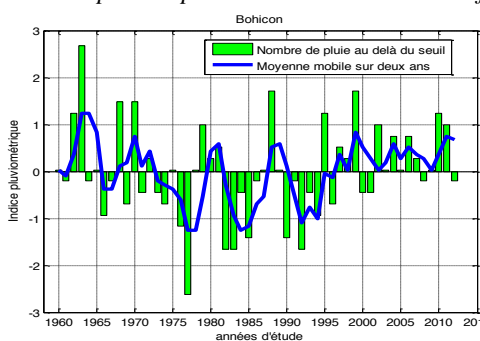


Fig.3b. Variation interannuelle du nombre de jours de pluie supérieure à 24.7631mm à Bohicon.

## II.2. Distribution statistique des pluies journalières supérieures à un seuil.

La qualité des données constituées détermine la pertinence des résultats. Les différents tests appliqués, indiquent que les séries de dépassements obtenues sont indépendantes et identiquement distribuées. En effet, le caractère aléatoire des hauteurs de pluie constituées est mis en évidence par le test de rang de Kendall et Stuart sur les différentes stations d'étude. De plus, aucune rupture significative n'est montrée par les tests de Pettitt et de Buishand. Les faibles taux de corrélations obtenues et l'égalité de la moyenne des deux sous échantillons avec le test de Wilcoxon au seuil de défaillance de 5% sur les différentes stations mettent en exergue l'indépendance et l'homogénéité des données dans la zone d'étude

Le tableau 3 montre les différents paramètres de la forme généralisée calculés par maximum de vraisemblance. Les paramètres de forme et d'échelle présentent une forte variabilité. Le signe significativement négatif du paramètre de forme obtenu, montre que les pluies journalières extrêmes de la zone d'étude n'appartiennent pas au domaine d'attraction de la loi de Gumbel. Ce résultat rejoint ceux de Chaouche (2001), S.A. Sisson et al. (2006), J.N. Bacro et A. Chaouche (2006), A. Muller et al. (2009) cités par Soro et al., 2016. Les plus fortes valeurs du paramètre d'échelle s'observent à Cotonou (94.6211 mm), Ouidah (75.0846 mm) et Zagnanado (76.8661mm) qui sont pour la plupart des stations proches de l'océan Atlantique. Ce paramètre exprime l'accroissement des pluies journalières extrêmes en fonction de la période de récurrence (Soro et al., 2016). Ce qui pourrait expliquer le risque élevé des inondations dans la zone côtière du sud Bénin. Les critères d'information Bayésien (BIC) et d'Akaike (AIC)

sont utilisés pour dégager la loi de la famille mettant en exergue la prédominance de la forme généralisée de Pareto au détriment de la loi exponentielle dans le Bénin subéquatorial. Le tableau 4 montre les quantiles de pluie estimés à Porto-Novo et Grand-Popo. Les quantiles de pluie estimés sur les différentes stations augmentent avec les années de retour comme sur l'ensemble de la Côte d'Ivoire (Soro *et al.*, 2016).

Tableau 3 : Les paramètres de forme, d'échelle et de position calculés par maximum de vraisemblance.

Stations	Paramètres		
	Forme (k)	Echelle ( $\alpha$ ) en mm	Position (u) en mm
Abomey	-0.4614	70.3436	28.6637
Adjohoun	-0.3620	69.1291	29.4593
Bohicon	-0.5304	68.8087	24.7631
Bopa	-0.4693	61.1771	17.4973
Cotonou	-0.4734	94.6211	37.9033
Grand-Popo	-0.3193	70.3235	26.1533
Kétou	-0.3784	60.0282	19.9214
Lonkly	-0.4222	62.6966	19.8282
Ouidah	-0.3430	75.0846	26.7354
Pobè	-0.4909	69.2816	26.7554
Porto-Novo	-0.3239	69.3378	22.3278
Toffo	-0.2655	61.7907	28.8501
Zagnanado	-0.5816	76.8661	29.4601
Allada	-1.2418	84.4452	32.4667
Aplahoué	-1.3911	70.6657	27.4348
Dogbo	-1.0931	65.0413	18.7600
Lokossa	-1.2740	100.6486	23.4727

Tableau 4 : Quantiles de pluies (en mm) obtenues avec la forme généralisée de la loi de Pareto à Porto-Novo et Grand-Popo.

Stations	Période de retour (ans)			
	6	10	30	100
Porto-Novo	190.7305	259.5497	452.4235	759.6473
Grand-Popo	196.1962	265.3515	458.4448	764.4198

## CONCLUSION

L'analyse des pluies du sud Bénin à partir d'un seuil donné a permis d'identifier plusieurs valeurs extrêmes par année d'étude. Ces valeurs extrêmes ont relativement augmenté sur les différentes stations d'étude avec la reprise de la pluviométrie depuis la fin des années 80 ou le début des années 90. Le paramètre de forme est significativement négatif sur les différentes stations d'étude. La forme généralisée des lois de Pareto estime mieux les séries de pluies journalières extrêmes sur la période de 1960 à 2012. La plupart des valeurs élevées du paramètre d'échelle est obtenue sur des stations proches de l'océan Atlantique, montrant ainsi le risque élevé des inondations sur la côte béninoise.

Dans le contexte actuel de changement climatique, la grande inconnue qui demeure est l'évolution future de l'intensité et de la fréquence de ces événements pluvieux surtout que les travaux du GIEC évoquent l'intensification des paramètres climatiques dans le futur dans plusieurs régions du monde. L'élaboration et la mise en œuvre des schémas d'expansion de nos villes doivent prendre en compte le risque climatique par nos décideurs à travers des mesures idoines de prévention et d'adaptation. Il devient donc impérieux de développer des outils de prévision et de simulation des crues.

## REFERENCES

- Acero F.J., Gracia J.A. et Gallego M.C. (2011) - Peaks-over-threshold study of trends in extreme rainfall over the Iberian Peninsula. *Journal of Climate*, vol. 24, n° 4, p. 1089-1105.
- Adewi E., K. M. S. Badameli et V. Dubreuil (2010), Evolution des saisons des pluies potentiellement utiles au Togo de 1950 à 2000, *Climatologie*, 7, 92-94.
- Akaike, H. (1974). A new look at statistical model identification. *IEEE Trans. Auto. Control*, 19 :716–722.
- Alain I. AGUE et Abel AFOUDA, 2015. Analyse fréquentielle et nouvelle cartographie des maxima annuels de pluies journalières au Bénin. *International Formulae Group*. All rights reserved. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i1.12>
- Anadia Niger, 2014. Manuel de la base de données des inondations.
- Brahim Habibi et al. 2012. Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales Cas du Bassin Chott-Chergui. *Nature & Technologie*, 41-48.
- Beirlant, J., Goegebeur, Y., Teugels, J. & Segers, J. (2004). *Statistics of Extremes: Theory and Applications*, Wiley, England.
- Beirlant, J. & Guillou, A. (2001). Pareto index estimation under moderate right censoring. *Scand. Actuar. J.*, 2, 111-125.
- Coles, S. (2001). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Bristol, UK: Springer, 221 p.
- Daniel Gellens (2002). Combining regional approach and data extension procedure for assessing GEV distribution of extreme precipitation in Belgium. *Journal of Hydrology* 268 (2002) 113–126.
- Gneneyougo Émile Soro, Amidou Dao, Vamoryba Fadika, Tié Albert Goula BI et Bernard Srohorou, 2016. Estimation des pluies journalières extrêmes supérieures à un seuil en climat tropical : cas de la Côte d'Ivoire. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 2016, volume X.
- Goubanova Katerina, Une étude des événements climatiques extrêmes sur l'Europe et le bassin

- Méditerranéen et de leur évolution future. Thèse de Doctorat, UNIVERSITÉ de PARIS 6, 119P.
- Hangnon, H., de Longueville, F., Ozer, P., 2015. Précipitations "extrêmes" et inondations à Ouagadougou ; quand le développement urbain est mal maîtrisé. Presented at the Actes du 28e Colloque.
- Hountondji, Y., De Longueville, F., Ozer, P., 2011. Trends in extreme rainfall events in Benin (West Africa), 1960-2000. Presented at the Proceedings of the 1st International Conference on Energy, Environment and Climate Change. [hdl.handle.net/2268/96112](http://hdl.handle.net/2268/96112).
- Inondation au Bénin - Rapport d'évaluation des Besoins Post Catastrophe. Préparé par le Gouvernement de la République du Bénin avec l'appui de la Banque Mondiale et du Système des Nations Unies. Rapport Final Avril, 2011.
- Koutsoyiannis D, Baloutsos G. 2000. Analysis of a long record of annual maximum rainfall in Athens, Greece and design rainfall inferences. *Natural Hazards (Dordrecht)*, 22(1): 29-48.
- Koutsoyiannis D. 2004a. Statistics of estimation of extreme rainfall: I. Theoretical of investigation. *Journal des Sciences Hydrologiques*, 49(4) : 575-590.
- Lawin A. E., Analyse climatologique et statistique du régime pluviométrique de la haute vallée de l'Ouémé à partir des données pluviométriques Amma-CATCH Bénin, thèse de Doctorat, Institut Nationale Polytechnique de Grenoble et l'Université d'Abomey-Calavi.
- Neppel L., Bouvier C., Vinet F., Desbordes M., 2003. Sur l'origine de l'augmentation apparente des inondations en région méditerranéenne, *Revue des Sciences de l'Eau*, 16, 475-493.
- Ozer, P., 2012. Les risques naturels. Articuler risques, planification d'urgence et gestion de crise. Editions de Boeck, 135p.
- Ozer, P., Bodart, C., Tychon, B., 2005. Analyse climatique de la région de Gouré, Niger oriental : récentes modifications et impacts environnementaux. *CyberGeo : European Journal of Geography*. [cybergeo.revues.org/3338](http://cybergeo.revues.org/3338). Consulté le 23/09/2016.
- Panthou, G., 2013. Analyse des extrêmes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et de leur évolution au cours des 60 dernières années. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, France, 270p.
- Pickands J. (1975) - Statistical Inference Using Extreme Order Statistics. *Annals of Statistics*, vol. 3, n° 1, p. 119-131.
- 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.
- H. Saidi, M. Ciampittello, C. Dresti, and G. Ghiglieri. Observed variability and trends in extreme rainfall indices and Peaks-Over-Threshold series. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 10, 6049-6079, 2013
- SENE, S. & OZER, P., 2002. Evolution pluviométrique et relation inondations-événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la société géographique de Liège*, 42:27-43.
- Tschakert, P., 2007. Views from the vulnerable: Understanding climatic and other stressors in the Sahel". *Global Environmental Change*. Vol. 17. n°: 3-4, p. 381-396.
- WMO, 2009. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. World Meteorological Organization, Genève, 52p.