

**CARACTERISATION DE LA PLUVIOMETRIE DU BASSIN
VERSANT DE L'OUEME AU BENIN : ETABLISSEMENT DES
COURBES INTENSITE-DUREE-FREQUENCE DES
PRECIPITATIONS**

Taofic BACHAROU^{1,2}, Moudachirou ADJIBOICHA¹,
Gérard A. GBAGUIDI^{1,2}, Gossou HOUINOU¹, Eléna ORLOVA¹

¹ Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau (LSTE) 01 BP 2009 Cotonou (Bénin); ²Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée (LEMA)
e-mail : taofic@yahoo.fr, ingmoud@gmail.com.

The present work has for objective the survey of the features of the rainfall observed on the Ouémé's basin and the establishment of the Intensity-Duration-Frequency curves (IDF) of the precipitations very used in the conception of the hydraulic works and Civil Engineering. The extreme annual daily rainfalls of 37 rainfall stations of Benin installed on the Ouémé's basin have been analyzed on the period 1971-2010. Then, they have been adjusted to an extreme value law selected among the laws of Jenkinson and Gumbel according to the Kolmogorov-Smirnov test. These tests permitted to regionalize the laws of adjustment in distinct two zones of application: the law of Jenkinson appears more adequate to the zone South while the law of Gumbel suits the North zone of Benin better; what makes notice the non consistency of the exclusive use of the law of Gumbel at the time of the studies of conception of hydraulic works on the whole territory. The evaluation of the quantiles relative of daily rain to the period's back 2, 5, 10, 20, 50 and 100 years revealed that the maximal heights of water of rare frequency are observed at the Cotonou-Airport station on the Coastline and the maximal heights of water weakest in Ina's region to the North of Benin. The determination of the influence zones, climatic exponents of every station and the quantiles of maxim daily rains permitted to define the heights of rain of short lengths to act as basis to the establishment of the curves local IDF by means of the models of Montana, Talbot and Keifer -Chu. In conclusion; the model of Talbot, having a stronger physical and probabilistic basis than the classic Montana formula used for the modeling of the IDF curves, is more adequate.

KEY WORDS: basin, rain, intensity, duration, frequency, curves.

1. Introduction

Le Bénin à l'image des pays de l'Afrique de l'Ouest est soumis à des climats qui font la transition entre les climats équatoriaux humides et les climats tropicaux secs et a connu une alternance de périodes sèches et humides depuis le début du XXème siècle (Le Borgne, 1990; Paturel et al., 1995). L'analyse des composites sec et humide du signal pluviométrique montre que le déficit pluviométrique des années sèches est surtout marqué après le «saut de mousson». De même, les années sèches se caractérisent par un retrait précoce de la mousson qui semble avoir débuté à partir de 1970. Par ailleurs, les années après 1970 connaissent un décalage des pics de précipitations de 18 jours environ. Ces pics sont atteints précocement (Afouda et al., 2011).

De nombreux travaux ont été consacrés à travers le monde (Koutsoyiannis & Baloutsos, 2000; Koutsoyiannis, 2004a,b; Bouvier *et al.*, 2005) à l'étude des caractéristiques de la pluviométrie.

En Afrique de l'Ouest, les relations Intensité Durée Fréquence (IDF) de précipitations ont fait l'objet de plusieurs études (Brunet-Moret, 1967; Mounis et Masongi, 1974; Oyebande, 1982; Puech et Chabi-Gonni 1984). Au Bénin, les seules études qui ont été menées sont celles d'ORSTOM (Puech et Chabi-Gonni 1984) pour le CIEH. L'approche probabiliste utilisée est basée sur la loi de Gumbel et le modèle d'établissement des courbes IDF est celui de Montana. Cependant, des auteurs (Koutsoyiannis, 2003; Barco *et al.*, 2006) ont remis en cause la prédominance de la loi de Gumbel pour l'ajustement des séries de données et l'utilisation de la loi de Montana pour la construction des courbes IDF. Sisson *et al.*, (2006) Muller *et al.*, (2008) ont montré que la loi GEV (General Extreme Value) est plus adaptée pour la modélisation des maxima annuels des précipitations dans les régions concernées par les études. Monhymont *et al.* (2006) ont préconisé le rejet du modèle de Montana au profit de modèles avec des paramètres ayant chacun une dimension physique qui favorise le changement d'échelle pour une optimisation non linéaire éventuelle. En outre, le manque de moyens au niveau de la plupart des stations pluviométriques du bassin de l'Ouémé, pose des problèmes de fiabilité des résultats et des difficultés d'actualisation des données.

La première partie de la présente étude des caractéristiques de la pluviométrie observée sur le bassin versant de l’Ouémé est l’estimation des pluies exceptionnelles journalières très utilisées dans la conception des aménagements hydrauliques et de Génie Civil. Les pluies journalières maximales annuelles de 37 postes pluviométriques du Bénin installés sur le bassin versant de l’Ouémé ont été analysées sur la période 1971–2010. Ensuite, elles ont été ajustées à une loi de valeur extrême sélectionnée parmi les lois de Jenkinson et de Gumbel suivant le test de Kolmogorov-Smirnov, (Bacharou et al., 2013).

2. Données et méthodes

2.1. Sources et traitement des données

La méthodologie consiste à l’ajustement d’une loi statistique aux maxima annuels, à la détermination des quantiles et à leur modélisation au moyen de formules empiriques d’Intensité-Durée-Fréquence via une régression non linéaire des quantiles.

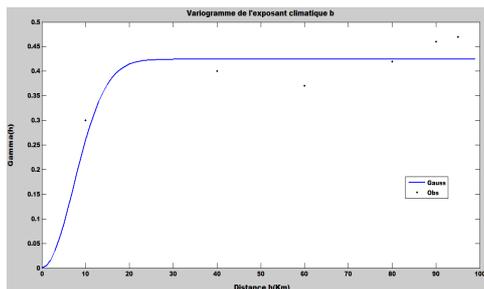
2.2. Méthodes

Hauteurs de pluie de courtes durées et les intensités de pluie correspondantes.

Notre objectif est la régionalisation de l’exposant climatique. Toute la difficulté y réside car nous ne disposons que de 6 stations pluviométriques équipées en pluviographes. En réalité, la construction des courbes (IDF) à partir de la série des pluies maximales journalières d’une station, n’est qu’une approximation en absence des données exactes car, les intensités les plus importantes sont enregistrées pendant des intervalles de temps courts (Llamas, 1993). Des pas de temps de 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 et 180, 360 min sont utilisés pour tracer les courbes Intensité-Durée-Fréquence. La durée des averses sur le bassin de l’Ouémé se situe à une moyenne de 180 min avec une pointe de 10 à 15 min (ASECNA, 2010). La modélisation mathématique a permis d’établir une relation fonctionnelle de type puissance (Dagnellie, 1992) entre l’intensité moyenne maximale probable et l’exposant climatique b . Pour chacune des stations étudiées, 6 exposants climatiques sont connus (tableau N°2) ce qui reste très insuffisant pour la régionalisation. La zone d’étude étant étendue, le nombre de stations disposant d’un exposant climatique reste faible. La représentativité des stations reste encore insuffisante pour l’élaboration d’une carte de l’exposant climatique. L’exposant climatique des autres stations est défini par la méthode de Krigeage originellement développée pour des applications en géostatistique et est, en théorie, la meilleure méthode d’interpolation linéaire dans le sens où elle minimise la variance d’interpolation (Krige, 1951; Gratton, 2002).

La fonction de structure de l’exposant climatique ou variogramme expérimental est identifiée pour connaître le poids en chaque point de géoréférencement (Chauvet, 1999). Quatre modèles sont testés, le linéaire, sphérique, exponentiel et gaussien dont les résultats sont présentés dans le Tableau 1. La minimisation de l’erreur type a permis d’identifier le modèle gaussien comme étant le meilleur (Graphique n°1). La fonction de la répartition spatiale de l’exposant climatique b suivant la distance h séparant les points de calcul donnée par le modèle gaussien est la suivante:

$$\gamma(h) = 0.424 \left[1 - e^{-\left(\frac{1.732h}{17.8}\right)^2} \right], \quad (1)$$



Graphique n° 1 : Variogramme expérimental de l’exposant climatique b

L’estimation de la hauteur de pluie de courte durée d et de son intensité s s’est fait en se basant sur les travaux de Dagnellie. La hauteur de pluie de durée d est déterminée grâce aux quantiles des différents temps de retour estimés précédemment.

$$P_d(T) = P_{jmax}(T) \times \left(\frac{d}{24}\right)^b. \quad (2)$$

Où : $P_d(T) = P_{jmax}(T)$ est la hauteur de plus de durée d (mm), donnée par le quantile estimé de temps de retour T (mm) ; b : exposant climatique de Body; d (h): durée de la pluie.

L’intensité est obtenue en connaissant $P_d(T)$ par la formule :

$$i_d(T) = \frac{P_d(T)}{d} \text{ (mm/h)}, \quad (3)$$

$i_d(T)$: Intensité de pluie de durée d et de temps de retour T .

Modèles empiriques des courbes Intensité-Durée-Fréquence : Les modèles Intensité – Durée-Fréquence sont des équations empiriques représentant la relation entre les intensités

maximales de pluie (variable dépendante) et autres paramètres d'intérêt comme la durée et fréquence de pluie (variables indépendantes). La littérature hydrologique comporte plusieurs

Tableau N°1 : Calcul des accroissements pour le variogramme

Type de modèle	Portée	Palier	Pépite	Erreur type
Linéaire	99.45	0.8980	0	0.0022
Sphérique	99.45	0.8980	0	0.0025
Exponentiel	99.45	0.8980	0	0.0025
Gauss	17.80	0.4240	0	0.0013

formulations qui permettent de générer des courbes Intensité-Durée-Fréquence. Dans cette étude, trois équations empiriques sont proposées pour l'établissement des courbes IDF de précipitations sur le bassin versant de l'Ouémé :

$$\text{Modèle de Montana : } i(T) = \frac{a(T)}{a\eta(T)} \quad (\text{Koutsoyiannis } et al., 1998), \quad (4)$$

$$\text{Modèle de Talbot : } i(T) = \frac{a(T)}{[d+\theta(T)]\eta(T)} \quad (\text{Mohymont } et al., 2006), \quad (5)$$

$$\text{Modèle de Keifer-Chu : } i(T) = \frac{a(T)}{a\eta(T)+\theta(T)} \quad (\text{Garcia-Bartual } et al., 2001). \quad (6)$$

Où $i(T)$ désigne l'intensité moyenne des précipitations (mm/h) pour une période de retour T (années); d est la durée des précipitations (min); a , θ et η sont les paramètres d'ajustement ou les paramètres climatiques locaux. Le paramètre θ est exprimé en min.

Pour déterminer les paramètres des différentes équations empiriques IDF, une régression non linéaire est appliquée sur les quantiles empiriques estimés. La valeur des différents paramètres est obtenue au moyen de la minimisation de la somme des racines carrées des erreurs quadratiques moyennes (RMSE).

3. Résultats et Discussion

3.1. Estimation des pluies exceptionnelles

Les tests d'adéquation ont permis de régionaliser les lois d'ajustement en deux zones d'application distinctes : la loi de Jenkinson paraît plus adéquate à la zone Sud tandis que la loi de Gumbel convient mieux à la zone Nord du Bénin et au régime de montagne ; ce qui fait remarquer la non cohérence de l'utilisation exclusive de la loi de Gumbel lors des études de conception d'ouvrages hydrauliques sur l'ensemble du territoire (Bacharou et al., 2013).

L'estimation des quantiles de pluie journalière relatifs aux périodes de retour 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans ont révélé que les hauteurs d'eau maximales de fréquence rare sont observées à la station Cotonou-Aéroport sur le Littoral et les hauteurs d'eau maximales les plus faibles dans la région de Ina au Nord du Bénin, (Bacharou et al., 2013).

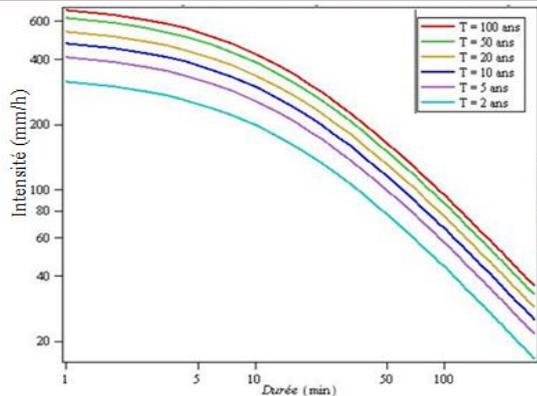
3.2. Courbes Intensité-Durée-Fréquence de précipitations

Les relations d>IDF établies au moyen du modèle empirique de Montana sont des séries de droites parallèles à l'échelle bi-logarithmique alors que la loi IDF sous jacente aux quantiles empiriques présente normalement une courbure. Ces séries de droites parallèles ne représentent pas correctement l'aspect fini d'une intensité instantanée. Ce résultat est confirmé par Monhymont *et al.* (2006) au niveau de la station de Yamgambi (Congo) et par Minh Nhat *et al.* (2006) au niveau de la station de Hanoi (Vietnam).

Cependant, le modèle de Montana est préconisé par certains auteurs dont Réménérias (1972) et constitue une référence au Bénin pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques des villes (CIEH, 1985). Les relations d>IDF obtenues au moyen des modèles de Talbot et Keifer-Chu respectent l'aspect fini de l'intensité instantanée.

4. Conclusion

Cette étude a permis l'établissement des courbes Intensité-Durée-Fréquence sur le bassin versant de l'Ouémé. Il a été montré, en appliquant différents tests statistiques, que les valeurs maximales annuelles des précipitations sur le bassin versant de l'Ouémé suivent les fonctions de distribution GEV et de distribution Gumbel, avec une légère prédominance de la distribution GEV. Ce résultat démontre que l'approche statistique basée uniquement sur la loi Gumbel et utilisée habituellement au Bénin, n'est pas adéquate aux maxima annuels des précipitations sur le bassin versant de l'Ouémé et montre qu'une régionalisation est possible. La loi GEV conviendrait mieux pour le Sud et la loi de Gumbel pour le Nord du bassin de l'Ouémé.



Graphique N°2 : Courbes IDF obtenues au moyen du modèle de Talbot à la Station de Cotonou-aéroport

Tableau 2: Valeurs des paramètres des modèles empiriques pour une période de retour de 10 ans et la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE%).

stations	Paramètres des modèles d'établissement des courbes IDF pour une période de retour de 10 ans									RMSE (%)		
	Modèle de Montana		Modèle de Talbot			Modèle de Keifer-Chu			Montana	Talbot	Keifer-Chu	
	a	η	a	η	θ	a	η	θ				
ABOMEY	278,22	0,419	1641,50	0,8178	14,3	2455,60	0,8852	12,7	11,75	3,78	3,82	
ADJOHOUN	449,45	0,4985	2585,80	0,8711	15,4	3100,60	0,8957	12,3	12,89	4,29	4,68	
AGOUNA	302,28	0,5054	1252,30	0,7745	17,1	2010,70	0,8491	13,7	9,89	3,33	3,52	
ALLADA	200,43	0,4042	1254,10	0,8031	16,9	1900,90	0,8694	14	8,57	2,88	3,02	
BANTE	218,41	0,3916	1324,60	0,7926	15,4	1875,00	0,844	11,5	10,49	3,37	3,67	
BEMBEREKE	201,53	0,3794	1653,30	0,8479	17,6	2031,40	0,8743	13,1	10,98	2,92	3,27	
BETEROU	214,80	0,3916	1628,60	0,8366	17,9	2082,10	0,87	13,4	10,31	3,04	3,37	
BIRNI	206,85	0,4171	1617,90	0,8505	20,8	2002,20	0,8775	15,4	8,02	2,64	2,94	
BOHICON	289,88	0,4223	1801,40	0,8286	15,2	2531,80	0,883	12,8	11,58	3,77	3,89	
BONOU	285,88	0,4324	1745,30	0,8293	15,7	2337,40	0,873	12,4	10,80	3,60	3,88	
COTONOU AEROPORT	955,63	0,5453	6165,20	0,9582	13,6	6609,30	0,9682	12,9	23,11	6,75	6,89	
COTONOU PORT	392,46	0,421	2971,30	0,8861	14,6	3228,20	0,8908	10,9	18,12	4,67	5,32	
COTONOU VILLE	548,31	0,4827	3859,60	0,9204	14,7	4331,60	0,9362	12,9	17,15	5,00	5,28	
DASSA-ZOUME	298,92	0,419	2020,90	0,8451	15,7	2687,50	0,8892	13	12,62	3,83	4,06	
DJOUGOU	301,06	0,419	2055,40	0,8471	15,8	2657,20	0,8852	12,7	12,71	3,84	4,14	
GOUKA	284,27	0,4323	1751,90	0,8311	15,8	2398,30	0,8798	12,9	10,75	3,57	3,79	
INA	224,81	0,4898	1986,40	0,9165	25	1879,10	0,8938	16,9	7,17	2,15	2,47	
KALALE	286,54	0,419	1900,30	0,8413	15,5	2402,50	0,874	11,9	12,10	3,70	4,06	
KETOU	289,21	0,419	1993,70	0,849	15,9	2488,90	0,8796	12,3	12,21	3,67	4,03	
KOKORO	285,95	0,4328	1981,50	0,8518	17,3	2406,00	0,8759	12,9	11,00	3,32	3,72	
KOUANDE	219,51	0,3916	1916,80	0,8642	19,5	2280,10	0,8849	14,6	10,54	2,97	3,32	
NIAOULI	330,27	0,3936	2502,30	0,8588	14,8	3108,00	0,89	11,9	18,02	4,54	4,90	
NIKKI	205,35	0,4042	1307,00	0,8064	17,1	1936,00	0,8681	13,9	8,78	2,93	3,11	
OKPARA	320,12	0,4061	2351,00	0,8572	15,5	2918,20	0,8877	12,3	15,31	4,20	4,57	
OUESSE	305,56	0,4461	1716,50	0,8172	15,9	2358,70	0,8649	12,4	10,57	3,76	4,06	
PARAKOU	530,94	0,5337	2801,80	0,8765	15,2	3019,50	0,8783	10,8	13,69	4,58	5,19	
PENESSOULOU	225,18	0,3794	1934,00	0,857	18,1	2463,00	0,892	14,5	12,27	3,21	3,49	
PIRA	689,06	0,6153	2740,90	0,864	14,3	3208,80	0,8829	10,9	18,82	4,92	5,48	
POBE	290,65	0,4061	2476,20	0,8868	17	2919,80	0,89	13,9	13,90	3,59	3,90	
PORTO-NOVO	567,20	0,4827	3993,30	0,9204	14,7	4480,90	0,9362	12,9	17,74	5,17	5,46	
SAKETE	264,97	0,4323	2142,60	0,8848	18,7	2468,80	0,9014	14,6	10,02	3,01	3,34	
SAVALOU	322,74	0,4062	2776,40	0,8887	17,1	3539,40	0,9285	15,5	15,44	3,97	4,10	
SAVE	272,52	0,4495	1658,90	0,8331	17,2	2488,10	0,9009	15,6	8,98	3,19	3,23	
SEME	744,89	0,4961	5682,20	0,9633	13,8	5726,10	0,9596	12,3	22,88	5,99	6,40	
TOFFO	291,97	0,4323	2091,30	0,8609	17,4	2825,40	0,9096	15,3	11,03	3,46	3,60	
TOUI	264,01	0,446	1625,90	0,8354	16,9	2553,80	0,9137	16,4	9,14	3,03	3,10	
ZAGNANADO	280,63	0,4323	1812,90	0,8405	16,3	2773,20	0,9142	15,7	10,61	3,46	3,42	

L'utilisation du modèle empirique de Montana dit « classique » ne paraît pas adéquate pour l'établissement des courbes IDF. Le choix s'est finalement porté sur le modèle de Talbot présentant les plus faibles erreurs et donnant une famille de courbes parallèles.

Références

- 1- Afouda, A., Lawin, A. E., Lebel, T. (2011). Analyse de la variabilité du Régime pluviométrique dans la région agricole d'Ina au Bénin. *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216X, vol.50 No.3, pp.425-439
- 2- Aka, A. A., Servat, E., Patrel, J. E., Kouamé, B., Lubès, H. & Masson, J. M. (1996). Analysis of the temporal variability of runoff in Ivory Coast: statistical approach and phenomena characterization. *Hydrol. Sci J.* 41(6), 959-970.

- 3- Bacharou T., Adjiboicha M., Adjovi E., Houinou G., Orlova E., (2013) Estimation des pluies exceptionnelles journalières en zone tropicale: cas du bassin versant de l'Ouémé au Bénin par comparaison des lois de Jenkinson et de Gumbel; Experimental research. *Structural Mechanics of Engineering Construction and Buildings*, n°4. p. 63-71
- 4- Bouaïchi, I., Touaïbia, B., Dernouni, F., (2006). Approche méthodologique de calcul du débit pluvial en cas d'insuffisance de données. cas de la région de Tipaza, Algérie. *Proceedings of the AMHY-FRIEND International Workshop on Hydrological Extremes*, University of Calabria, Cosenza (Italy), May 3-4.
- 5- Brunet-Moret, Y. (1967). Etude des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. *Publications ORSTOM-CIEH*, 15 p.
- 6- Dagnellie, P., (1992). Statistique théorique et appliquée. Tome 1, *Presses agronomiques de Gembloux*, Belgique.
- 7- Guo, A., (1990). A discussion on unbiased plotting positions for the extreme value distribution. *Journal of Hydrology*, 121(1-4), 33-44.
- 8- Haché, M., Perreault, L., Rémillard, L. & Bobée, B. (1999). Une approche pour la sélection des distributions statistiques: application au bassin hydrographique du Saguenay-Lac St-Jean. *Rev. Can. Génie Civ.* 26(2), 216–225.
- 9- Hosking, J. R. M., Wallis, J. R., Wood, E.F., (1985). Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability-weighted moments. *Technometrics*, 27:251-261, 1985.
- 10-Koutsoyiannis, D. (2004). Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: I. Theoretical investigation. *Hydrol. Sci. J.* 49(4), 575–590.
- 11-Koutsoyiannis, D., (2004). Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: II. Empirical investigation of long rainfall records. *Hydrol. Sci. J.* 49(4), 591–610.
- 12-Lubes, H., Masson, J.M., (1991). Méthode des moments de probabilité pondérés : Application à la loi de Jenkinson. *Hydrol. continent.*, ml. 6, n° 1 : 67-84
- 13-Mohyont, B., Demarée, G.R., (2006). Courbes intensité-durée-fréquence des précipitations de Yangambi, Congo, au moyen de différents modèles de types Montana. *Hydrol. Sci. J.*, 51(2).
- 14-Mounis, H., Mansongi, M., (1974). *Note provisoire sur les pluies exceptionnelles de faible durée en Afrique Occidentale et Centrale*. CIEH, 8p.
- 15-Puech, C. & Chabi-Gonni, D. (1984). Courbes hauteur de pluie-durée-fréquence en Afrique de l'Ouest pour des pluies de durée 5 mn à 24 heures. *Série hydrologique (CIEH)* Janvier.

ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ ВОДОРАЗДЕЛА УЭМЭ В БЕНИНЕ: ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ ИНТЕНСИВНОСТЬ-ВРЕМЯ-ЧАСТОТА КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ

Таофик Баширу, Мудаширу Аджибойша, Жерар А. Гбагуди, Госсу Хуйну, Елена Орлова

Цель данной работы - изучение особенностей режима осадков, наблюдаемых на водоразделе Уэмэ и построение диаграмм «интенсивность-время-частота количества осадков», широко используемых в проектировании гидроузлов и других сооружений. Максимальные годовые количества осадков в 37 пунктах наблюдения в Бенине, установленных на водоразделе Уэмэ были проанализированы за период 1971-2010гг. Далее, они были скорректированы по закону предельного значения, выбранного среди законов Дженкинсона и Гумбеля по тесту Колмогорова-Смирнова. Эти тесты позволили локализовать законы в двух различных областях применения: закон Дженкинсона кажется более адекватный, на южной области, в то время как закон Гумбеля лучше подходит для Северной зоны Бенина. Это показывает несогласованность эксклюзивного применения закона Гумбеля в процессе проектирования гидротехнических сооружений на всей территории страны. Оценка квантилей ежедневного количества осадков, относящихся к периодам возврата 2, 5, 10, 20, 50 и 100 лет показала, что максимальная глубина воды с редкой частотой наблюдается на станции Котону-Аэропорт на побережье и максимальная глубина воды самых низких в регионе Ина на Севере Бенина. Определение зон влияния, климатических показателей каждой станции и квантилей максимальных ежедневных осадков позволили определить высоту осадков на короткий срок, чтобы служить основой для построения диаграмм «интенсивность-время-частота» для местности с помощью моделей Монтана, Гальбота и Кейфер-Чю. В заключение, модель Гальбота, имеющая более твердые физические и вероятностные основы, чем классическая формула Монтана, используемая для моделирования диаграмм «интенсивность-время-частота», является более адекватной.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водораздел, осадки, интенсивность, продолжительность, частота, диаграмма «интенсивность-время-частота».