

European Journal of Scientific Research

ISSN: 1450-216X / 1450-202X

Volume 107 No 3 July, 2013

Editors-in-Chief

Lillie Dewan, National Institute of Technology

Co-Editors

Chanduji Thakor, Gujarat Technological University

Claudio Urrea Oñate, University of Santiago

Editorial Board

Maika Mitchell, Columbia University Medical Center

Prabhat K. Mahanti, University of New Brunswick

Parag Garhyan, Auburn University

Morteza Shahbazi, Edinburgh University

Jianfang Chai, University of Akron

Sang-Eon Park, Inha University

Said Elnashaie, Auburn University

Subrata Chowdhury, University of Rhode Island

Ghasem-Ali Omrani, Tehran University of Medical Sciences

Ajay K. Ray, National University of Singapore

Mutwakil Nafi, China University of Geosciences

Felix Ayadi, Texas Southern University

Bansi Sawhney, University of Baltimore

David Wang, Hsuan Chuang University

Cornelis A. Los, Kazakh-British Technical University

Teresa Smith, University of South Carolina

Ranjit Biswas, Philadelphia University

Chiaku Chukwuogor-Ndu, Eastern Connecticut State University

M. Femi Ayadi, University of Houston-Clear Lake

Emmanuel Anoruo, Coppin State University

H. Young Baek, Nova Southeastern University

Dimitrios Mavridis, Technological Educational Institute of West Macedonia

Jerry Kolo, Florida Atlantic University

Mohamed Tariq Kahn, Cape Peninsula University of Technology

Publication Ethics and Publication Malpractice Statement

Duties of Editors

Confidentiality—Editors of the journal must treat received manuscripts for review as confidential documents. Editors and any editorial staff must not disclose any information about submitted manuscripts to anyone other than the corresponding author, reviewers, other editorial advisers, and the publisher.

Equal Treatment—Editors of the journal must evaluate manuscripts for their intellectual content and their contribution to specific disciplines, without regard to gender, race, sexual orientation, religious belief, ethnic origin, citizenship, or political philosophy of the authors.

Contents

A New Method to Locate License Plate in Color Images	311-321
Maha Ghayem	
A State of Art Review of Dispersive Soils: Identification Methods Perspective.....	322-328
Hassan Shoghi, Mahmoud Ghazavi, Sina Kazemian and Hossein Moayed	
Predictors of Hepatitis B Vaccine Acceptance among Nigerian Primary Health Care Workers	329-340
Abdulraheem IS, Tobin-West CI, Amodu MO and Salami SK	
FPGA Implementation of Matrix-Vector Multiplication for Image Processing Application.....	341-345
A. Senthil Rajan	
Design and Simulation of a Coded OFDM Modulation Technique Based on Discrete Wavelet Transform	346-354
Saad Saffah Hreshee and Defaf Talal Shakir	
Analyse Fréquentielle des Séries de Pluies et Débits Maximaux de L'ouémé et Estimation des Débits de Pointe	355-369
Avahounlin Ringo. F, Lawin Agnidé Emmanuel, Alamou Eric Chabi Amédée and Afouda Abel	
Employee Compensation Management in Nigerian Organisations: Some Observations and Agenda for Research	370-378
Obisi, C, Uche, C.B.N and Ifekwem, N.E.	
Strategic Orientation, Survival and Development of Trade Unionism and Trade Unions: An Inward Looking Approach.....	379-383
Chris Obisi, Francis C. Anyim, Uche, C.B.N and Ifekwem, N.E.	
Iran's Transition to Learning Economy: Exploring the Intervening Role of Information and Communication Technology	384-399
Seyyed Hamid Khodadad Hoseini, Behnam Abdi, Alireza Hassanzadeh and Ali Mohammad Ahmadi	
Application des Réseaux de Neurones Artificiels de Type PMC Pour la Prédiction des Teneurs en Carbone Organique dans Les Dépôts du Quaternaire Terminal de la Mer d'Alboran.....	400-413
Abdellah EL Hmaidi, Hicham EL Badaoui, Abdelaziz Abdallaoui and Bouchta EL Moumni	

Analyse Fréquentielle des Séries de Pluies et Débits Maximaux de L'ouémé et Estimation des Débits de Pointe

Avahounlin Ringo. F

LHA: Laboratoire d'Hydrologie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques (FAST)

Université d'Abomey Calavi (UAC), BP: 526 Cotonou,

Bénin CIPMA: Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications

(CIPMA-CHAIRE UNESCO), 072 BP: 50 Cotonou, Bénin

E-mail: allouboss@gmail.com

Lawin Agnidé Emmanuel

LHA: Laboratoire d'Hydrologie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques (FAST)

Université d'Abomey Calavi (UAC), BP: 526 Cotonou, Bénin

CIPMA: Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications

(CIPMA-CHAIRE UNESCO), 072 BP: 50 Cotonou, Bénin

Alamou Eric

LHA: Laboratoire d'Hydrologie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques (FAST)

Université d'Abomey Calavi (UAC), BP: 526 Cotonou, Bénin

CIPMA: Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications

(CIPMA-CHAIRE UNESCO), 072 BP: 50 Cotonou, Bénin

Chabi Amédée

CIPMA: Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications

(CIPMA-CHAIRE UNESCO), 072 BP: 50 Cotonou, Bénin

Afouda Abel

LHA: Laboratoire d'Hydrologie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques (FAST)

Université d'Abomey Calavi (UAC), BP: 526 Cotonou, Bénin

CIPMA: Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications

(CIPMA-CHAIRE UNESCO), 072 BP: 50 Cotonou, Bénin

Résumé

L'objectif de ce travail consiste à étudier à l'échelle du bassin de l'Ouémé (situé entre les latitudes 7°58N et 10°12N et les longitudes 1°35E et 3°05E avec une superficie de 46.920 Km² à l'exutoire de Bonou) les débits de pointe et les précipitations maximales annuelles en vue d'une estimation des quantiles hydropluviométriques. Premièrement, à partir des chroniques de données hydropluviométriques, des séries de précipitations maximales journalières P_{\max} et des débits de pointe Q_{\max} ont été générés et une analyse fréquentielle a été faite. A ces séries sont ajustées différentes lois de probabilité de valeurs extrêmes (loi logNormale 3, loi log Pearson type 3, et loi Gumbel). Les quantiles relatifs à chaque série ont été analysés ainsi que leur distribution spatiale. Par ailleurs, il est dégagé, à partir de la corrélation entre la superficie des sous bassins et les quantiles hydrologiques observés, une relation de type puissance qui permet d'estimer les débits de pointe à l'échelle du bassin de l'Ouémé. Les valeurs des critères de performance entre les débits

estimés et les observations ont permis de confirmer la formulation mathématique permettant d'estimer les débits de pointe et de conclure que les résultats obtenus servent d'indicateur pour la détermination des quantiles hydrologiques maximaux indispensables pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques et la localisation des zones à risques hydrologiques à l'échelle du bassin de l'Ouémé.

Motsclés: Précipitations maximales, débit de pointe, bassin de l'Ouémé, quantiles hydrologiques, analyse fréquentielle.

Abstract

This research aims to study at the Oueme river basin scale (area of 46,920 km², situated between 7°58N to 10°12N latitude and 1°35E to 3°05E longitude), the annual flow and rainfall peaks for quantile estimation. From hydrological data, the set of the maximum daily rainfall and flow peaks are generated and their frequencies are analyzed. Different probability distributions of extreme values (logNormal type 3, log Person type 3 and Gumbel) are adjusted to these sets and their quantiles and spatial distributions are also analyzed. Furthermore, the relationship between sub basins surface and observed hydrological quantiles is founded to be power function and realistic for flow peaks estimation at the Ouémé river basin scale. The performance criteria values confirm the objectivity of the mathematical formulation of the flow peak variation. Therefore, the results of this study can be used in hydraulic structures dimensioning and hydrological risk area determining on the Ouémé river basin.

Keywords: Maximal daily rainfall, peak flow, Ouémé basin, hydrological quantile, frequency analysis

1. Introduction

Les conséquences potentielles des changements climatiques sont, entre autres, des accroissements d'événements ou de situations hydrométéorologiques qui, jusqu'à maintenant, se présentent par de fortes précipitations ou des périodes de sécheresse prolongée. La variation globale de la pluviosité, l'excès et sa mauvaise répartition temporelle ou spatio-temporelle sur plusieurs années a eu des répercussions importantes, au plan hydrologique et agronomique, mais aussi économique, social, voire politique (Boko, 1988). L'une des conséquences les plus préjudiciables à l'économie est la non-validité des normes hydrologiques devant permettre le dimensionnement des ouvrages. Il est donc nécessaire de rechercher une méthode permettant d'analyser les maxima hydropluviométriques afin de disposer d'outils de gestion fiable. En effet la gestion rationnelle des ressources en eau à l'échelle des bassins en général et des écosystèmes en particulier nécessite une bonne connaissance de la variabilité des régimes hydrologiques surtout en période de crise liée aux événements de crue ou d'étiage (Sourisseau and Galéa, 1996). Dans les régions tropicales sèches d'Afrique de l'Ouest, la mise en valeur des ressources en eau pour l'agriculture et l'élevage par le biais des petits aménagements hydro-agricoles, requiert une bonne connaissance des régimes hydrologiques et en particulier les caractéristiques des crues exceptionnelles pour prévenir les risques de destruction des aménagements hydrauliques et des récoltes. Par ailleurs, une bonne connaissance des régimes hydrologiques permet de mieux estimer les apports volumétriques annuels pour mieux dimensionner les ouvrages de stockage et déterminer leur potentiels à contribuer au développement et à la satisfaction des besoins des populations (Alamou, 2011).

Partant du principe selon lequel l'on gère un risque d'autant mieux que l'on s'y est préparé, il est nécessaire pour prévenir toute situation de crise, de chercher à mieux comprendre et à quantifier les régimes hydrologiques des petits bassins versants ; ce qui permet de disposer d'une meilleure estimation des paramètres hydrologiques de ces bassins et de ceux non encore jaugés ou ne possédant pas de données hydrologiques suffisantes. C'est pourquoi dans l'optique d'aider les gestionnaires des bassins au Bénin à disposer d'une meilleure connaissance des extrêmes hydrologiques à l'échelle de l'Ouémé, ce travail se propose de faire une analyse fréquentielle des débits de pointe et des précipitations maximales, d'évaluer les relations entre quantiles hydrologiques maximaux et les caractéristiques physiographiques des bassins et, enfin, de formuler un modèle permettant l'estimation des débits de pointe.

2. Données et Méthodes

2-1. Cadre D'étude et Données

Le bassin de l'Ouémé (figure 1) couvre une superficie de 46.920 km² à la station hydrométrique de Bonou, pour une longueur de 523 km (Le barbé et al., 1993) et s'étend entre les latitudes 7°58N et 10°12N et les longitudes 1°35E et 3°05E (Totin et al., 2007).

Le régime pluviométrique, principalement contrôlé par la circulation atmosphérique de deux masses d'air et par leurs mouvements saisonniers (l'harmattan et la mousson), se caractérise par trois types de climat du bimodal au sud à l'unimodal dans la partie nord en passant par une phase de transition au centre (Le Barbé et al., 1993). Les moyennes annuelles de précipitation (1960 – 2010) sont de 1204,77 mm au poste pluviométrique de Bétérou et de 1098,40 mm à celui de Savè.

A l'échelle du bassin, les eaux souterraines constituent la principale source d'approvisionnement en eau de la population. Le renouvellement de cette ressource dépend directement de l'infiltration efficace des précipitations, qui elle, résulte évidemment des précipitations totales, mais aussi de leur intensité, leur durée, et leur répartition dans le temps et dans l'espace. La zone considérée pour cette étude est surtout dominée par le socle cristallin et ne favorise pas l'alimentation des populations à partir des ressources en eau souterraines. D'où l'importance de l'étude des débits du cours d'eau indispensable pour la connaissance de la disponibilité en ressources en eau superficielles.

Les données utilisées dans le cadre de la présente étude concernent les séries de débits et précipitations (au pas de temps journaliers). Ces séries sont issues des bases de données du Service d'Hydrologie de la Direction Générale de l'Eau au Bénin (DG Eau) et de l'Observatoire Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé (OHHVO) pour ce qui concerne les débits puis de la Direction Nationale de la Météorologie du Bénin (DNM) pour ce qui concerne les précipitations. Au total 18 postes pluviométriques et 23 stations hydrométriques ont été considérés sur la période de 1960 à 2010.

Carte topographique au 1/200 000 de la région de Niamey, Niger. La carte illustre le réseau hydrographique principal (Sahel, Niger, Benue) et les zones d'étude. Les coordonnées géographiques sont indiquées sur les bords. Des symboles indiquent les postes pluviométriques, les stations hydrométriques et les stations OVHHO. Une légende et une échelle sont fournies.

Source: Fond de carte topographique au 1/200 000 IGN, 1963

La disponibilité de bonnes estimations d'évènements hydrologiques extrêmes (telles que les crues et les étiages) est indispensable pour bien accomplir différentes activités d'ingénierie telle que la conception des structures hydrauliques, la gestion de la qualité de l'eau et de l'habitat ou la prévention des inondations. Pour améliorer ces estimations, de nombreuses méthodologies ont été développées durant ces dernières années (Gréhys, 1996a). Chokmani et Ouarda (2004) ont proposé une approche connue sous le nom de « krigeage canonique ». Celle-ci consiste à interpoler les quantiles de crues à l'intérieur d'un espace mathématique construit à l'aide des caractéristiques physiographiques et météorologiques des bassins versants des sites jaugés. De là, ils ont montré que cette méthode est aussi performante que les techniques conventionnelles d'estimation régionale les plus établies, telles que l'analyse canonique des corrélations (Ouarda et al., 2001). Gréhys (1996b, 1996c), dans une étude comparative a montré qu'au niveau de l'estimation régionale, la méthode de l'indice de crue (Darlymple, 1960) et les méthodes d'analyse des régressions (Nguyen et Pandey, 1996; Ouarda et al, 2006) sont pratiquement équivalentes et conduisent à des estimations meilleures aux autres méthodes. Aux côtés de toutes ces méthodes, l'analyse fréquentielle reconnue comme étant une méthode

statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné afin d'en définir les probabilités d'apparition future (Musy, 2003), est la méthode la mieux utilisée en hydrométéorologie pour estimer les extrêmes hydropluviométriques. Elle permet d'obtenir des estimations quand l'information hydrologique est disponible au site d'intérêt et est de bonne qualité. Dans le cadre de la présente étude, l'analyse fréquentielle a été appliquée aux séries chronologiques des débits (m³/s) et des pluies (mm).

A partir des échantillons constitués, on choisit la forme mathématique de la loi de probabilité et on calcule le mieux possible les paramètres numériques de la loi. L'ajustement statistique est réalisé par l'intermédiaire du logiciel HYFRAN (HYdrological FREquency ANalysis) de la chaire industrielle en hydrologie statistique de l'INRS-ETE. Les différentes étapes de l'ajustement de loi à un échantillon effectuées par le logiciel HYFRAN sont brièvement présentées ci-après.

Vérification des Hypothèses

L'ajustement d'une distribution à un échantillon nécessite que les observations soient indépendantes (l'indépendance signifie qu'il n'y a aucun lien entre les observations successives (absence d'auto-corrélation), identiquement distribuées ou homogènes (l'homogénéité des valeurs des observations permet d'émettre l'hypothèse qu'elles sont toutes issues de la même population) et stationnaires (la distribution des échantillons est dite stationnaire si les caractéristiques statistiques sont invariantes dans le temps et dans l'espace. La non stationnarité est en particulier caractérisée par un changement brusque ou graduel dans la moyenne).

Distribution et Méthodes D'ajustement

Dans le cadre de l'ajustement statistique des différentes séries, les lois les plus appropriées ont été choisies a priori. Différentes méthodes existent pour ajuster les distributions statistiques aux échantillons. Dans la littérature les auteurs proposent, plusieurs lois comme fonction de distribution des valeurs extrêmes et appliquées aux séries chronologiques. On peut citer la loi Gumbel, les lois normales, la loi exponentielle, les lois Gamma, la loi GEV, les lois Pearson. Ces différentes lois font partie du domaine d'attraction de la loi GEV (Alamou, 2011), d'où la nécessité de mieux en préciser les relations. Nous avons ici testé pour chacune des séries constituées, les lois Gumbel, logNormale et Pearson dont les distributions sont respectivement représentées par les équations 1, 2 et 3 ci-après :

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[-\frac{x-m}{\alpha} * \exp \left(\frac{x-m}{\alpha} \right) \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

$$f(x) = \frac{1}{(x-m)\beta\sqrt{2\pi}} * \exp \left[-\frac{[\ln(x-m)-\alpha]^2}{2\beta^2} \right] \quad (\text{Eq. 2})$$

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-m}{\alpha} \right)^{\beta-1} * \exp \left[-\left(\frac{x-m}{\alpha} \right) \right] \quad (\text{Eq. 3})$$

avec, m : paramètre de position (mode)

α : paramètre d'échelle positif différent de zéro

β : paramètre de forme positif différent de zéro

et, $\Gamma(\beta) : \sum_0^{\infty} \left[\left(\frac{x-m}{\alpha} \right)^{\beta-1} * e^{\left(\frac{x-m}{\alpha} \right)} \right]$: fonction Gamma complète

Les principales méthodes d'estimation des paramètres de lois statistiques ont été utilisées pour estimer les paramètres des différentes lois de probabilité. Il s'agit de la méthode des moments puis du maximum de vraisemblance. La méthode des moments consiste à évaluer les moments théoriques de la distribution (qui sont fonction des paramètres) et leurs estimations obtenues à partir de l'échantillon. La résolution du système d'équations qui en résulte permet ensuite d'obtenir les différents paramètres

de la loi. La méthode du maximum de vraisemblance fait intervenir une fonction de vraisemblance L définie par :

$$L = \prod_{i=1}^N f(x_i; \theta_1, \dots, \theta_k) \quad (\text{Eq 4})$$

$$f(x_i) dx_i = P[x_i \subseteq X \subseteq x_i + dx_i]$$

Elle consiste ensuite à trouver les paramètres θ qui maximisent la fonction de vraisemblance, soit la probabilité d'observer l'échantillon (x_1, \dots, x_N) qui représente la meilleure information disponible sur la population. Pour l'ajustement statistique, la méthode des moments est associée à la loi de Gumbel, tandis que la méthode du maximum de vraisemblance est appliquée aux lois de Pearson type III, et la loi LogNormale.

Une fois les ajustements effectués, l'observation des courbes d'ajustement montre que celles qui s'étendent vers l'extrémité s'ajustent mieux comparativement aux autres. Toutefois les ajustements ont ensuite été contrôlés a posteriori afin d'écarter tout ajustement peu adapté à la série d'observations. Ce contrôle est effectué au moyen des critères de parcimonie AIC et BIC (Eq.5) définis par :

$$AIC = -2 \log(L) + 2K$$

$$BIC = -2 \log(L) + 2K \log(N) \quad (\text{Eq 5})$$

Avec, L : la vraisemblance ;

K : le nombre de paramètres de la loi ;

N : la taille de l'échantillon.

Il faut signaler que ces critères permettent de retenir la loi pour laquelle leurs valeurs restent la plus petite pour une probabilité à postériori plus élevée.

2-3. Interpolation Spatiale des Quantiles Hydropluviométriques

L'interpolation spatiale des quantiles a été faite par la méthode du krigeage ordinaire (Matheron, 1965, 1971; Cressie, 1993) qui suppose la moyenne du processus inconnue. Les bases de la méthode reposent sur le calcul et la modélisation de la fonction de structure spatiale (γ) ou variogramme du processus.

• Calcul du variogramme

Soit un processus bidimensionnel représenté par une fonction aléatoire (F.A.) ϕ prenant la valeur $\phi(x)$ au point x puis la valeur $\phi(x+h)$ en un point situé à la distance h du point x . Le variogramme γ est alors calculé par l'éq.6 qui exprime que le variogramme est l'accroissement quadratique moyen entre deux points séparés d'une distance h .

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E \left[(\phi(x+h) - \phi(x))^2 \right] \quad (\text{Eq. 6})$$

En hydrométéorologie, dans la pratique, compte tenu du nombre limité de points de mesures (stations), le calcul du variogramme (variogramme expérimental (γ_e)) se fait (Eq. 7) par la moyenne quadratique empirique sur l'ensemble de tous les points distants approximativement de h , formant la classe h .

$$\gamma_e(h) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} \left[(\phi(x+h) - \phi(x))^2 \right] \quad (\text{Eq. 7})$$

Où N_h représente le nombre de couples de stations (i, j) telles que la distance les séparant est donnée par:

$$h_{ij} = \|x_i - x_j\| \in \left[h \pm \frac{\Delta h}{2} \right] \quad (\text{Eq. 8})$$

Avec Δh le pas de découpage des classes.

Chaque classe a été représentée par son centre et un modèle de variogramme est ajusté au variogramme brute par la méthode automatique des moindres carrés.

• **Interpolation des données**

L'interpolation est faite en utilisant le variogramme modélisé. Des points de grille régulière ont été considérés. L'estimation des valeurs est faite de la façon suivante:

Soit un point x_0 où la F.A. ϕ a la valeur $\phi(x_0)$ inconnue. La valeur inconnue est estimée par $\phi^*(x_0)$ comme une somme pondérée des valeurs observées ou mesurées (Eq. 9) aux N_s points choisis (voisinage) du réseau d'observation par :

$$\phi^*(x_0) = \sum_{j=1}^{N_s} \lambda_j \phi(x_j) \quad (\text{Eq. 9})$$

Où λ_j représente le poids de pondération de la valeur observée au point x_j .

Les poids de pondération λ_j sont déterminés en résolvant le système de krigeage (Eq. 10) qui découle des conditions d'optimalité et de non biais du krigeage (Matheron, 1971).

$$\sum_{j=1}^{N_s} \lambda_j \gamma(h_{ij}) + \mu = \gamma(h_{0i}) \quad ; \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_s \quad (\text{Eq. 10})$$

$$\sum_{j=1}^{N_s} \lambda_j = 1$$

Où μ est le multiplicateur de Lagrange. Dans ce travail, nous avons adopté le voisinage global pour l'interpolation. Une fois les poids de pondération déterminés on déduit les valeurs estimées par krigeage.

3. Résultats et Discussions

3-1. Analyse Fréquentielle des Précipitations et Débits de Pointe

A partir des séries chronologiques de données hydropluviométriques, les maxima journaliers de chaque année de la période $P_{j\max}$ et $Q_{j\max}$ ont été constitués. Les statistiques descriptives de ces séries sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1: Statistiques descriptives des séries constituées

	Postes pluviométriques					
	min	max	moy	Ecart-type	Médiane	Cv
Kouandé	11,5	172	82,1	27,5	81,3	0,334
Birni	17,1	144	73,2	26,4	76,8	0,36
Djougou	21,2	147	77,9	20,6	75,5	0,264
Bembèrèkè	42	141	76,6	19,2	76,1	0,25
Ina	29,4	147	71,9	20,6	71,5	0,287
Parakou	44,8	176	87	28,9	81,3	0,332
Bétérou	35,5	144	78	19,9	76,9	0,256
Bassila	40,9	129	73,5	19,2	73	0,261
Tchaourou	28,9	155	73	24,2	76,2	0,332
Toui	43,4	130	75,7	21,8	72,3	0,287
Bantè	36,3	162	81,5	24,7	75,5	0,304
Savalou	27,4	177	87,8	32,3	81,1	0,367
Savè	45,1	184	81,5	27,7	78,1	0,34
Dassa	30,4	177	87,5	28,8	81,6	0,329
Bohicon	38,8	129	81,2	20,9	83,5	0,258
Zangnanado	48,2	131	78,2	20,4	73	0,261

Tableau 1: Statistiques descriptives des séries constituées - continued

Pobè	49,2	138	83,2	25,3	80,9	0,304
Bonou	38,6	153	76,1	23,6	68,7	0,311
Ouémé à Bétérou	38,2	776	382	173	408	0,452
Beffa à Vossa	0,535	210	81,3	58,9	83	0,725
Ouémé à Savè	74,2	1730	859	380	877	0,442
Zou à Atchérigbé	43,6	872	351	204	315	0,583
Zou à Domè	4,5	172	107	41,1	122	0,383
Ouémé à Bonou	109	1400	810	297	922	0,367

Pour vérifier le caractère stationnaire, d'indépendance et d'homogénéité des séries considérées, les tests de stationnarité de Kendall (Kendal et al, 1943; Aka *et al.*, Dao A., 2007) d'indépendance de Wald-Wolfowitz (Hache *et al.*, 1999) et d'homogénéité de Wilcoxon (Siegel, 1956) ont été appliqués. Les résultats de ces tests (Tableau 2) montrent que les différentes séries constituées sont indépendantes, homogènes et stationnaires.

Tableau 2: Valeurs des paramètres statistiques

Postes pluviométrique s	Test d'Indépendance		Test de Stationnarité		Test d'Homogénéité	
	U	P	K	P	W	P
Kouandé	2,07	0,0385	1, 37	0,172	1,97	0,0483
Birni	0,172	0,863	1,49	0,135	0,396	0,692
Djougou	0,294	0,769	0,233	0,816	0,28	0,779
Bembèrèkè	0,999	0,318	0,544	0,587	0,0388	0,969
Ina	0,955	0,339	1,98	0,0475	0,824	0,41
Parakou	1,01	0,313	1,19	0,235	1,87	0,061
Bétérou	1,43	0,152	1,29	0,198	1,56	0,118
Bassila	0,213	0,831	1,22	0,222	0,626	0,532
Tchaourou	0,479	0,632	0,331	0,74	0,22	0,826
Toui	1,17	0,244	0,443	0,658	0,379	0,705
Bantè	2,43	0,0152	0,715	0,474	0,2	0,841
Savalou	0,269	0,788	0,448	0,654	0,411	0,681
Savè	0,174	0,862	0,0753	0,94	0,379	0,705
Dassa	0,223	0,823	0,202	0,84	0,514	0,608
Bohicon	0,788	0,431	0,711	0,477	1,42	0,156
Zangnanado	0,494	0,621	1,56	0,12	1,46	0,145
Pobè	2,85	0,0044	0,0568	0,955	1,72	0,0859
Bonou	0, 306	0,76	0,509	0,611	0,84	0,401
Stations hydrométriques DGEau						
Ouémé à Bétérou	2,99	0,0028	0,0603	0,952	0,99	0,322
Beffa à Vossa	0,451	0,652	2,24	0,0252		
Ouémé à Savè	1,94	0,0522	0,055	0,956	1,14	0,254
Zou à Atchérigbé	0,412	0,681	0,303	0,762	0,287	0,774
Zou à Domè	1,9	0,0569	0,64	0,522	0,254	0,8
Ouémé à Bonou	2,41	0,0159	1,21	0,226	0,0106	0,992

Les séries ont été ensuite ajustées à différentes lois de probabilité. Les critères de parcimonie et le test de χ^2 ont permis de valider pour chaque série une loi de probabilité. A partir de la loi de probabilité validée, les valeurs des quantiles correspondant à chaque série ont été calculées (tableau 3). Pour la plupart des séries, les périodes de retour maximales encore significatives sont comprises entre $2n$ et $3n$, n étant le nombre d'observations (ici $n = 50$). Étant donné que pour les différentes stations

hydrométriques et postes pluviométriques, une série temporelle de 60 valeurs annuelles a été établie, les périodes de retour associées aux différentes lois seront donc 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans, 100 ans étant la limite de représentativité. De l'analyse des quantiles, on note une faible variation des valeurs observées de précipitations maximales. Les hauteurs moyennes de précipitations maximales de 97,1; 110,7 ; 123,1; 139,2 et 151,2 ont une période de retour respective de 5 ; 10 ; 20 ; 50 et 100. Quant aux quantiles de débits de pointe, ils sont fonction de l'aire drainée par le cours d'eau à l'échelle du sous bassin.

Tableau 3: Valeurs des quantiles de précipitations maximales et de débits de pointe observés

Quantiles observés							
Précipitations maximales (mm) de période de retour T							
Poste pluviométrique	Lois de probabilité	P₁₀₀	P₅₀	P₂₀	P₁₀	P₅	P₂
Kouandé	Gumbel	160	149	132	119	104	78,8
Birni	LogNormale (3p)	135	128	117	107	95,4	73,2
Djougou	LogNormale (3p)	133	125	114	105	94,5	76,3
Bembèrèkè	Gumbel	137	126	112	102	90,4	73,4
Ina	Gumbel	137	125	110	98,8	86,7	68,5
Parakou	Gumbel	178	162	141	125	108	82,3
Bétérou	LogNormale (3p)	133	125	114	104	93,9	76,2
Bassila	Gumbel	134	123	109	98,6	87,3	70,4
Tchaourou	Gumbel	149	136	118	105	90,5	69
Toui	Gumbel	144	132	116	104	91,4	72,2
Bantè	Gumbel	159	146	128	114	99,3	77,4
Savalou	Gumbel	189	171	148	130	111	82,5
Savè	Gumbel	168	153	133	118	101	77
Dassa	Gumbel	178	162	141	125	108	82,8
Bohicon	LogNormale (3p)	132	126	117	109	98,7	80,3
Zangnanado	Gumbel	142	131	116	105	92,9	74,8
Pobè	Gumbel	163	149	130	116	101	79,1
Bonou	Gumbel	150	137	120	107	93,1	72,2
Débit de pointe (m3/s) de période de retour T							
Stations hydrométriques	Lois de probabilité	Q₁₀₀	Q₅₀	Q₂₀	Q₁₀	Q₅	Q₂
Ouémé à Savè	Gumbel	1640	1580	1470	1350	1190	870
Ouémé à Bétérou	Gumbel	1030	918	772	659	541	364
Ouémé à Bonou	LogNormale (3p)	1690	1550	1350	1200	1040	773
Zou à Atchérigbé	LogNormale (3p)	835	793	718	640	535	327
Beffa à Vossa	Gumbel	266	234	191	158	124	71,6
Zou à Domè	Gumbel	236	214	184	161	137	101

Les répartitions spatiales des différents quantiles observés sont illustrées aux figures 2 et 3. Le tracé des courbes iso-valeurs a été obtenu de façon automatique par la méthode du krigeage. Les isohyètes obtenues varient peu à l'échelle du bassin. Toutefois de fortes valeurs sont obtenues entre les latitudes 7.5°N et 8.5°N (autour de Savè, Savalou et Dassa-Zoumé) d'une part et entre les latitudes 9.5°N et 10°N d'autre part (entre Tchaourou et Parakou). Ces zones correspondent respectivement aux régions de collines et de forêt. Les régions forestières sont le siège d'intense évapotranspiration faisant parfois objet de pluviométrie abondante. Les fortes valeurs de pluies enregistrées dans les régions de collines témoignent du rôle important de l'orographie dans les précipitations locales.

Quant aux débits de pointe, on note de très fortes variations des quantiles du Sud vers le Nord. Les lignes d'iso-valeurs presque parallèles vers le Nord se resserrent au Sud avec de forts écoulements.

Figure 2: Répartition spatiale des quantiles de précipitations maximales

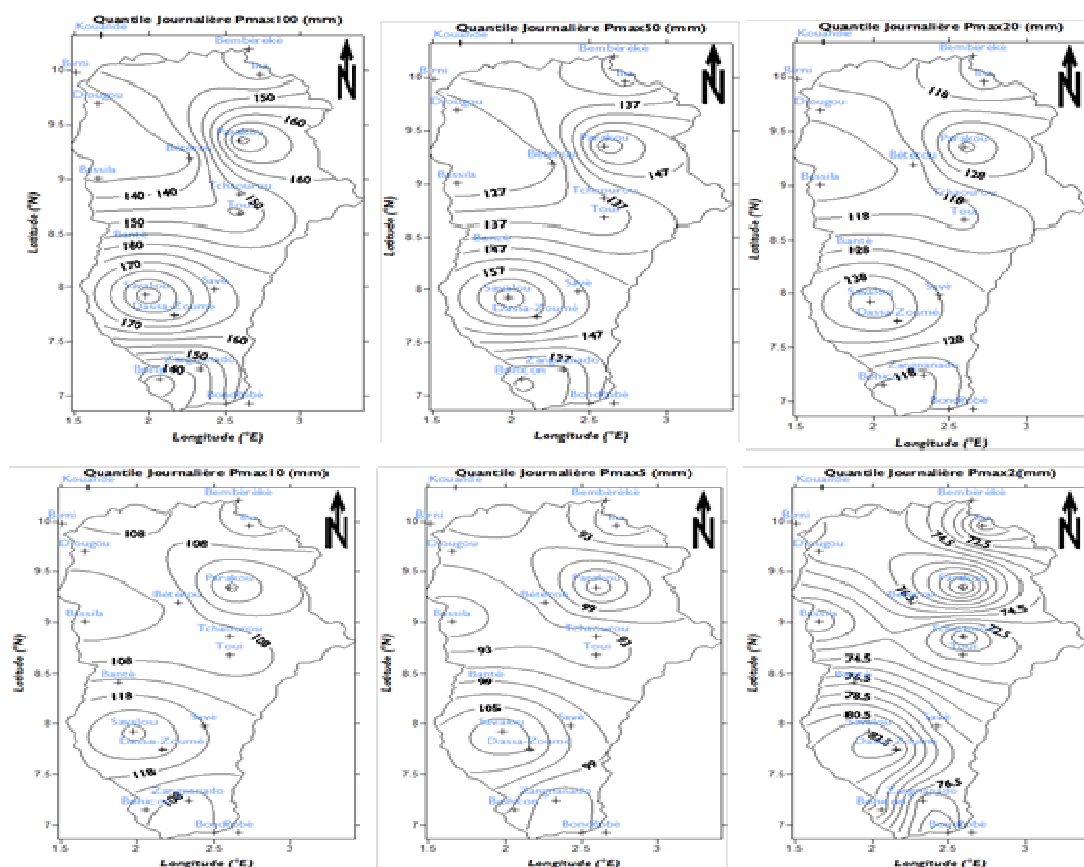
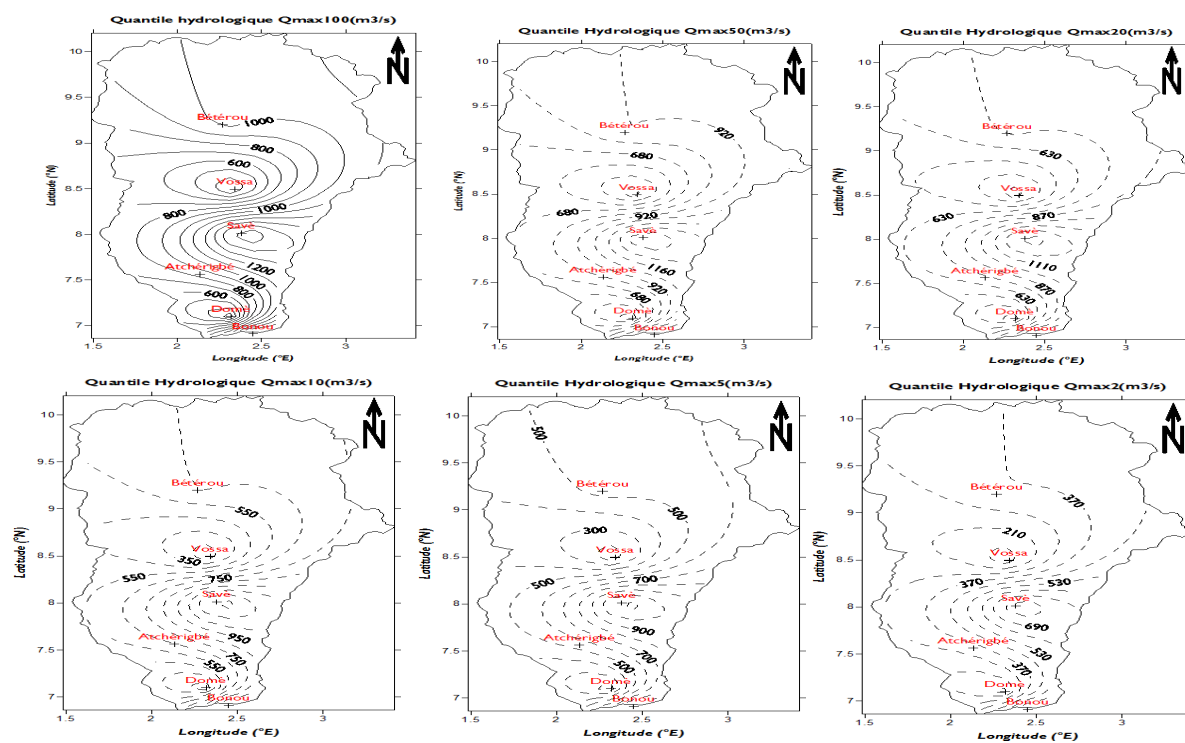


Figure 3: Distribution spatiale des quantiles des débits de pointe



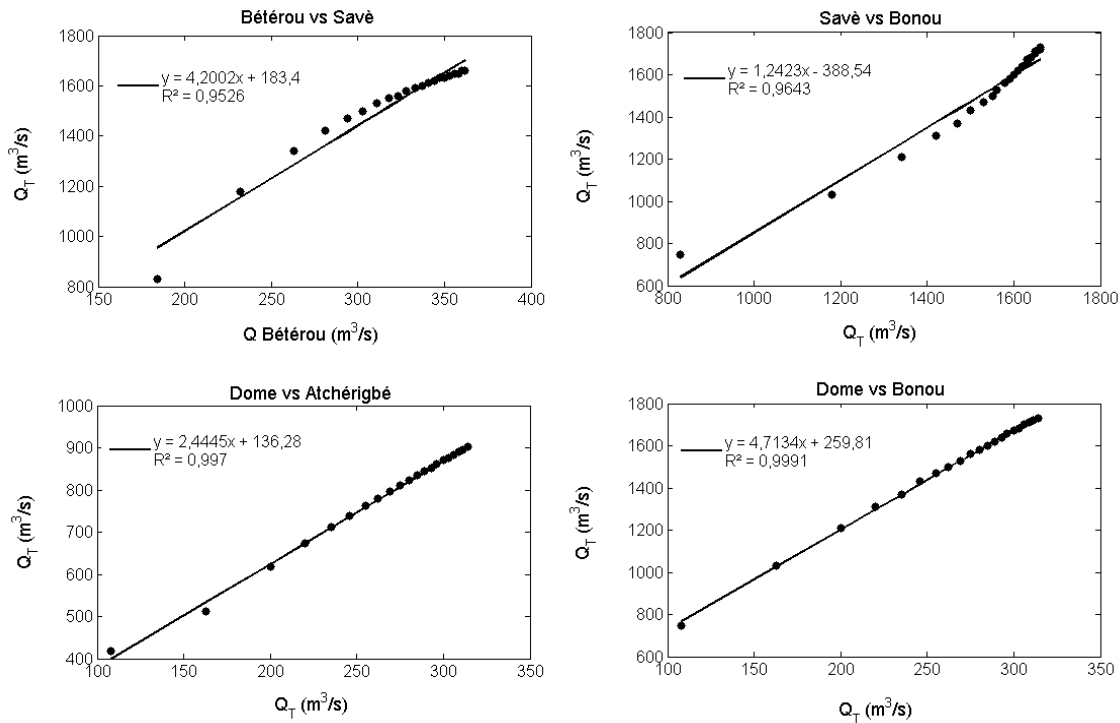
3.2. Estimation des Débits de Pointe

Détermination des Quantiles Hydrologiques

Afin de proposer une formulation mathématique permettant l'évaluation des quantiles hydrologiques Q_{\max} à l'échelle des bassins versants non jaugés ou ne disposant pas de données suffisantes, les relations entre quantiles hydrologiques et superficies des sous bassins sont établies. Ainsi, les relations existantes entre quantiles de débit de pointe d'un sous bassin à un autre d'une part et entre ces quantiles et les superficies des sous bassins sont analysées.

De très bonnes corrélations ont été obtenues entre quantiles de débit des différents sous bassins (Figure 4). Les quantiles observés d'un sous bassin jaugé peuvent donc être utilisés pour estimer ceux des autres sous bassins non jaugés de l'Ouémé ou des bassins similaires sur lesquels l'on ne dispose pas ou très de données.

Figure 4: Corrélation entre quantiles hydrologiques des différents sous bassins



Pour une estimation des débits de pointe à l'échelle des bassins versants non jaugés ou de ceux ne disposant pas de données suffisantes, il est dégagé une relation entre quantile observé et la superficie des différents sous bassins (Figure 5). Celle-ci est de type puissance et définie par : $Q_T = kS^\alpha$,

avec, Q_T : débit de pointe de période de retour T;

S: superficie du bassin;

K: coefficient numérique fonction de la période de retour T;

α : facteur d'échelle fonction de la période de retour T.

Les différentes valeurs de K et α sont consignées dans le tableau 4.

Tableau 4: Valeurs des paramètres k et α suivant les périodes de retour T

T (ans)	100	50	20	10	5
k	3,37	2,75	2,04	1,55	1,1
α	0,6	0,62	0,63	0,65	0,67

A partir de la formulation mathématique, les quantiles Qmax à l'échelle des sous bassins de l'ouémé ont été estimés et consignés dans le tableau 5 (valeurs en gras). Les quantiles obtenus sur les sous bassins de l'Ouémé à Savè, Bétérou et Atchérigbé sont sous-estimés alors qu'ils sont sur-estimés à Vossa, Bonou et Domé. Toutefois de bonnes corrélations ont été obtenues à l'échelle des différents sous bassins. Le coefficient de détermination R^2 , critère de performance calculé sur l'ensemble de la série estimée et pour tous les sous bassins confondus donne une valeur de 0,91 ; permettant de confirmer l'objectivité de la méthodologie utilisée pour quantifier les quantiles de débit à l'échelle de l'Ouémé.

Figure 5: Relation entre quantile hydrologique et superficies de sous bassins

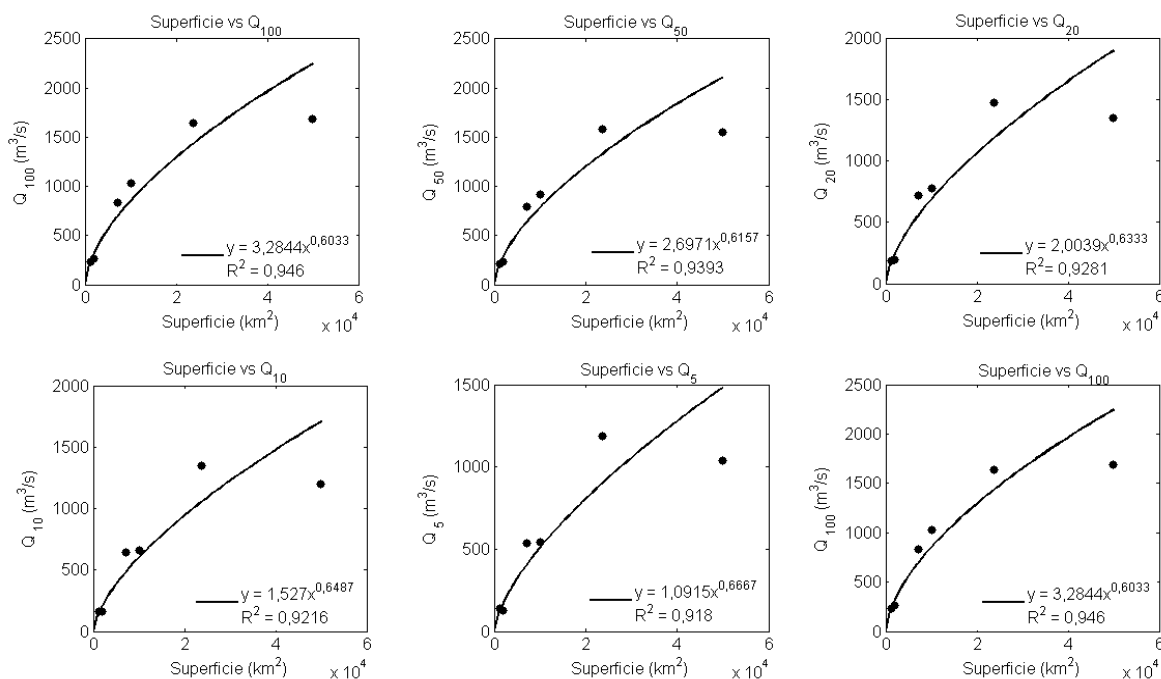


Tableau 5: Comparaison des débits de pointe estimés aux observations

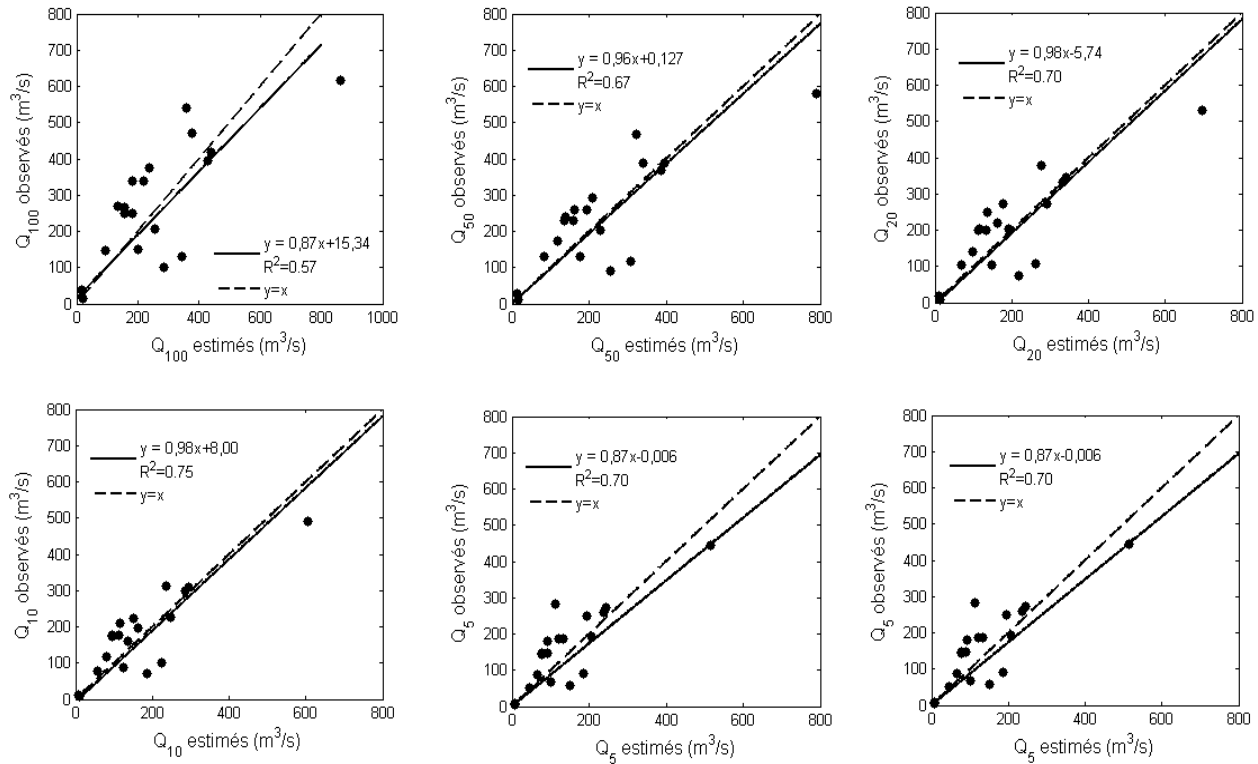
Stations	Quantiles				
	Qmax ₁₀₀	Qmax ₅₀	Qmax ₂₀	Qmax ₁₀	Qmax ₅
Savè	1640 1447,62	1580 1347,33	1470 1196,93	1350 1066,75	1190 914,31
Bétérou	1030 798,56	918 733,89	772 640,35	659 561,8	541 472,89
Bonou	1690 2264,44	1550 2127,7	1350 1915,93	1200 1727,84	1040 1501,21
Atchérigbé	835 699,67	793 641,21	718 557,25	640 487,195	535 408,44
Vossa	266 322,68	234 290,89	191 246,96	158 211,54	124 173,22
Domè	236 252,75	214 226,67	184 191,023	161 162,57	137 132,145

Application aux Bassins sous Jaugés

Compte tenu de l'objectivité de la méthodologie utilisée pour quantifier les extrêmes hydrologiques, les valeurs des quantiles des bassins sous jaugés de l'OHHVO, bassin sur lesquels l'on ne dispose pas de données suffisantes (données sur 6 à 11 ans) sont estimées. Au total 17 sous bassins (de superficie

comprise entre 12,3 et 3283 Km²) composent cet observatoire. Nous disposons des données de débits journaliers sur la période de 1996 à 2007. De ces dernières sont extraites des séries de débits de pointe auxquelles est ajustée la loi Gumbel. Malgré la taille réduite de la série (série inférieure à 20 ans) pour une analyse fréquentielle, les quantiles ont été calculés à titre indicatif. Les différents quantiles observés corrélés avec ceux estimés au moyen de la formulation mathématique montrent (Figure 6) de bonnes corrélations avec un coefficient de détermination égale en moyenne à 0,70.

Figure 6: Corrélation entre quantiles hydrologiques estimés et les observations



Considérant un débit de pointe ($Q_{\max j}$) comme tout débit de période de retour T , on peut écrire

$$Q_{\max j} = K_m S^{\alpha_m};$$

avec, $Q_{\max j}$: débit de pointe (m³/s)

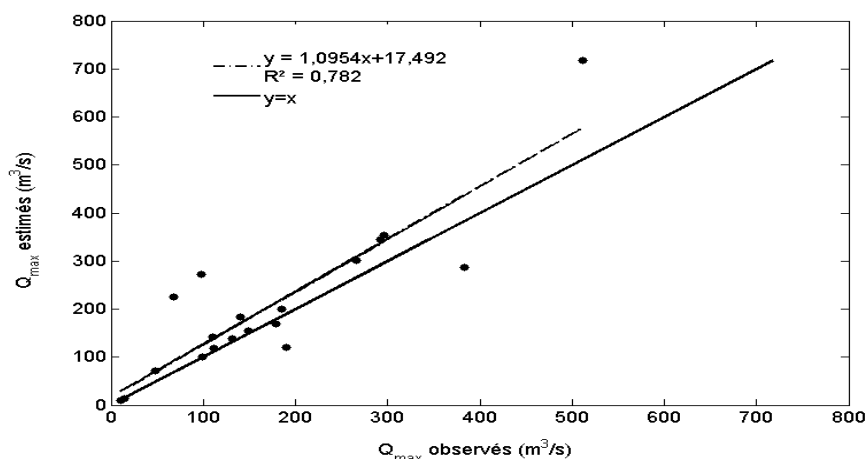
K_m : coefficient numérique fixé à 2,16

α_m : facteur d'échelle égal à 0,63.

De cette relation définitive sont estimés les débits de pointe qui, corrélés avec les observations (Figure 7), donnent un bon coefficient de détermination (0,78).

En plus du critère visuel d'évaluation et du coefficient de détermination, le critère de Nash-Sutcliffe habituellement utilisé en hydrologie a été sélectionné pour mesurer l'adéquation entre les valeurs estimées et les observations. La valeur de ce critère (0,76) témoigne de la qualité de l'estimation des débits de pointe et la formulation mathématique reste donc indiquée à générer à l'échelle du bassin de l'Ouémé les débits de pointe et les quantiles correspondants qui sont des paramètres très indispensables dans les travaux d'ingénierie et la localisation des zones à risques hydrologiques à l'échelle du bassin.

Figure 7: Corrélation entre débits maximaux estimés et les observations à l'échelle de l'OHHVO



4. Conclusion

Les extrêmes hydropluviométriques en l'occurrence les débits de pointe et les précipitations maximales journalières, sont étudiées à l'échelle de l'Ouémé à Bonou. L'analyse fréquentielle des échantillons montrent qu'aux différentes séries s'ajustent plusieurs lois de probabilité caractéristiques des valeurs extrêmes.

La répartition des quantiles obtenus montre une faible variation des isohyètes. Toutefois, de fortes valeurs de pluies sont obtenues entre les latitudes 7.5°N et 8.5°N d'une part, et entre les latitudes 9.5°N et 10°N d'autre part. Ces zones sont situées dans les régions de collines et de forêt, sièges d'intense évapotranspiration synonyme de pluviométrie abondante et sous influence de l'orographie. Quant aux quantiles hydrologiques, l'observation des iso-valeurs montre de très fortes variations du Sud vers le Nord où les courbes d'iso-valeurs presque parallèles vers le Nord se resserrent au Sud avec de forts écoulements traduisant une descente des eaux vers la partie méridionale souvent sujette à des inondations.

L'analyse des relations entre quantiles hydrologiques et les superficies des sous bassins montre de fortes corrélations. Il s'en dégage alors une formulation de type $Q_T = KS^\alpha$ où K (un coefficient numérique) et α (facteur d'échelle) sont des paramètres fonction de la période de retour. A partir de cette formulation les débits de pointe de période de retour T à l'échelle des sous bassins de l'Ouémé ont été estimés. Le coefficient de détermination R^2 obtenu (0.91) sur l'ensemble de la série estimée permet de confirmer l'objectivité de la méthodologie adoptée pour quantifier les quantiles de débit à l'échelle du bassin de l'Ouémé. Ce qui a permis d'estimer les quantiles hydrologiques correspondant aux sous bassins de l'OHHVO. Considérant tout débit comme un débit de période de retour T, les différents débits de pointe de ces sous bassins ont été générés par application de la formule mathématique identifiée $Q_{\max j} = K_m S^{\alpha_m}$ où $K_m = 2,16$ et $\alpha_m = 0,63$. L'analyse de la corrélation entre les valeurs générées et celles observées montrent un coefficient de corrélation de l'ordre de 0,78, et un coefficient de Nash de 0,76 ; valeurs significatives permettant de conclure que les résultats obtenus servent d'indicateur pour la détermination des quantiles hydrologiques maximaux indispensables pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques et la localisation des zones à risque hydrologique à l'échelle du bassin.

Références Bibliographiques

- [1] Aka A., Servat E., Paturel J.E., Kouamé B., and Lubes H. & Masson, J.M. (1996): Analysis of the temporal variability of runoff in Ivory Coast: statistical approach and phenomena characterization, Hydrological Sciences Journal, 41(6), 959–970.

- [2] Alamou, 2011 : Application du principe de moindre action à la modélisation pluie – débit, thèse de Doctorat, CIPMA Chaire UNESCO, Université d'Abomey Calavi, Bénin, 211p + annexes.
- [3] Boko M., 1988 : Climats et communautés rurales du Bénin. Rythmes climatiques et rythmes de développement. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, 2 tomes, 608p.
- [4] Chokmani, K. et Ouarda T.B.M.J., 2004: Physiographical space based kriging for regional flood frequency estimation at ungauged sites. *Water Resour. Res.*, 40, W12514, 16p.
- [5] Cressie N. (1993). *Statistics for Spatial Data*. Wiley, New York, USA, 900p.
- [6] Dao Amidou (2007). Etude des pluies journalières Extrêmes de la Côte d'Ivoire, Mémoire de DEA, 62p.
- [7] Darlymple T., 1960: Flood Frequency methods U.S. Geol. Surv. Water Supply Pap., 1543A, 11-51.
- [8] GREHYS (Groupe de Recherche en Hydrologie Statistique), 1996: Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis. *J. Hydrol.* 186, 63-84.
- [9] GREHYS, 1996a (Groupe de Recherche en Hydrologie Statistique, 1996a): Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis. *J. Hydrol.*, 186, 63-84.
- [10] GREHYS, 1996b (Groupe de Recherche en Hydrologie Statistique, 1996b) : Inter-comparison of regional flood frequency procedures for Canadian rivers. *J. Hydrol.*, 186, 85-103.
- [11] Hache M., Perreault L., Remillard L. & Bobée B., 1999: Une approche pour la sélection des distributions statistiques : application au bassin hydrographique du Saguenay Lac St Jean, *Revue Canadien de Génie Civil.* 26 (2), 216-225.
- [12] HYFRAN, 2003: A software for statistical modeling. INRS-Eau, University of Québec.
- [13] Le Barbé L., ALE G., Millet B., Texier., Borel Y., Gualde R. (1993) : Les ressources en eaux superficielles de la République du Bénin, édition de l'ORSTOM, Paris, France 540p.
- [14] Matheron G. (1965) Les variables régionalisées et leur estimation. Masson et Cie. Paris, France, 305p.
- [15] Matheron, G. (1971). Regionalized variables theory and its applications. Note book of mathematical morphology Centre, Fasc. 5, EMP. Paris, France, 212 p.
- [16] Musy A., 2003 : Hydrologie générale, support de cours, chapitre 3, les précipitations, 15p.
- [17] Nguyen V.T.V., Pandey G.R., 1996: A scaling approach to regional estimation of floods. *Proc. Int. Conf. Wat. Ressour. Env. Res.*, octobre 29-31, 301- 308.
- [18] Ouarda T.B.M.J., C. Girard, G. Cavadias et B. Bobée, (2001): Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis. *J. Hydrol.*, 254,157-173.
- [19] Ouarda, T.B.M.J., Cunderlik, J.M., St-Hilaire, A., Barbet, M., Bruneau, P., Bobée, B. (2006) Data-based comparison of seasonality-based regional flood frequency methods. *J. Hydrol.* 330, 329–339.
- [20] Siegel S. (1956): *Non-parametric statistics for the behavioral sciences.*, New York: McGraw-Hill, *J. Hydrol.* 83, 202-213
- [21] Sourisseau J., Galéa G. 1996 : Représentativité des modèles QdF, application à la régionalisation des régimes de crue du bassin versant de la Loire, Cemagref, groupement de Lyon- Division hydrologie hydraulique ; EPFL-IATE ; Ministère de l'Environnement- Division de l'Eau, IAHS.Publ.no.246, 1997, 277-285.
- [22] St-Hilaire A. 2005 : Analyse fréquentielle des précipitations des stations de Montréal et Shawinigan. Rapport de recherche R832 de l'INRS-ETE. 23p.
- [23] Totin V.S. Henri, Amoussou Ernest et Boko Michel, 2007 : Dynamique de la mousson ouest africaine, régime hydrologique et maîtrise de l'eau dans le bassin supérieur de l'ouémé, *Revue Climat et Développement*, N°4, Décembre 2007, 46.