

## Désagrégation stochastique de précipitations observées sur l'Observatoire Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé au nord Bénin, Afrique de l'Ouest

Médard Noukpo AGBAZO<sup>1\*</sup>, Sounmaïla MOUMOUNI<sup>3</sup>, Gabin KOTO N'GOBI<sup>2</sup>,  
Éric ALAMOU<sup>4</sup>, Basile KOUNOUHÉWA<sup>2</sup>, Étienne HOUNGNINO<sup>5</sup> et Abel AFOUDA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA-Chair Unesco, UAC)

<sup>2</sup> Laboratoire de Physique de Rayonnement (LPR), BP 526 UAC, Bénin

<sup>3</sup> Université de Parakou (ENS-Natitingou), Bénin

<sup>4</sup> Laboratoire Appliquée d'Hydrologie (LHA), BP 526 UAC, Bénin

<sup>5</sup> Laboratoire de physique de l'Atmosphère (LPA), BP 526 UAC, Bénin

\* Correspondance, courriel : [medardnoukpoagbazo@gmail.com](mailto:medardnoukpoagbazo@gmail.com)

### Résumé

Cette étude porte sur un réseau homogène de 14 pluviographes répartis en 4 zones. Pour ces 14 stations, nous disposons des pluies journalières de 1999 à 2012. L'objectif de cette étude est de construire un modèle de désagrégation temporelle des pluies de l'Observatoire Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé (OHHVO). L'expression de la fonction de structure que nous retenons pour la région d'étude est :  $\tau(q) = 0.5(1.03q^{0.51} + 0.47q + 0.49)$ . Le modèle de passage des moments des cumuls décennaux aux moments des cumuls journaliers construit, permet de bien estimer la valeur moyenne et l'écart-type des pluies journalières.

**Mots-clés :** *fonction de structure, model de désagrégation, des moments statistiques, OHHVO, Bénin, pluies.*

### Abstract

**Stochastic disaggregation of rainfall recorded in the Hydrometeorological Observatory of the Upper Valley of Oueme at northern Benin (West Africa)**

This study focuses on a homogeneous network of 14 rain gauges divided into 4 zones. For these 14 stations, we have the daily rainfall from 1999-2012. The aim of this study to construct a temporal disaggregation model of the Hydro-meteorological Observatory of the Upper Valley of Oueme rainy at northern Benin. The expression of the structure function we obtained for the region is:  $\tau(q) = 0.5(1.03q^{0.51} + 0.47q + 0.49)$ . The model to pass to the decades's rains moment at the daily's rains moment builds, allows to estimate properly the average value and the standard deviation of daily rainfall.

**Keywords :** *structure function, disaggregation model, statistical moment, OHHVO, Benin, rainfall.*

## 1. Introduction

La science hydrologique a pour objectif d'étudier le cycle de l'eau dans tous ses aspects. L'étude de l'hydrologie a été un domaine actif de recherche durant les trois dernières décennies. Elle s'étend de l'évaporation à la formation et la propagation des écoulements superficiels et souterrains. Ces études sont principalement orientées vers des réponses concrètes aux nombreuses demandes des aménageurs et des responsables locaux. Ces derniers sont en particulier préoccupés par la prédétermination et la prévision des inondations et des sécheresses, le dimensionnement des ouvrages, l'exploitation et la gestion des ressources en eau, l'assainissement urbain et le drainage des terres agricoles. Suite aux impacts hydrologiques du changement climatique, qui pourraient provoquer des catastrophes graves, en particulier dans le milieu urbain, plusieurs actions et réflexions ont été proposées dans les milieux scientifiques. Les études qui sont orientées vers une meilleure gestion des ressources en eau et une meilleure évaluation des risques sont devenues une préoccupation majeure de la recherche hydrologique [1]. La désagrégation est l'ensemble des techniques permettant de simuler une variable météorologique (la pluie par exemple) à fine échelle à partir de la valeur d'une échelle plus grande (valeur moyenne sur une maille et/ou à un pas de temps donné) selon [2]. Il existe une grande diversité de méthodes de désagrégation et ces méthodes peuvent être classées en deux grandes familles à savoir: Les méthodes de désagrégation basées sur l'approximation purement stochastique, qui consistent à établir une relation statistique entre les variables locales (de la plus petite échelle) et les variables de la plus grande échelle (appelées prédicteurs). Les méthodes de désagrégation basées sur l'approximation dynamique, qui modélisent les principes qui gouvernent localement (ou à la plus petite échelle) le système climatique. Cette technique consiste à résoudre explicitement la physique et la dynamique du système climatique régional. L'approche stochastique est simple, sous réserve de disposer des données observées homogènes sur une période suffisamment longue [3]. L'objectif de cette étude de construire un modèle de désagrégation temporelle des pluies de l'Observatoire Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé (OHHVO).

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Méthodes

Nous adoptons dans cette étude l'approche stochastique pour construire un modèle de passage des moments des pluies décadaires aux moments des pluies journalières.

#### 2-1-1. Construction du modèle

Le passage d'une échelle à une autre peut s'exprimer par différentes relations statistiques [4]. L'une de ces relations liant les moments statistiques et proposée par [3] peut s'écrire sous la forme suivante :

$$M(\lambda, q) = M(1, q)\lambda^{-\tau(q)} \quad (1)$$

Ou

$$\log(M(\lambda, q)) = -\tau(q) \log(\lambda) + \log(M(1, q)) \quad (2)$$

Dans cette expression,  $\lambda$  est une échelle caractéristique :  $\lambda = \frac{T}{t}$ .  $T$  est la plus grande échelle (elle vaut dans cette étude 10 jours) et  $t$  représente toutes les échelles (de la plus grande à la plus petite échelle).

$M(\lambda, q)$  est le moment d'ordre  $q$  à l'échelle  $\lambda$ .  $\tau(q)$  est une fonction de structure qui caractérise le comportement multifractal du processus étudié [5-9].  $M(1, q)$ : est le moment d'ordre  $q$  de la plus grande échelle ( $t = T = 10$  jours donc  $\lambda = 1$ ) plus précisément les moments d'ordre  $q$  des pluies décadaires. La construction du modèle se limite tout simplement à la détermination de la fonction de structure  $\tau(q)$ . Pour y parvenir, il suffit de calculer le moment d'ordre  $q$  ( $q$  varie de 0.2 à 3.2) pour différentes échelle  $\lambda : M(\lambda, q)$ . Le logarithme de ce moment est donc une fonction linéaire de l'échelle caractéristique  $\lambda$ . On récupère alors les pentes de ces droites qui ne sont rien d'autres les valeurs de  $\tau(q)$ , qu'on trace en fonction de l'ordre  $q$ . La dernière étape est de modéliser ces valeurs (courbes de  $(q)$ ) par une fonction continue. Nous avons utilisé une fonction linéaire et une fonction puissance pour modéliser ces valeurs (courbes de  $\tau(q)$ ). Nous avons adopté ce modèle couplé. A cette étape, nous disposons de plusieurs modèles par station pluviographique (un modèle par an). Nous avons alors déterminé le modèle moyen par station, analysé ensuite la variabilité des modèles moyens (par station) dans chaque zone. Nous avons enfin déterminé le modèle régional à partir des modèles moyens par station. Pour comparer l'efficacité de chaque modèle, nous avons calculé pour chaque modèle le coefficient de Nash [10].

### **2-1-2. Simulation des valeurs moyennes et des écart-types**

Nous avons testé l'efficacité des modèles obtenus en procédant par simulation. Nous avons utilisé à l'entrée, les pluies décadaires d'une année et nous avons estimé les moments des pluies aux échelles inférieures pour la même année. Au niveau de chaque station pluviographique, quatre possibilités s'imposent :

- (M1) : usage du modèle annuel déterminé à la station ;
- (M2) : usage du modèle moyen déterminé à la station ;
- (M3) : usage du modèle moyen de zone où se trouve la station ;
- (M4) : usage du modèle moyen de la région d'étude.

Avec ces quatre possibilités, nous avons estimé les valeurs moyennes (moment d'ordre 1) et les écart-types (fonction des moments d'ordre 1 et 2) pour les échelles de 1 jour, 2 jours,....., et 10 jours. Afin d'apprécier ces simulations, les coefficients de Nash (entre les valeurs observées et les valeurs estimées) ont été calculés.

## **2-2. Description des données et de la région d'étude**

### **2-2-1. Présentation de la région d'étude : OHHVO**

L'OHHVO (Observatoire Hydrométéorologique de la Haute vallée de l'Ouémé), encore appelé site AMMA-CATCH Bénin, peut se présenter brièvement comme suit :

#### **2-2-1-1. Position géographique du site**

Le fleuve Ouémé (plus long fleuve traversant le Bénin), prend sa source au pied de la chaîne montagneuse de l'Atacora (au Nord), dans la région de Djougou et se jette dans le lac Nokoué (au Sud). Le site d'étude recouvre la partie supérieure de l'Ouémé sur une superficie d'environ 14000 Km<sup>2</sup>. Il est délimité par les latitudes 9°N et 10°N d'une part et les longitudes 1.5°E et 3°E d'autre part.

### 2-2-1-2. Aperçu sur le relief du site

Le site AMMA-CATCH Bénin a un relief peu marqué avec une dénivellation d'environ 200 m [11], entre la région de Djougou (altitude : 480 m) et l'exutoire situé à Bétérou (altitude : 272 m). Cependant, on observe au sud du bassin quelques sommets isolés (affleurement granitique) d'altitude voisine de 600m.

### 2-2-1-3. Aperçu sur la végétation du site

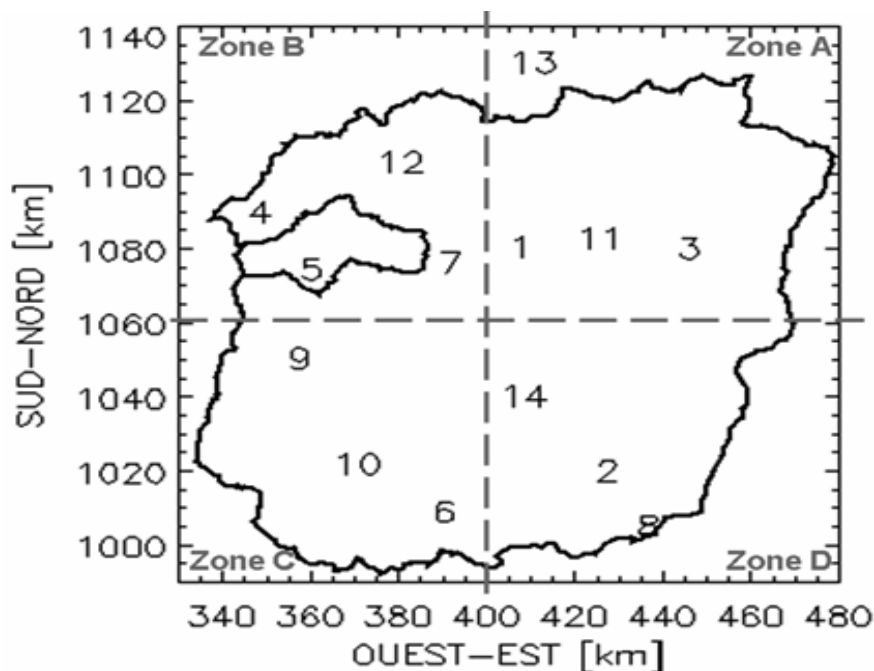
La végétation du site est principalement composée de savane arborée et de cultures. Aujourd'hui, la région connaît une forte anthropisation qui conduit à un défrichement rapide des forêts par brûlis au profit des cultures de rente (coton) et vivrières (igname, maïs, sorgho, riz) [12].

### 2-2-1-4. Aperçu climatologique du site

L'OHHVO est situé dans une région de transition entre le régime humide du Sud et le régime désertique du Nord. C'est une zone de climat de type soudanien caractérisé par une seule saison des pluies allant de mi-mars à fin octobre, le cœur de la saison des pluies se trouvant entre juillet et Août [13]. La pluviométrie moyenne interannuelle de la région est voisine de 1200 mm.

### 2-2-2. Choix du réseau et données d'étude

Le réseau pluviographique du site s'est progressivement densifié depuis 1999 et est constitué en 2012 de plusieurs pluviographes. Mais ces pluviographes sont irrégulièrement répartis sur la région. Pour cette étude, nous avons choisi un réseau homogène des 14 pluviographes répartis en 4 zones (**Figure 1**). Pour ces 14 stations, nous disposons dans cette étude des pluies journalières de 1999 à 2012. Les numéros correspondants aux stations sont inscrits dans le tableau ci-dessous (**Tableau 1**).



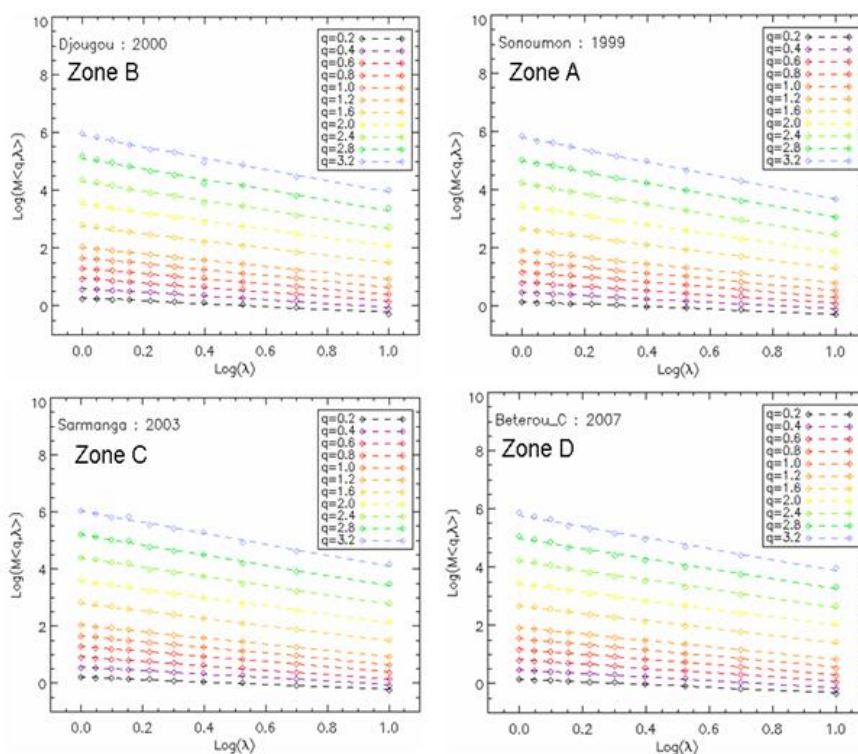
**Figure 1 :** Réseau homogène de stations pluviographiques choisi pour l'étude. La région de l'observatoire est subdivisée en 4 zones (zone A - zone B - zone C - zone D)

**Tableau 1 : Stations et numéros correspondants**

N°	1	2	3	4	5	6	7
Station	Affon	Beterou_C	Bori	Copargo	Djougou	Dogue	Donga
N°	8	9	10	11	12	13	14
Station	Koko	Pelebina	Sarmanga	Sonoumon	Tebou	Tobre	Wewe

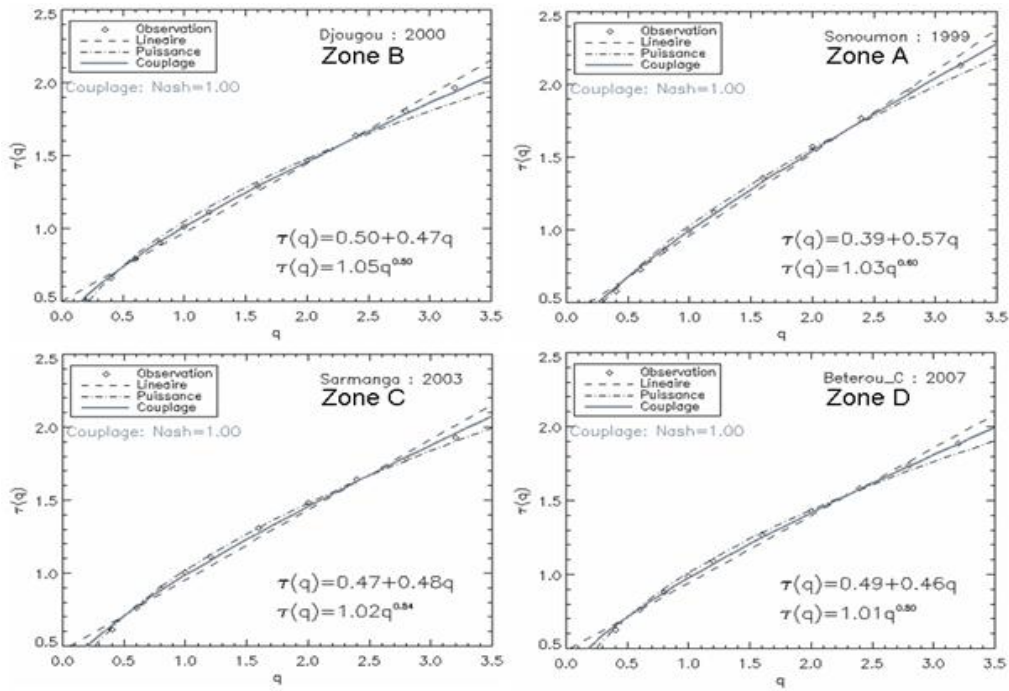
### 3. Résultats et discussion

La **Figure 2** présente différents ordres de moments des cumuls de pluie en fonction des échelles de temps. Les courbes sont représentées pour différentes stations à différentes années. On remarque sur cette figure que pour toutes les stations et pour toutes les années le logarithme de ce moment est une fonction linéaire de l'échelle caractéristique  $\lambda$ .



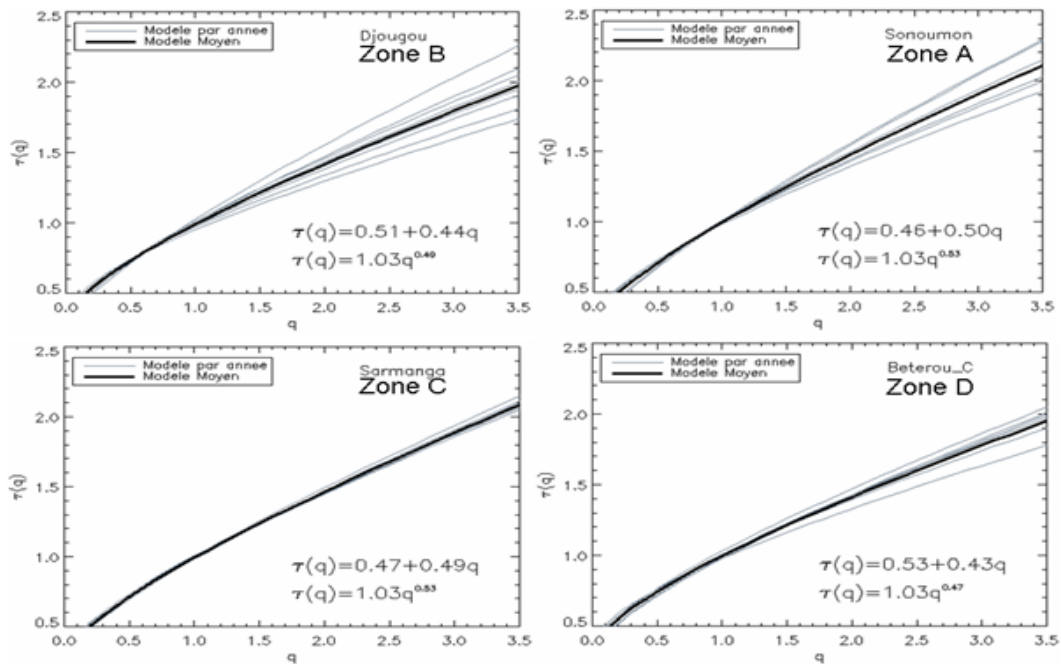
**Figure 2 : Différents ordres de moments des cumuls de pluie en fonction des échelles de temps. Les courbes sont représentées pour différentes stations à différentes années**

Modélisation de la fonction de structure  $\tau(q)$  à différentes stations du site pour différentes années est représentée sur la **Figure 3**. Le coefficient de Nash est égal à 1 pour le modèle couplé (modèle linéaire et modèle puissance).



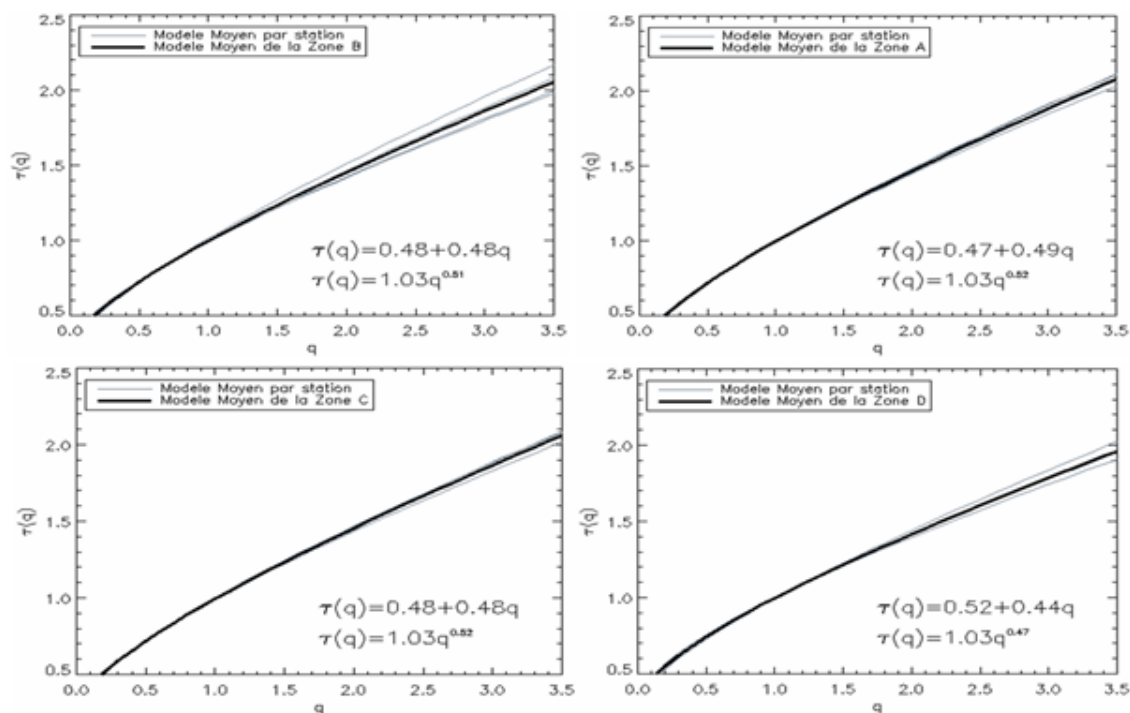
**Figure 3 :** Modélisation de la fonction de structure  $\tau(q)$  à différentes stations du site pour différentes années

A cette étape, nous disposons de plusieurs modèles par station pluviographique (un modèle par an). La **Figure 4** présente les modèles moyens (de la fonction structure) par station (en gris) et le modèle moyen par zone (noir gras). La **Figure 4** montre que ces modèles (de la fonction structure) varient d’une année à une autre.



**Figure 4 :** Modèles (de la fonction structure) obtenus par an à chaque station (en gris) et le modèle moyen à la station (noir gras)

Nous avons analysé ensuite la variabilité des modèles moyens (par station) dans chaque zone (**Figure 5**). La variabilité entre les stations est moins importante que la variabilité à une station (entre les années). Ceci est peut-être dû au nombre peu important de station par zone (3 ou 4).

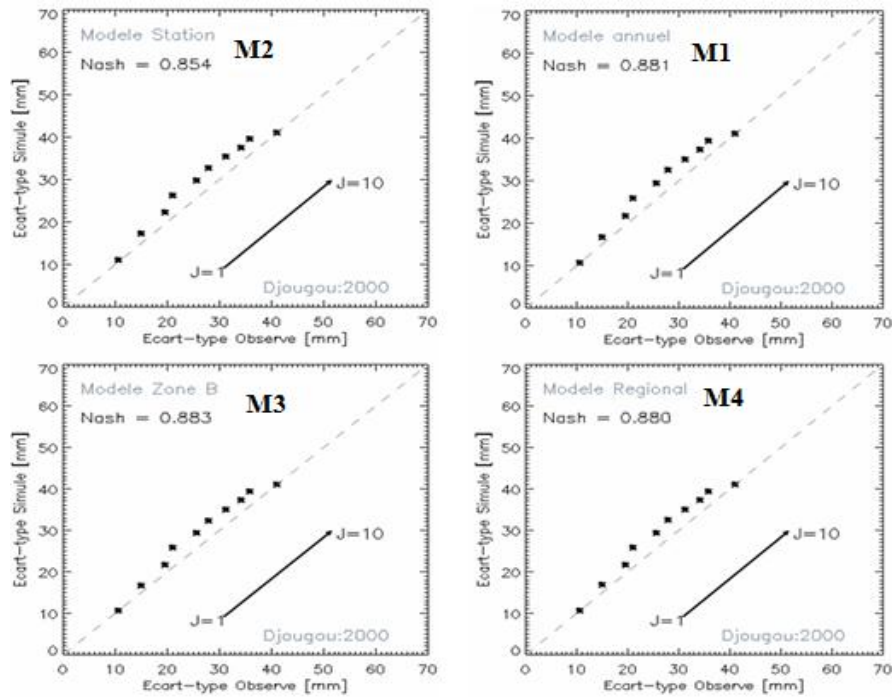


**Figure 5 :** Modèles moyens (de la fonction structure) par station (en gris) et le modèle moyen par zone (noir gras)

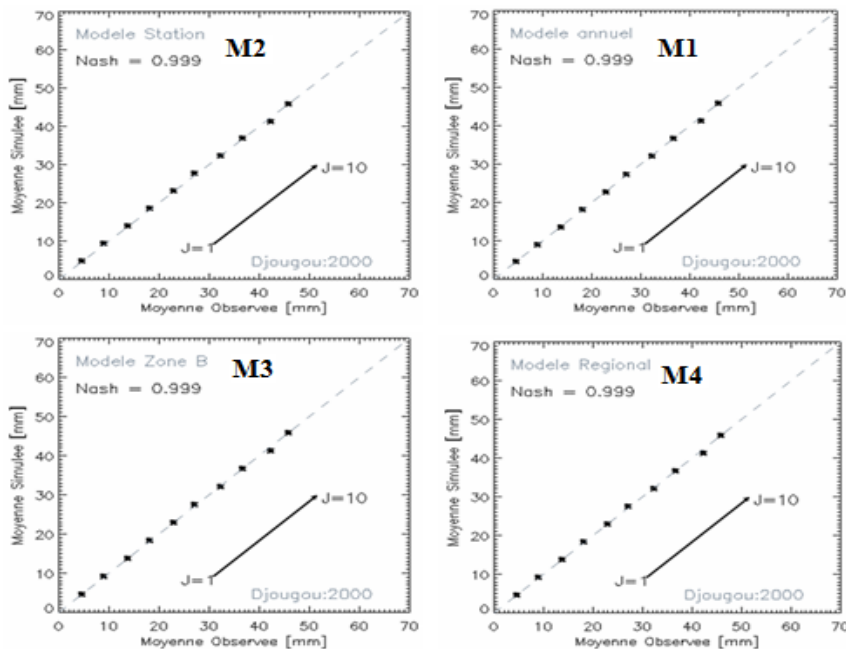
Les expressions des modèles obtenus par région sont à peu près identiques. Nous avons enfin déterminé le modèle régional à partir des modèles moyens par station. L'expression de la fonction de structure que nous retenons pour la région est :  $\tau(q) = 0.5(1.03q^{0.51} + 0.47q + 0.49)$ .

### 3-1. Simulation des valeurs moyennes et des écart-types

Les résultats obtenus à la station de Djougou (pour l'année 2000) sont présentés sur la **Figure 6** (pour les valeurs moyennes) et sur la **Figure 7** (pour les écart-types). Ces coefficients pour toutes les années, à la station de Djougou, sont présentés dans le **Tableau 3**. Ces résultats indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les quatre possibilités. L'estimation est très bonne pour les valeurs moyennes quelle que soit l'échelle. En ce qui concerne les écart-types, l'estimation est très bonne à l'échelle journalière, et très acceptable pour les autres échelles.



**Figure 6 :** Estimation des écart-types des pluies à différentes échelles, à partir de l'écart-type des pluies décennales. On représente les écart-types estimés en fonction des écart-types observés. Un point pour une échelle, de 1 à 10 jours en progressant vers le haut. On a utilisé quatre modèles différents notés (M1),(M2),(M3),(M4)



**Figure 7 :** Estimation des valeurs moyennes des pluies à différentes échelles, à partir de la valeur moyenne des pluies décennales. On représente les moyennes estimées en fonction des moyennes observées. Un point pour une échelle, de 1 jour à 10 jours en progressant vers le haut. On a utilisé quatre modèles différents notés M1, M2, M3, M4

**Tableau 2 :** *Les coefficients de Nash obtenus pour la simulation des moyennes à la station de Djougou*

année	Coefficient de Nash pour les Moyennes			
	M1	M2	M3	M4
1999	0.999	0.999	0.999	0.999
2000	0.999	0.997	0.999	0.999
2001	0.999	0.999	0.994	0.994
2002	0.999	0.999	0.999	0.999
2003	0.997	0.998	1.000	1.000
2004	0.999	1	0.999	0.999
2005	0.999	0.999	0.998	0.998
2006	0.999	0.999	0.999	0.999
2007	0.998	0.998	0.999	0.999
2008	0.999	1	0.999	0.999
2009	0.999	0.999	0.998	0.999
2010	0.999	0.999	1	0.999
2011	0.999	0.998	1	0.999
2012	0.999	0.999	0.999	0.999

**Tableau 3 :** *Les coefficients de Nash obtenus pour la simulation des Ecart-types à la station de Djougou*

année	Coefficient de Nash pour les Ecart-types			
	M1	M2	M3	M4
1999	0.884	0.862	0.883	0.880
2000	0.79	0.881	0.908	0.906
2001	0.96	0.908	0.961	0.960
2002	0.92	0.968	0.953	0.951
2003	0.962	0.966	0.984	0.983
2004	0.86	0.846	0.963	0.963
2005	0.965	0.895	0.891	0.888
2006	0.89	0.885	0.929	0.927
2007	0.94	0.97	0.918	0.896
2008	0.849	0.859	0.936	0.875
2009	0.883	0.868	0.895	0.935
2010	0.793	0.875	0.856	0.942
2011	0.869	0.965	0.932	0.897
2012	0.862	0.835	0.846	0.916

#### 4. Conclusion

Ce travail a permis de construire un modèle de passage des moments des pluies décadaires aux moments des pluies journalières de l'Observatoire Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé au nord Bénin. L'expression de la fonction de structure que nous retenons pour la région est :  $\tau(q) = 0.5(1.03q^{0.51} + 0.47q + 0.49)$ . Le modèle de passage des moments des cumuls décadaires aux moments des cumuls journaliers construit, permet de bien estimer la valeur moyenne et l'écart-type des pluies journalières.

**Remerciements**

*Les auteurs de cette étude remercient sincèrement les responsables du projet AMMA (Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine) pour nous avoir fourni ces données qui ont servi à la réalisation de ce travail.*

**Références**

- [1] - H. CONG TUAN, Prise en compte des fluctuations spatio-temporelles pluies-débits pour une meilleure gestion de la ressource en eau et une meilleure évaluation des risques, Thèse de doctorat, l'Université Paris-Est, (2011).
- [2] - N. REBORA, L. FERRARIS, J. Von HARDENBERG & A. PROVENZAL, Stochastic downscaling of LAM predictions: an example in the Mediterranean area, *Advances in Geosciences*, 2, (2005), 181-185.
- [3] - D. SCHERTZER, S. LOVEJOY, Physical modeling and analysis of rain and cloud by anisotropic scaling multiplicative processes, *J. Geophys. Res.*, 92, (1987), 9693-9714.
- [4] - J. OLSSON, J. NIEMCZYNOWICZ, Multifractal analysis of daily spatial rainfall distributions, *J. Hydrol.*, 187, (1995), 29-43.
- [5] - A. BIAOU, Désagrégation spatio-temporelle des variables issues des modèles de Circulation Général, DEA, Université Pierre et Marie Curie, Université Paris-Sud, Ecole des mines de Paris Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêt, (2000).
- [6] - G. CALEDA, E. GORGUCCI, F. NAPOLITANO, A. NOVELLA, & E. VOLPI, Multifractal analysis of radar rainfall fields over the area of Rome, *Advances in Géosciences*, 2, (2005), 293-299.
- [7] - D. SCHERTZER, P. BERNARDARA, A. BIAOU, I. TCHIGUIRINSKAIA, M. LANG, E. SAUQUET H. BENDJOUDI, P. HUBERT, S. LOVEJOY, & J.M. VEYSSEIRE, Extrêmes et multifractals en hydrologie : résultats, validations et perspectives, *La Houille Blanche*, 5, (2006).
- [8] - D. VENEZIANO, C. LEPORE, A. LANGOUSIS, and P. FURCOLO, Marginal Methods of IDL Estimation in Scaling and Non-Scaling Rainfall, *Water Resources Research* Originally Submitted March, (2007), Revised June, (2007).
- [9] - S. KUMAR, M. SEKHAR, & D. V. REDDY, Improving the disaggregation of daily rainfall into hourly rainfall using hourly soil moisture, *Hydroinformatics in Hydrology, Hydrogéologie and Water Resources*, (Proc. of Symposium at the joint IAHS and IAH Convention, Hyderabad, India, September 2009). IAHS Publ., 331, (2009).
- [10] - J.NASH, & J. SUTCLIFFE, River flow forecasting through conceptual models, Part I : A discussion of principles. *J. of Hydrology*, 10, (1970), 282-290.
- [11] - L. LE BARBE, G. ALE, B. MILLET, H. TEXIER, Y. BOREL & R. GUALDE, Les ressources en eaux superficielles de la République du Bénin, (1993).
- [12] - M. Le LAY, Modélisation hydrologique dans un contexte de variabilité hydro-climatique. Une approche comparative pour l'étude du cycle hydrologique à méso-échelle au Bénin. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, (2006).
- [13] - A. E. LAWIN, Analyse climatologique et statistique du régime pluviométrique de la haute vallée de l'Ouémé à partir des données pluviographiques AMMA-CATCH Bénin, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, (2007).