

Université d'Abomey-Calavi

**FACULTE DES LETTRES, ARTS ET SCIENCES HUMAINES
(FLASH)**



Revue spéciale journées scientifiques de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH)

Volume 2, numéro 4

Août 2012

**Faculté des Lettres Arts et Sciences Humaines (FLASH)
B.P. : 526 Cotonou, Tél. (229) : 21 36 00 74 (République du Bénin)**

**COMITE DE REDACTION DE LA REVUE SPECIALE JOURNEES SCIENTIFIQUES
DE LA FLASH**

Directeur de publication

Pr. HOUSSOU Sègbè Christophe

Doyen de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines

Rédacteur en Chef

Pr. Flavien GBETO

Comité Scientifique :

Pr. CAPO Hounkpati B. C (Bénin), Pr. HUANNOU Adrien (Bénin), Pr. BOKO Michel (Bénin), Pr SINSIN Brice (Bénin), Pr. CAMBERLIN Pierre (France), Pr. BROU Téléphore (France), Pr. AÏNAMON Augustin (Bénin), Pr. TAKASSI Issa (Togo), Pr. HOUNTONDJI Paulin (Bénin), Pr. NOUHOUAYI Albert (Bénin), Pr. BOLOUVI P. Lébéné (Togo), Pr. YAÏ Olabiyi Joseph (Paris), VIDEGLA Michel, MC (Bénin), ANIGNIKIN Sylvain (Bénin), MC, HOUNDENOU Constant (Bénin), MC, NOUKPO Agossou (Bénin), MC.

Comité de Lecture :

Pr. N'BESSA Benoît (Bénin), Pr. GBETO Flavien (Bénin), Pr. KOUMAKPAÏ Taofick (Bénin), BADA M. Dominique (Bénin), Pr. HOUSSOU Sègbè Christophe (Bénin), MC, KAKPO Mahougnon (Bénin), MC, HOUNMENOU Jean-Claude (Bénin), MA, AZALOU-TINGBE Albert (Bénin), MA, ATABAVIKPO Vincent (Bénin), MC, TENTE Brice (Bénin), MC, GUEDEGBE-DOSSOU Odile (Bénin), MA, VISSIN Expédit Wilfrid, (Bénin) MA. TOSSOU Pascal (Bénin), MA,

Secrétariat de rédaction

VISSIN Expédit Wilfrid, (Bénin) MA, TOSSOU Pascal (Bénin), MA, ATABAVIKPO Vincent (Bénin), MA,

Toute correspondance (suggestions) doit être adressée au :
Comité de Rédaction de la revue spéciale journées scientifiques de la FLASH

01 BP 526 COTONOU, République du Bénin

christpasse@yahoo.fr

exlaure@yahoo.fr

topas4fr@yahoo.fr

Toute reproduction, même partielle de cette revue est rigoureusement interdite. Une copie ou reproduction par quelque procédé que ce soit, photographie, microfilm, bande magnétique, disque ou autre, constitue une contrefaçon passible des peines prévues par la loi 84-003 du 15 mars 1984 relative à la protection du droit d'auteur en République du Bénin.

ISSN 1840-670X

Dépôt Légal N° 5132 du 2^{ème} trimestre 2011 à la Bibliothèque Nationale

Sommaire

1. Indicateurs écologiques de prévision des temps et des saisons en pays Wemε (Benin, Afrique De L'ouest)

(AKIBOU A. AKINDELE, EULOGE OGOUWALE, MATHIEU LANOKOU, SIMEON KOTCHONI).....7

2. Variabilité climatique et risques hydrodynamiques au Benin : cas du phénomène l'érosion dans la ville de Parakou

(AKOGNONGBE ARSENE J., VISSIN EXPEDIT W., SINTONDI LUC. O., HOUSSOU S. CHRISTOPHE).....16

3. Divers usages du karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn C. F.) chez les nago de la commune de Bantè

(GBESSO G. H. FRANÇOIS, GBESSO FLORENCE, TENTE BRICE, ET DOSSOU-GUEDEGBE ODILE).....31

4. Comprendre la linguistique pour enseigner les langues nationales, le français et l'anglais

(JULIEN K. GBAGUIDI & MOUFOUTAOU ADJERAN).....44

5. Le rôle socio-économique des petits métiers urbains dans la commune de Pobè

(BALOUBI DAVID, VIGNINOU TOUSSAINT, ALLAGBE BENJAMIN).....50

6. Pour une pédagogie du financement des initiatives entrepreneuriales chez les jeunes de la Commune de Lokossa au Bénin

(MAURICE ZANNOU, PATRICK HOUSSOU).....64

7. Cultures maraichères comme mesure d'adaptation aux contraintes climatiques dans la commune de Natitingou

(YABI IBOURAÏMA, TOHOZIN YVES ANTOINE, AFOUDA FULGENCE ET TOUNGAKOUAGOU HONORINE).....72

8. Implantation de l'usine coda-Bénin SA : facteurs de dynamique spatiale et incidences socio-économiques a Ikpilè dans la Commune d'Adja-Ouèrè au sud-est du Bénin

(GONZALLO GERMAIN).....81

9. Variabilité spatiale récente des pluies à Cotonou

(**EMMANUEL AGNIDE LAWIN**, SOUNMAÏLA MOUMOUNI, MOÏSE M. ADJAHOUINOU et ABEL AFOUDA).....93

10. Caractérisation agro-morphologique de plantations de pourghère (*Jatropha curcas* L.) soumises à différents itinéraires techniques au centre du Bénin

(GANDONOU CH. B., HOUMBA N. R., AHOTON L., DESQUILBET S. , FAKAMBI K., CAPO-CHICHI M., DATINON B., E. MARSHALL).....103

11. L'écriture du "non" chez Lautréamont

(OKRI PASCAL TOSSOU, AKEREKORO HOUESSO SEVERIN).....116

12. L'historien face aux défis du développement (SYLVAIN C. ANIGNIKIN).....127

13. Variabilité pluviométrique et risques d'inondations dans la région du grand Nokoué

(BLALOGOE PARFAIT COCOU, YABI IBOURAÏMA, HOUNDENOU CONSTANT).....133

14. Impacts des activités agro-pastorales sur le couvert végétal dans les périphéries du parc national w dans les arrondissements de Founougo et Soroko

(ABDOULAYE D., ASSABA M., SAMBA A.G., TENTE B. A.).....143

15. La gouvernance du foncier urbain a Dassa-Zoumè (Centre Sud du Bénin) : état des lieux et défis

(VISSOH A. SYLVAIN & TOSSA IGNACE).....157

16. La filière café-cacao dans l'ouest de la région des plateaux (Togo) : de la crise à la relance

(FOLLYGAN HETCHELI).....168

17. La composition en cabE: contribution a l'étude de la morphologie lexicale des parlers yoruba

(MOUFOUTAOU ADJERAN).....183

VARIABILITE SPATIALE RECENTE DES PLUIES A COTONOU

EMMANUEL AGNIDE LAWIN¹, SOUNMAÏLA MOUMOUNI², MOÏSE M. ADJAHOUINOU¹ AND ABEL AFOUDA¹

¹Laboratoire d'Hydrologie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey – Calavi, 01 BP 4521 Cotonou, Benin, e-mail: ewaari@yahoo.fr ; aafouda@yahoo.fr

²Ecole Normale Supérieure de Natitingou, Université de Parakou.

Résumé

La recrudescence des inondations ces dix dernières années dans la ville de Cotonou impose une revisite de la distribution saisonnière des précipitations. De même, comprendre la variabilité spatiale récente des pluies permet de répondre aux préoccupations liées plus généralement à la gestion des eaux pluviales à travers le choix et le dimensionnement adéquat des infrastructures hydrauliques de drainage des eaux pluviales. Le présent travail s'est donc fixé pour objectif de prospecter la structure spatiale des pluies à l'échelle de la ville de Cotonou afin d'analyser leur variabilité spatiale.

A partir de l'exploitation des données pluviométriques journalières, sur dix ans (2001 – 2010), fournies par dix stations installées à l'intérieur ou proche de la ville de Cotonou, une approche géostatistique basée sur l'outil variogramme a été implémentée dans le présent travail pour modéliser la structure spatiale des pluies à l'échelle annuelle. Il en résulte que la structure dominante est de type linéaire.

Mais deux années se particularisent par leurs types de modèles propres, notamment 2002 et 2004. La distribution spatiale révèle une forte variabilité interannuelle. En cumulant les dix années, il ressort que l'Est est plus arrosé que l'Ouest. Cette information pertinente devrait être prise en compte pour le dimensionnement des collecteurs d'eaux pluviales.

Mots clés : Pluie, inondation, géostatistique, krigeage, variabilité spatiale.

Abstract

Increased flooding over the past decade in Cotonou city requires a revisiting of the seasonal distribution of rainfall. Similarly, understanding the recent spatial variability of rainfall meets the concerns, more generally, of stormwater management through the proper selection and sizing of stormwater drainage infrastructure. The present work therefore aims to explore the spatial structure of rainfall across the city of Cotonou to analyze their spatial variability.

Daily rainfall data over ten years (2001 - 2010), provided by ten raingauges located within or near the study area (Cotonou city) of are used. A geostatistical approach based on the variogram tool has been implemented in this work to modelize the spatial structure of rainfall at annual scale. It is show that, the dominant spatial structure of rainfall in this region is linear.

But two years are particularized by they own types of model, including 2002 and 2004. The spatial distribution shows strong interannual variability. Combining the decade, it appears that the East is rainier than the west of the city. That relevant information should be taken into account for the design of storm drains.

Keywords: Rainfall, flood, geostatistics, kriging, spatial variability.

Introduction

La ville de Cotonou subit depuis quelques années, les impacts de l'inondation tant fluviale que pluviale. Les conséquences de ces inondations sont innombrables tant sur la santé des habitants des zones inondées, sur les établissements humains que sur les activités socio – économiques dans la ville. Cette situation impose d'évaluer la distribution spatiale des pluies à l'échelle annuelle dans une perspective de gestion des eaux pluviales.

Le présent travail s'est donc fixé pour objectif, dans un cadre prospectif, d'analyser la structure spatiale des précipitations dans la ville de Cotonou, dans un contexte géostatistique pour en déduire leur variabilité spatiale. Ainsi, dans un premier temps les variogrammes empiriques des cumuls annuels ont été calculés et modélisés. Ensuite, la distribution spatiale des pluies a été déterminée par krigeage ordinaire (Matheron, 1971). Par ailleurs, la variabilité interannuelle de la pluie moyenne spatiale a été analysée.

1. Données et méthodes

1.1. Cadre physique et données

Le cadre physique de ce travail est la ville de Cotonou. Elle se situe en bordure du golfe du Bénin entre 6°20' et 6°24' de latitude Nord puis 2°20' et 2°29 de longitude Est. Avec une superficie d'environ 80 Km², la ville de Cotonou comporte un réseau pluviométrique dense de 8 stations (Figure 1) à double lecture journalière.

A ces huit stations, nous avons ajouté les deux stations les plus proches et dont les données sont homogènes avec celles des huit stations, notamment les stations de Sèmè – Cocotier puis IITA (Institut International d'Agronomie Tropicale) qui est une station agro – météorologique qui n'est pas gérée directement par le Service National de la Météorologie (SNM) comme les neuf autres stations. Cette station est gérée par l'IITA.

Les données de pluie journalière à ces dix stations (Tableau 1) ont été considérées sur une période commune de fonctionnement qui est de 2001 à 2010.

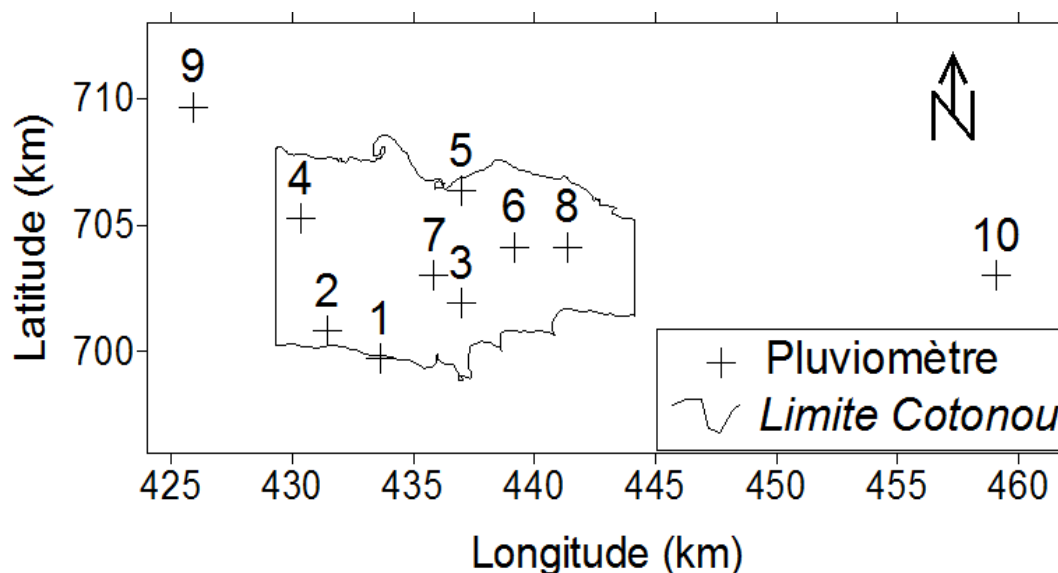


Figure 1: Réseau de stations pluviométriques utilisées.

Tableau 1: Caractéristiques des stations utilisées

Code	Nom station	Année de création	Type
1	Port	1969	Pluviométrique
2	Aéroport	1952	Synoptique
3	Ville	1922	Pluviométrique
4	Akossombo	1998	Pluviométrique
5	Sainte Cécile	1998	Pluviométrique
6	Sœur Akpakpa	1997	Pluviométrique
7	Commissariat Central	1998	Pluviométrique
8	Sobetex	1998	Pluviométrique
9	IITA	1987	Agro - météorologique
10	Sèmè - Cocotier	1943	Pluviométrique

1.2.Méthodes de traitement et d'analyse

1.2.1.Analyse critique et préparation des données

Le dépouillement des données des dix stations a permis de constater que le taux de lacunes est généralement inférieur à 25 pour cent. Les données manquantes ont été remplacées par validation croisée (Jackknife) en utilisant le voisinage global. Les cumuls annuels, à chaque station, ont été générés par sommation des données journalières. L'étape suivante a été d'évaluer l'homogénéité des données. La méthode « des doubles masses » ou double cumul (Brunet – Moret, 1971) a été mise en œuvre pour cette vérification.

1.2.2.Modélisation de la structure spatiale des pluies

Il existe globalement deux groupes de méthodes qui sont mis en œuvre pour l'analyse de la variabilité spatiale d'un processus variable aussi bien dans le temps que dans l'espace: les méthodes déterministes et les méthodes stochastiques. En hydrométéorologie, il a été montré (Creutin et Oblé, 1982 ; Arnaud et Emery, 2000) que les méthodes stochastiques, telles que celles utilisées en géostatistique donnent des résultats meilleurs à ceux des méthodes déterministes quand à l'interpolation des champs hydro pluviométriques du fait qu'elles prennent en compte la structure spatiale des champs considérés. Ainsi, l'approche proposée par Matheron (1965), en géostatistique, dans le cadre de la théorie des variables régionalisées s'applique bien aux sciences de l'eau. Elle a été éprouvée par plusieurs auteurs (Amani et Lebel, 1997 ; Ali et al., 2003) sur les champs pluviométriques au Sahel, puis par Lawin (2007) sur les précipitations dans la haute vallée de l'Ouémé au Bénin.

Les bases de la méthode (Cressie, 1993) reposent sur le calcul et la modélisation de la fonction de structure spatiale (γ) ou variogramme du processus.

1.2.3.Calcul du variogramme

Soit un processus bidimensionnel représenté par une fonction aléatoire (F.A.) ψ prenant la valeur $\psi(x)$ au point x . Les conditions de stationnarité d'ordre 2 aux accroissements de la F.A. ψ s'expriment (Eq. 1 et Eq. 2) par :

$$E[\psi(x+h) - \psi(x)] = 0 \quad \forall x, \forall h \quad \text{Eq. 1}$$

$$\text{Var}[\psi(x+h) - \psi(x)] = 2\gamma(h) \quad \text{Eq. 2}$$

Où E et Var représentent respectivement l'espérance mathématique et la variance.

La fonction γ est le semi - variogramme appelé plus simplement variogramme. Elle caractérise la structure spatiale du processus représenté par la F.A. ψ .

En développant Eq. 2 et tenant de Eq. 1 on abouti à Eq. 3 :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[(\psi(x+h) - \psi(x))^2] \quad \text{Eq. 3}$$

L'équation 3 exprime que le variogramme est l'accroissement quadratique moyen entre deux points séparés d'une distance h .

Dans la pratique, en hydrométéorologie, compte tenu du nombre limité de points de mesures (stations), le variogramme calculé est appelé variogramme brut ou empirique ou encore variogramme expérimental (γ_e). Il se détermine par (Eq. 4) la moyenne quadratique empirique sur l'ensemble de tous les points distants approximativement de h , formant la classe h . Ainsi :

$$\gamma_e(h) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} [(\psi(x_i+h) - \psi(x_i))^2] \quad \text{Eq. 4}$$

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

$$h_{ij} = \|x_i - x_j\| \in \left[h \pm \frac{\Delta h}{2} \right] \quad \text{Eq. 5}$$

Avec Δh le pas de découpage des classes. Chaque classe a été représentée par son centre.

1.2.4.Modélisation du variogramme

La représentation graphique du variogramme expérimental permet de choisir le type de variogramme théorique pouvant servir de modèle parmi les fonctions autorisées. La détermination des paramètres du modèle se fait généralement soit par une approche visuelle, soit par une méthode automatique utilisant une fonction « objectif » qui contrôle l'optimalité de l'ajustement. L'une des méthodes automatiques est basée sur les moindres carrés. Mais,

pour l'ajustement d'un modèle théorique γ_t sur le variogramme expérimental γ_e , nous avons implémenté ici la méthode automatique proposée par Lawin (2007) et qui est basée sur le maximum du critère de Nash (Nash et Sutcliffe, 1970). Ce critère que nous notons φ se définit de la façon suivante :

$$\varphi = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_c} (\gamma_e(i) - \gamma_t(i))^2}{\sum_{i=1}^{N_c} (\gamma_e(i) - \overline{\gamma_e})^2} \quad \text{Eq. 6}$$

Où N_c désigne le nombre total de classes ou centres de classes ayant servi à construire le variogramme expérimental et $\overline{\gamma_e}$ la moyenne des valeurs du variogramme expérimental.

L'ajustement est jugé optimal lorsque le maximum de la fonction φ est atteint et les paramètres du variogramme théorique sont déduits.

1.2.5. Interpolation des données

L'interpolation du champ de précipitation est faite par la méthode du krigeage ordinaire (Matheron, 1971) qui suppose la moyenne du processus inconnue. Nous avons réalisé l'interpolation sur des points de grille régulière de 200 m. L'estimation des valeurs est faite de la façon suivante :

Soit un point x_0 où la F.A. ψ a la valeur $\psi(x_0)$ inconnue. La valeur inconnue est estimée par $\psi^*(x_0)$ comme une somme pondérée des valeurs observées ou mesurées (Eq. 7) aux N_S points du réseau d'observation (voisinage global) par :

$$\psi^*(x_0) = \sum_{j=1}^{N_S} \lambda_j \psi(x_j) \quad \text{Eq. 7}$$

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. 8) qui découle des conditions d'optimalité (Eq. 8.a) et de non biais (Eq. 8.b) du krigeage.

$$\sum_{j=1}^{N_S} \lambda_j \gamma(h_{ij}) + \mu = \gamma(h_{0i}) \quad ; \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_S \quad \text{Eq. 8.a}$$

$$\sum_{j=1}^{N_S} \lambda_j = 1 \quad \text{Eq. 8.b}$$

Où μ est le multiplicateur de Lagrange (Matheron, 1971). L'équation 8.a est obtenue en minimisant la variance d'erreur de krigeage $(\psi^*(x_i) - \psi(x_i))$.

Une fois les poids de pondération déterminés on déduit les valeurs estimées par krigeage et on réalise la carte de krigeage montrant l'organisation des isohyètes annuelles.

2. Résultats et Discussion

2.1. Structure spatiale des pluies

Globalement, les pluies présentent trois types de structure spatiale à Cotonou. Il s'agit (Figure 2) des types puissance, pour la saison 2002, sphérique, pour la saison 2004 et linéaire pour toutes les autres saisons de la période 2001 – 2010.

Le type linéaire est dominant avec 80% de cas mais ses paramètres varient selon les années. Seule la saison 2004 présente un palier, témoignant de la stationnarité spatiale des pluies cette année. Toutes les autres saisons présentent une dérive compte tenu de l'absence de palier.

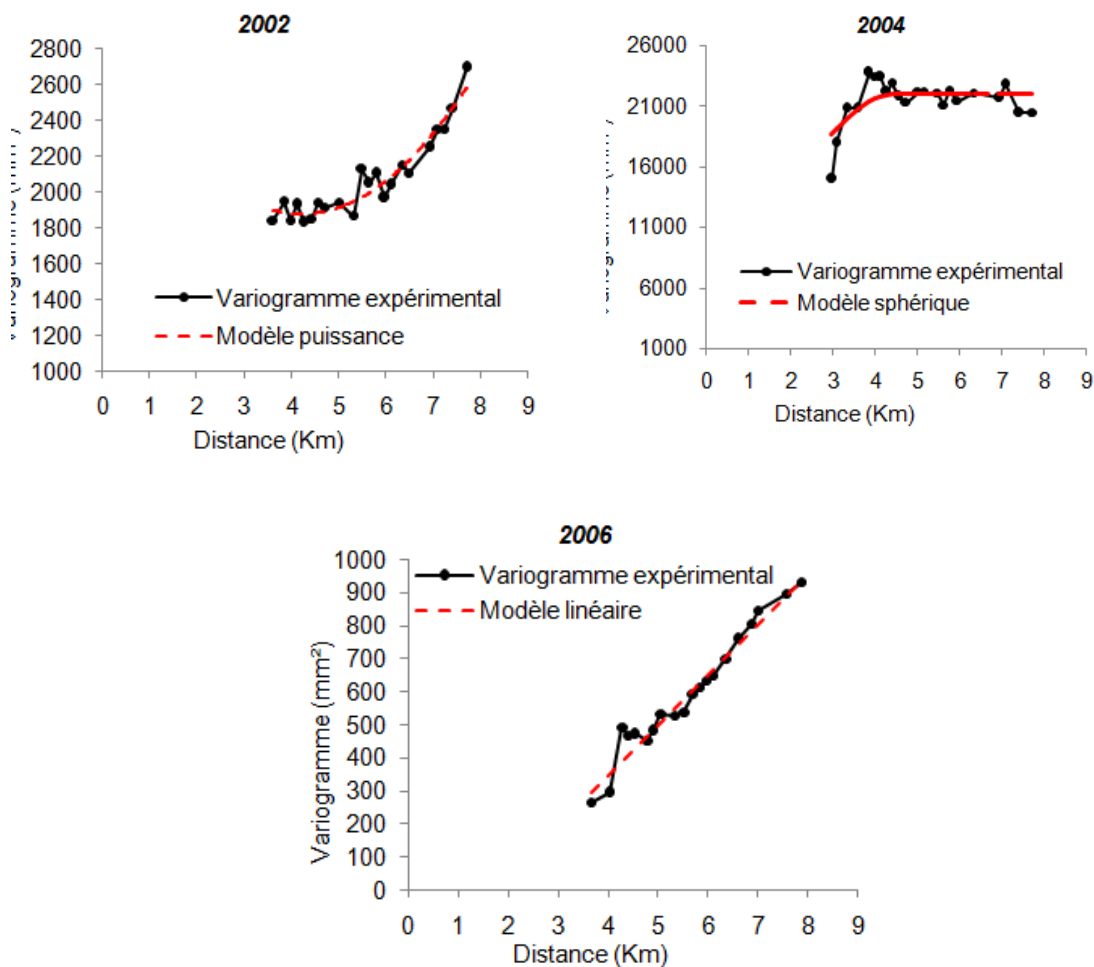


Figure 2: Différents types de variogrammes observés à Cotonou.

Si ces modèles sont bien parmi les modèles autorisés pour représenter un variogramme, il faut noter qu'ils sont différents du type de modèle identifié par Lawin (2007) pour les événements pluvieux sur la haute vallée de l'Ouémé.

En effet, abordant l'analyse de la structure spatiale des champs de pluie dans cette région, Lawin (2007) a montré que les événements pluvieux ont une structure spatiale de type exponentiel.

La nuance pourrait résulter non seulement du fait qu'au Sud du bassin de l'Ouémé, le régime pluviométrique est bimodal contrairement au Nord où il est unimodal, mais surtout du fait que les deux régions (la Haute vallée de l'Ouémé : environ 15 000 km²) et la ville de Cotonou (environ 80 Km²) ne sont pas de la même échelle spatiale.

Plusieurs événements pluvieux observés par les stations pluviométriques installées dans Cotonou pourraient être dus à des processus d'échelle spatiale non locale mais d'échelle spatiale plus large que celle de la ville. De sorte qu'à l'échelle annuelle, le variogramme résultant ne reflète pas bien la dynamique des événements pluvieux. Mais, à l'échelle locale, le réseau de stations utilisées (10) est bien dense pour analyser la distribution spatiale des précipitations dans la ville.

2.2. Variabilité spatiale

Mettant en œuvre le krigeage ordinaire avec le variogramme de chaque année, on a obtenu la distribution spatiale des pluies dans la ville. On observe que l'organisation spatiale du champ de pluie dépend de l'année. La Figure 3 présente le cas de quelques années.

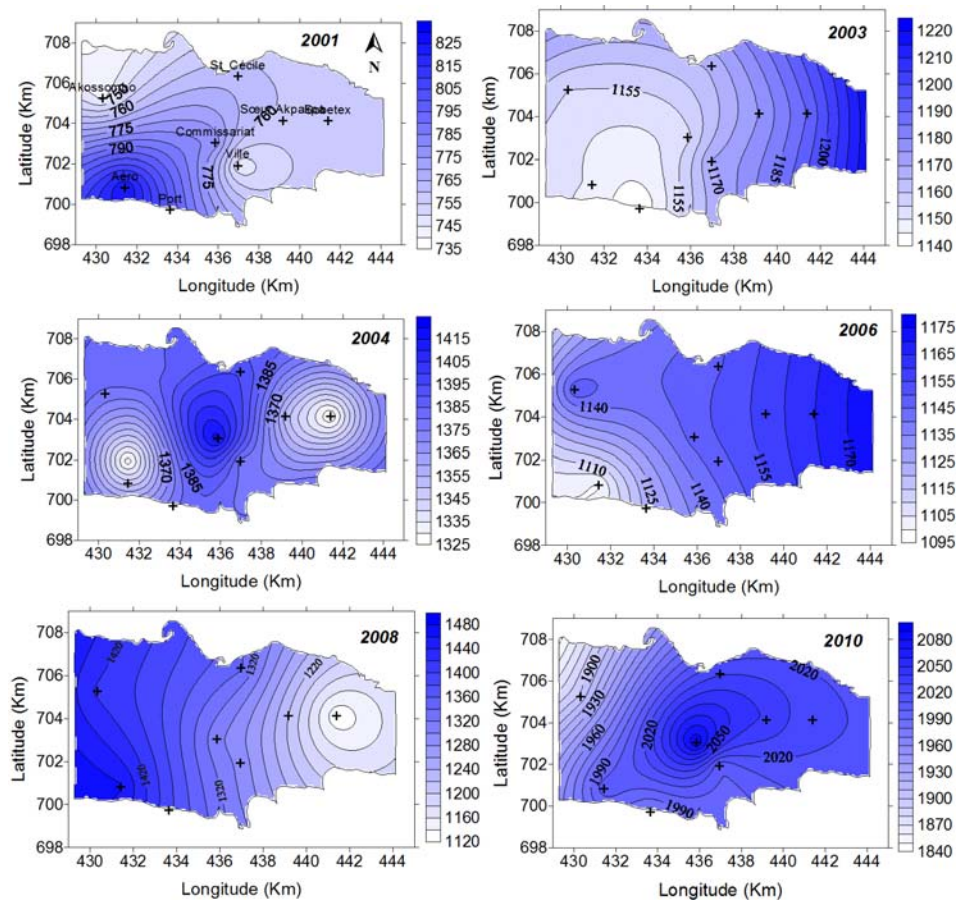


Figure 3: Distribution spatiale des pluies à Cotonou. Les croix (+) représentent uniquement les stations situées à l'intérieur de la ville.

Le champ pluviométrique est stationnaire en 2004 sur toute la ville. En 2010 il est stationnaire au centre et à l'Est. Pour les autres années, il présente un gradient dans la direction Est - Ouest mais dont le sens (Est – Ouest ou Ouest – Est) varie selon les années.

Mais, la variabilité spatiale reste modérée comme en témoigne les coefficients de variation des valeurs krigées (Tableau 2). Elle est similaire chaque année sauf pour les années 2005 et 2008 où elle est environ trois fois plus importante.

En cumulant les dix champs annuels, le champ moyen résultant présente un léger gradient Est – Ouest similaire à celui mis en évidence par Lawin (2007) sur les cumuls annuels de précipitation sur la haute vallée de l'Ouémé. Mais compte tenu de la taille de la zone d'étude concernée ici, le gradient est très faible.

Tableau 2 : Coefficient de variation spatiale des pluies à Cotonou sur la période 2001 – 2010

Années	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
CV (%)	2.4	2	2.3	1	6.2	1.7	3.7	7.4	2	2

2.3. Variabilité interannuelle de la pluie moyenne spatiale

L'indice pluviométrique (Figure 4) montre que la période d'étude est marquée, au seuil de significativité de 5%, par deux années particulièrement contrastées que sont 2001 (très déficitaire) et 2010 (particulièrement excédentaire). Ce qui témoigne d'une variabilité interannuelle marquée des pluies à Cotonou. Le caractère déficitaire de l'année 2001 a été également mis en évidence par Lawin et al., (2012) sur la haute vallée de l'Ouémé, tant à l'échelle régionale qu'à l'échelle locale (aux stations de Parakou au sud - est et Djougou au nord - ouest). Ainsi, l'année 2001 a été très déficitaire tant au sud qu'au nord du bassin de l'Ouémé.

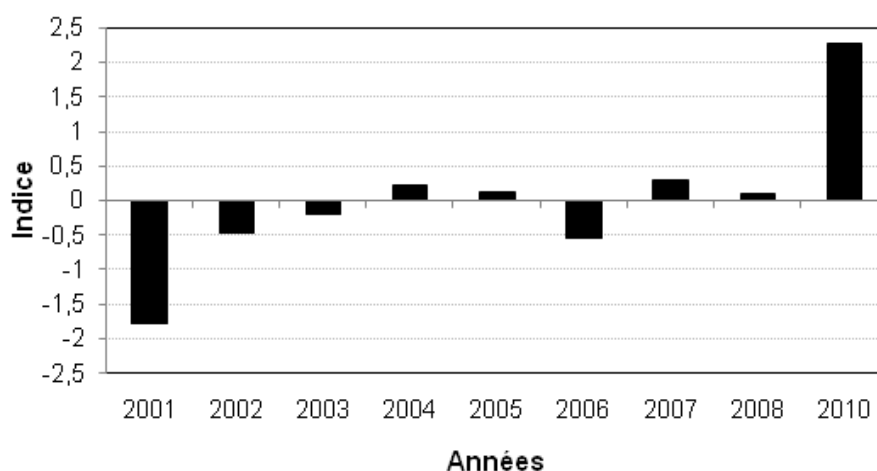


Figure 4: Variabilité interannuelle de la pluie moyenne spatiale à Cotonou.

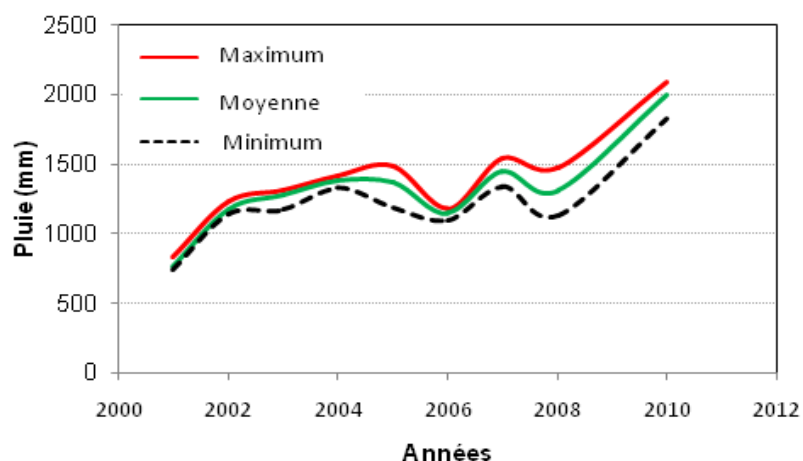


Figure 5: Variation des extrema et de la moyenne pluviométrique spatiales.

Conclusion

Le présent travail a exploité les données pluviométriques journalières du réseau dense de la ville de Cotonou, sur dix ans (2001 – 2010) pour analyser pour la première fois, la structure spatiale des précipitations annuelles dans cette ville d'environ 80 km² de superficie. L'approche géostatistique utilisée a permis de révéler que les champs de pluie ont une structure spatiale dominante qui est linéaire. Mais ces champs de pluie présentent également parfois des structures de type puissance (année 2002) ou sphérique (année 2004). La variabilité spatiale des pluies est modérée. Les années 2005 et 2008 semblent avoir une variabilité spatiale trois fois plus importante que les autres années qui ont une variabilité spatiale similaire. Du point de vue spatial, le champ moyen montre un léger gradient Est – Ouest, similaire à celui mis en évidence par des travaux antérieurs sur les cumuls annuels de précipitation dans la haute vallée de l'Ouémé. A l'échelle interannuelle, la pluviométrie moyenne spatiale ainsi que les extrema présentent une tendance à l'augmentation qui mérite d'être confirmée avec des données de plus longue durée.

Remerciements

Les auteurs témoignent leur gratitude au Service National de la Météorologie (SNM) et l'IITA pour la fourniture gracieuse des données de pluies journalières qui ont servi à l'étude.

Références

- Ali, A. Lebel, T. and Amani, A. (2003). Invariance in the spatial structure of the sahelian rain fields at climatological scales. *Journal of hydrometeorology*, 4, pp. 996 – 1011.
- Amani, A. and Lebel, T. (1997). Lagrangian kriging for the estimation of sahelian rainfall at small time steps. *Journal of hydrology* 192, pp. 125 – 157.
- Arnaud M. and Emery X. (2000). Estimation and spatiale interpolation: deterministic methods and geostatistics methods. Hermès, Paris, France, p.221
- Brunet-Moret Y. (1971). Étude de l'homogénéité de séries chronologiques de précipitation annuelles par la méthode des doubles masses. *Cahiers ORSTOM, série hydrologie*, vol. VIII, n° 4, p. 3-33.
- Cressie N. (1993). *Statistics for Spatial Data*. Wiley, New York, USA, p. 900.

Creutin, J-D. and Obled, C. (1982). Objective analyses and mapping techniques for rainfall fields: an objective comparison. *Water Resources Research*, 18 (2), pp. 413 – 431.

Lawin A. E. (2007) 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, France, p. 231.

Lawin A. E., Afouda A., Oguntunde Ph. G., Gosset M. and Lebel T. (2012). Rainfall variability at regional and local scales in the ouémé upper valley in Bénin. *International Journal of Science and Advanced technology*. Vol. 2 (6). pp. 46 – 55.

Matheron G. (1965) Les variables régionalisées et leur estimation. Masson et Cie. Paris, France, p. 305.

Matheron, G. (1971). Regionalized variables theory and its applications. Note book of mathematical morphology Centre, Fasc. 5, EMP. Paris, France, p.212.

Nash, J. and Sutcliffe, J. (1970). River flow forecasting through conceptual models. Part i: A discussion of principles. *J. Hydrology*, 10, pp. 282-290.